

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 системы электроснабжения сборочного производства

Обучающийся

А. Н. Ткачев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент М. Н. Третьякова

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

Тольятти 2024

Аннотация

Проводится разработка мероприятий по реконструкции системы электроснабжения сборочного производства.

Актуальность темы ВКР вызвана тем, что оборудование действующей системы электроснабжения сборочного производства сильно изношено, технологически устарело и не обеспечивает требуемую нормальную ее работу. Предприятие несет нарастающие убытки ввиду вынужденных простоев производства из-за перерывов электроснабжения, повышены эксплуатационные расходы на внеплановые ремонты и обслуживание оборудования системы электроснабжения. Также отмечаются случаи производственного электротравматизма среди работников, вызванные недостаточной безопасностью действующего электроснабжения. Следовательно, проведение реконструкции системы электроснабжения очень актуально, она позволит устранить данные проблемы, а также повысить прибыльность и конкурентоспособность производства в целом.

Содержание работы включает вопросы: анализ технологического процесса и электроприемников предприятия, расчет электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения предприятия, расчет освещения, расчет и выбор силовых трансформаторов, расчет и выбор электрооборудования, расчет заземления и молниезащиты подстанции.

Выпускная квалификационная работа состоит из 50 страниц, 16 рисунков, 6 таблиц, 20 источников.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ технологического процесса и электроприемников предприятия	7
2 Расчет электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения предприятия	11
3 Расчет освещения	15
4 Расчет и выбор силовых трансформаторов	19
5 Расчет и выбор электрооборудования.....	23
6 Расчет заземления и молниезащиты подстанции	43
Заключение	48
Список используемых источников.....	49

Введение

Реконструкция систем электроснабжения (СЭС) промышленных предприятий играет важную роль в повышении эффективности и надёжности их работы. Этот процесс включает в себя анализ существующего состояния системы, определение потребностей в мощности и модернизацию оборудования. При реконструкции необходимо учитывать особенности каждого предприятия, такие как количество и мощность потребителей, требования к качеству электроэнергии и перспективы развития производства. На основе этих данных разрабатывается проект, который включает в себя замену устаревшего оборудования, расширение мощностей и внедрение современных технологий. Одним из основных этапов является оптимизация схемы электроснабжения. Это позволяет снизить потери электроэнергии, улучшить качество поставляемой энергии и повысить надёжность работы системы. Оптимизация схемы может включать в себя изменение структуры сети, перераспределение нагрузок между источниками питания и использование современного оборудования. Важным аспектом является обеспечение экологической безопасности. При модернизации СЭС необходимо учитывать требования по снижению выбросов вредных веществ, использованию возобновляемых источников энергии и минимизации воздействия на окружающую среду.

В настоящее время в Российской Федерации и других странах мира функционирует очень много производственных объектов промышленных объектов различных предприятий. При этом конфигурация производств и инфраструктуры объектов может отличаться очень сильно, однако, основные технико-эксплуатационные требования к обеспечению электроснабжения в плане обеспечения должной надёжности, безопасности и энергосбережения остаются неизменными. Должны выполняться требования по надёжности электроснабжения согласно категориям потребителей, которые указаны в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ). Например, недопустимы даже

кратковременные перерывы электроснабжения особо ответственных потребителей первой категории надежности электроснабжения (КНЭ) – это потребители, перерывы электроснабжения которых чреваты рисками для жизни и безопасности людей, очень существенными экономическими убытками, порчей дорогостоящего оборудования и другими крайне негативными последствиями. Действующие СЭС предприятий часто эксплуатируются длительное время, в связи с чем, их оборудование сильно изнашивается и технологически устаревает. Это повышает профессиональные риски для работников, вызывает вынужденные отключения питания потребителей и простой производственных процессов, экономический и репутационный ущерб. Своевременная реконструкция СЭС обеспечивает предупреждение данных проблем и потому должна обязательно проводиться вовремя. Энергосбережение при реконструкции систем электроснабжения промышленных предприятий включает организационные и технические мероприятия. Организационные мероприятия включают энергетическое исследование производственных процессов, внутренний финансовый аудит, разработку мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности, планирование и организацию коммерческого и технического расхода электроэнергии, обучение персонала и использование новых технологий. Технические мероприятия включают замену электрооборудования на более современные энергосберегающие аналоги, применение энергоэффективных технических и схемных решений и т.д.

В целом, реконструкция способствует повышению конкурентоспособности предприятий, снижению затрат на электроэнергию и улучшению качества продукции. Этот процесс требует тщательного анализа и разработки индивидуального проекта, но его реализация позволяет предприятиям достичь устойчивого развития и обеспечить стабильное функционирование в долгосрочной перспективе.

Актуальность темы ВКР – оборудование действующей системы электроснабжения сборочного производства сильно изношено,

технологически устарело и не обеспечивает требуемую нормальную ее работу. Предприятие несет нарастающие убытки ввиду вынужденных простоев производства из-за перерывов электроснабжения, повышены эксплуатационные расходы на внеплановые ремонты и обслуживание оборудования СЭС. Также отмечаются случаи производственного электротравматизма среди работников, вызванные недостаточной безопасностью действующей СЭС. Следовательно, проведение реконструкции системы электроснабжения очень актуально, она позволит устранить данные проблемы, а также повысить прибыльность и конкурентоспособность производства в целом.

Объект исследования: группа цехов сборочного производства.

Предмет исследования: электроснабжение сборочного производства.

Цель работы: разработка предложений по реконструкции системы электроснабжения.

Задачи работы:

- провести анализ технологического процесса и электроприемников;
- выполнить расчет электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения;
- провести расчет освещения;
- выполнить расчет и провести выбор силовых трансформаторов подстанции;
- провести расчет и выбор электрооборудования;
- выполнить расчет заземления и молниезащиты подстанции.

Согласно предложенным мероприятиям, будет проводиться реконструкция системы электроснабжения действующего сборочного производства.

1 Анализ технологического процесса и электроприемников предприятия

Технологические процессы сборочного производства металлоконструкций представляют собой сложный поэтапный процесс, включающий проектирование, заготовку сырья, обработку деталей, сборку конструкции и дополнительную обработку. Проектирование начинается со стадии разработки, где устанавливаются ключевые характеристики изделия, материалы и способы соединения. Затем происходит заготовка сырья, включающая определение веса исходных заготовок и проверку их качества. Обработка деталей обеспечивает им необходимые формы и размеры, а также дополнительные свойства. Сборка конструкции может осуществляться различными способами, такими как сварка, болтовое соединение или склейка. Дополнительная обработка металлоконструкций заключается в нанесении защитного покрытия, которое повышает стойкость к коррозии и улучшает эксплуатационные характеристики. Контроль качества осуществляется на всех этапах производства, включая входной контроль, операционный контроль и приёмосдаточный контроль. В целом, технологические процессы сборочного производства металлоконструкций обеспечивают создание качественных и надёжных изделий, соответствующих нормативным требованиям и стандартам.

К числу электроприемников сборочного производства относятся:

- металлообрабатывающие станки различных типов (сверлильные, фрезерные, токарные и т.д.);
- сварочное оборудование различных типов (ручная, автоматическая и полуавтоматическая сварка, роботизированная сварка, точечная сварка и т.д.);
- электроприводы насосов, компрессоров, вентиляторов и прочих систем;
- освещение;

– электроинструмент и прочие электроприемники.

Генеральный план сборочного производства показан на рисунке 1.

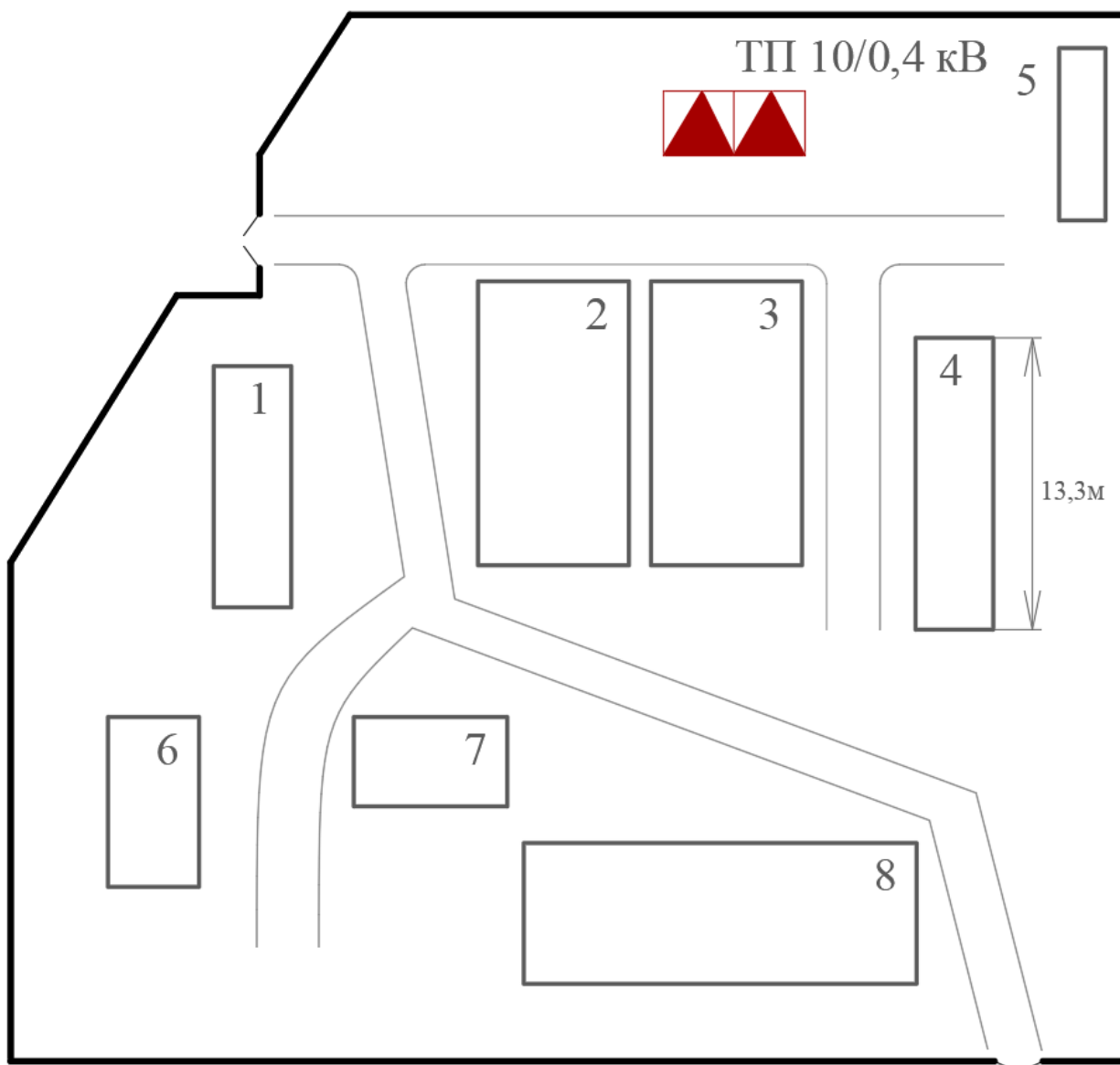


Рисунок 1 – Генеральный план сборочного производства

На закрытой огороженной территории расположены основные производственные цеха, а также вспомогательные участки. Перечень производственных участков, электрические нагрузки, коэффициенты спроса нагрузок и мощности приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень производственных участков

Участки	№ на плане	Рн, кВт	Кс	cosφ
Сборочный цех №1	1	27,6	0,55	0,85
Сборочный цех №2	2	115	0,89	0,88
Сборочный цех №3	3	115	0,89	0,88
Хозблок	4	21,6	0,56	0,90
Компрессорная	5	29,8	0,8	0,85
Ремонтный цех	6	81,4	0,54	0,80
Насосная	7	144,7	0,72	0,82
Сборочный цех №4	8	173,8	0,78	0,87

Основным типом электроприемников (ЭП) являются асинхронные электродвигатели (АД) различных электроприводов.

Асинхронные двигатели – это один из наиболее распространённых видов электрических машин, используемых в качестве электроприемников. Они обладают рядом преимуществ, таких как простота конструкции, надёжность и высокий коэффициент полезного действия. Принцип работы АД основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля, создаваемого обмотками статора, и токов, возникающих в роторе. В зависимости от типа ротора (короткозамкнутый или фазный) имеются как АД с короткозамкнутым ротором, так и асинхронные двигатели с фазным ротором. Данный тип электродвигателей широко применяется в различных отраслях промышленности, сельском хозяйстве, строительстве и транспорте. Они используются в электроприводах станков, подъёмных кранов, лифтов, насосов, вентиляторов и многих других механизмов. Благодаря своим характеристикам, АД являются экономичным и эффективным решением для различных задач [15]. В тоже время, характерной чертой АД как

электроприемника, является значительное потребление реактивной мощности (РМ), обусловленное принципом его действия.

Сварочное оборудование различных типов (ручная, автоматическая и полуавтоматическая сварка, роботизированная сварка, точечная сварка и т.д.) использует принцип плавки металла с помощью электрической дуги, либо сверхтоков короткого замыкания (точечная сварка). Для данного типа электроприемников характерен резкопеременный режим работы с циклической сменой пиковых и рабочих нагрузок и безтоковых пауз. Сварочное оборудование при своей работе потребляет значительное количество реактивной мощности.

Освещение территории выполнено устаревшими светильниками с лампами ДРЛ, имеющими низкий КПД, малый срок службы и плохую энергоэффективность. Характерной чертой ламп ДРЛ, как электроприемника, является значительное потребление реактивной мощности, обусловленное принципом действия на основе горения электрической дуги.

Сборочные цеха №2,3,4 имеют в своем составе высокотехнологичные автоматизированные производственные линии, перерывы электроснабжения которых недопустимы, поэтому данные цеха относятся к первой категории надежности электроснабжения (КНЭ). Также к первой категории относятся компрессорная и насосная. Остальные участки относятся ко второй категории. Питание участков выполнено от ТП 10/0,4 кВ по кабельным линиям (КЛ) 0,4 кВ, а подстанция запитана от РУ 10 кВ энергосистемы по двухцепной КЛ, марка кабелей ААБ-3·25.

Выводы. Проведен анализ технологического процесса и электроприемников предприятия. Согласно эксплуатационной документации составлен генплан сборочного производства, подготовлены данные по производственным участкам. Определены требования к обеспечению надежности электроснабжения участков.

2 Расчет электрических нагрузок и выбор схемы электроснабжения предприятия

Расчет электрических нагрузок играет важную роль в проектировании и эксплуатации систем электроснабжения. Он позволяет определить оптимальные параметры оборудования, выбрать подходящие кабели и трансформаторы, а также обеспечить надёжное и безопасное функционирование всей системы [1]. Основная методика расчета для объектов предприятий – методом коэффициента спроса, который используется для расчёта нагрузок в сетях с неравномерным распределением потребителей и зависит от характера нагрузки и режима работы потребителя. При определении нагрузок необходимо учитывать различные факторы, такие как тип нагрузки, режим работы, время использования и другие. Также важно учитывать перспективы развития СЭС и возможные изменения в структуре потребления электроэнергии. Расчёт электрических нагрузок является важным этапом проектирования и эксплуатации систем электроснабжения. Он позволяет обеспечить надёжное и безопасное функционирование всей системы, а также оптимизировать затраты на оборудование и материалы.

«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):

$$P_c = 0,55 \cdot 27,6 = 15,18 \text{ кВт},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{1 - 0,85^2}}{0,85} = 0,62,$$

$$Q_c = 15,18 \cdot 0,62 = 9,41 \text{ квар},$$

$$S_c = \sqrt{15,18^2 + 9,41^2} = 17,86 \text{ кВА}.$$

Нагрузки ТП рассчитаны в таблице 2» [6].

Таблица 2 – Расчет нагрузок ТП

Участки	tgφ	Средние нагрузки		
		Pс, кВт	Qс, квар	Sс, кВА
Сборочный цех №1	0,620	15,18	9,41	17,86
Сборочный цех №2	0,540	102,35	55,24	116,31
Сборочный цех №3	0,540	102,35	55,24	116,31
Хозблок	0,484	12,10	5,86	13,44
Компрессорная	0,620	23,84	14,77	28,05
Ремонтный цех	0,750	43,96	32,97	54,95
Насосная	0,698	104,18	72,72	127,05
Сборочный цех №4	0,567	135,56	76,83	155,82
Σ	0,599	539,52	323,04	628,84

Основная часть электрической нагрузки сосредоточена в сборочных цехах, обеспечивающих все ключевые технологические процессы. В целом, активные, реактивные и полные нагрузки по объекту, без учета системы освещения территории (которая будет реконструирована с применением современных светодиодных источников света), составили 539,52 кВт; 323,04 квар; 628,84 кВА соответственно.

Схема действующего электроснабжения приведена на рисунке 2.

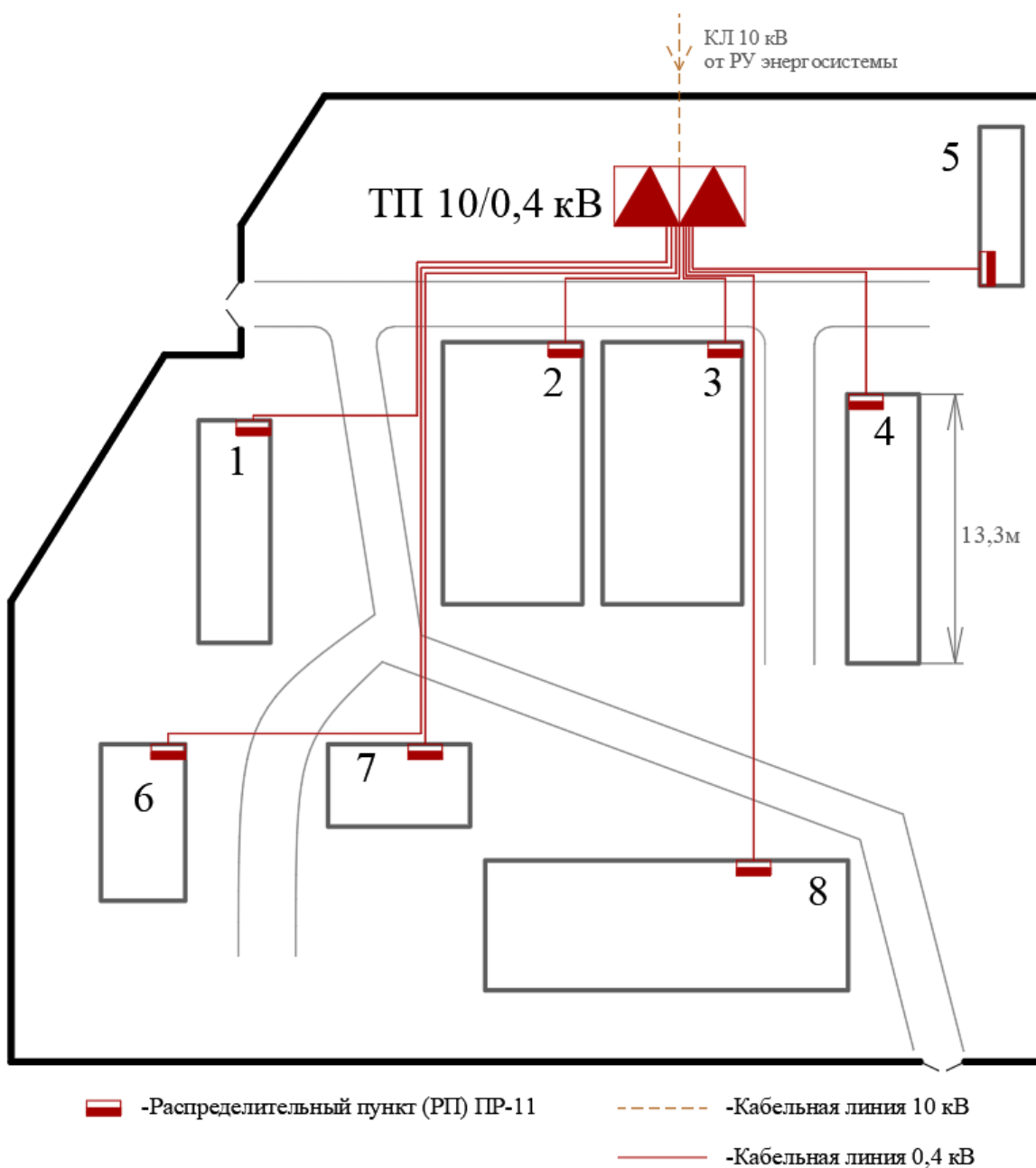


Рисунок 2 – Схема действующего электроснабжения

Используется радиальная схема питания производственных участков. Данная схема применяется, когда нагрузки расположены в разных направлениях от центра питания. Это позволяет обеспечить надёжное и эффективное электроснабжение потребителей. Преимущества радиальной схемы электроснабжения включают надёжность, гибкость и возможность индивидуального подхода к потребностям каждого потребителя [19]. Радиальная схема электроснабжения – это один из основных способов передачи и распределения электрической энергии на промышленных предприятиях и хорошо зарекомендовала себя в практическом использовании на отечественных и зарубежных предприятиях.

Структурно, существующая схема электроснабжения удовлетворяет всем требуемым техническим и эксплуатационным параметрам. Актуальные проблемы при эксплуатации системы электроснабжения вызваны только критичным износом и устареванием действующего электрооборудование, которое в процессе реконструкции будет заменено на новое и современное. Следовательно, целесообразно оставить неизменной структуру схемы электроснабжения, а новые кабели проложить по существующим траншеям, что упростит, ускорит и удешевит реконструкцию в целом.

Выводы.

Выполнен расчет электрических нагрузок. Основная часть электрической нагрузки сосредоточена в сборочных цехах, обеспечивающих все ключевые технологические процессы. В целом, активные, реактивные и полные нагрузки по объекту, без учета системы освещения территории (которая будет реконструирована с применением современных светодиодных источников света), составили 539,52 кВт; 323,04 квар; 628,84 кВА. Используется радиальная схема питания производственных участков, которая удовлетворяет всем требуемым техническим и эксплуатационным параметрам и ее структура останется неизменной.

3 Расчет освещения

В современном мире светодиодное освещение становится всё более популярным благодаря своей энергоэффективности, долговечности и экологичности. Оно идеально подходит для освещения территорий предприятий, одним из главных преимуществ является его энергоэффективность. Светодиодные лампы потребляют значительно меньше энергии по сравнению с традиционными лампами, такими как натриевые или ртутные. Это позволяет существенно сократить энергопотребление и уменьшить расходы на электроэнергию [11]. Долговечность светодиодных ламп также является их сильной стороной. Они имеют срок службы, который значительно превосходит традиционные источники освещения, что делает их идеальным выбором для уличного освещения. Качество света, обеспечиваемое светодиодами, также является важным преимуществом. Они обеспечивают более яркий и равномерный свет, создавая оптимальные условия для безопасности. Благодаря высокому индексу воспроизведения цветов светодиодное освещение улучшает видимость и помогает лучше ориентироваться в темноте. Для освещения территории будут использоваться специализированные светильники SVT-STR-M-24W на опорах ОГКл.

«Расчетная активная нагрузка освещения:

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

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:

$$N = \frac{P_{po}}{P_{ce}}, \quad (6)$$

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

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

План осветительной сети территории показан на рисунке 3.

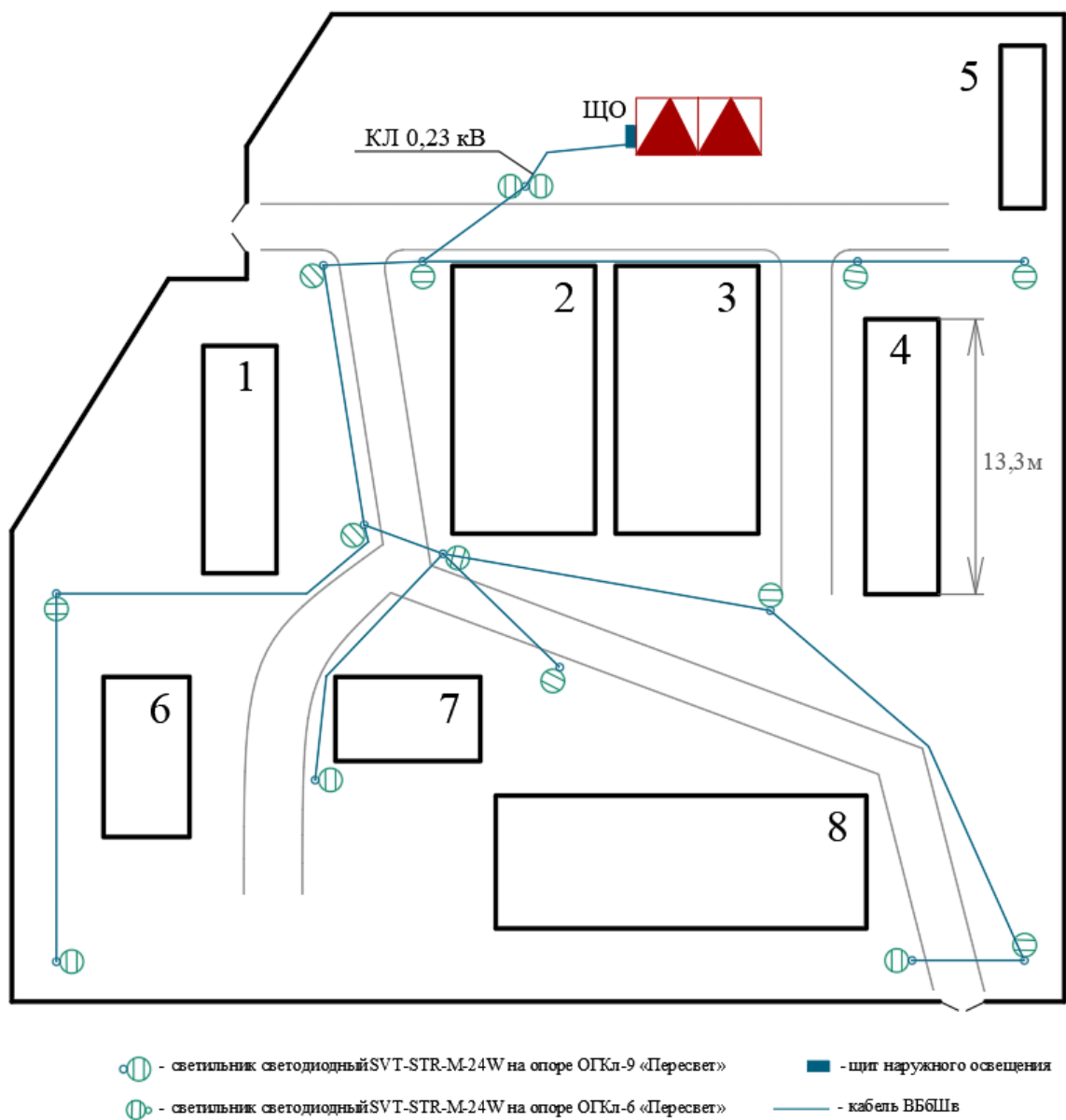


Рисунок 3 – План осветительной сети территории

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, основную часть светильников располагаем вдоль дорог» [17].

«Нагрузки внутреннего освещения зданий рассчитываются методом удельной мощности:

$$P_{po} = P_0 \cdot K_{co} \cdot F, \quad (7)$$

где P_0 – удельная мощность, Вт/м²;

K_{co} – коэффициент спроса освещения, по СН 357-77;

F – площадь здания, м².

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

Освещение обеспечивается светодиодными светильниками.

Для цеха №1 по (7,8):

$$P_{po} = 3,8 \cdot 0,85 \cdot 41,3 = 0,13 \text{ кВт},$$

$$Q_{po} = 0,13 \cdot 0,95 = 0,127 \text{ квар.}$$

Итого нагрузки цеха №1 с освещением:

$$P_p' = 15,18 + 0,13 = 15,31 \text{ кВт},$$

$$Q_p' = 9,41 + 0,127 = 9,45 \text{ квар},$$

$$S_p' = \sqrt{15,31^2 + 9,45^2} = 18,0 \text{ кВА.}$$

Расчеты нагрузок освещения и итоговых нагрузок участков приведены в таблице 3» [17].

Таблица 3 – Расчеты нагрузок

Участок	K_{co}	$F, м^2$	$P_o, Вт/м^2$	$P_{po}, кВт$	$P'p, кВт$	$Q'p, квар$	$S'p, кВА$
Сборочный цех №1	0,85	41,3	3,8	0,13	15,31	9,45	18,00
Сборочный цех №2	0,95	94,5	3,8	0,34	102,69	55,36	116,66
Сборочный цех №3	0,95	94,5	3,8	0,34	102,69	55,36	116,66
Хозблок	0,8	50,0	4,4	0,18	12,27	5,92	13,62
Компрессорная	0,95	17,6	3,6	0,06	23,90	14,79	28,11
Ремонтный цех	0,85	34,1	3,8	0,11	44,07	33,00	55,06
Насосная	0,95	30,2	3,6	0,10	104,29	72,75	127,16
Сборочный цех №4	0,95	121,9	3,8	0,44	136,00	76,97	156,28
Территория	-	-	-	-	0,36	0,12	0,38
Σ	-	-	-	-	541,59	323,72	630,97

Выводы.

Освещение территории выполнено устаревшими светильниками с лампами ДРЛ, имеющими низкий КПД, малый срок службы и плохую энергоэффективность. Характерной чертой ламп ДРЛ, как электроприемника, является значительное потребление реактивной мощности, обусловленное принципом действия на основе горения электрической дуги. Для освещения территории будут использоваться специализированные светодиодные светильники SVT-STR-M-24W, реконструкция системы освещения повысит ее надежность и экологичность, обеспечит энергосбережение. С учетом особенностей инфраструктуры сборочного производства и специфики деятельности производственных участков рассчитаны нагрузки освещения, составлен план осветительной сети территории.

4 Расчет и выбор силовых трансформаторов

Компенсация реактивной мощности в сетях предприятий играет важную роль в повышении эффективности работы и снижении затрат на электроэнергию. Реактивная мощность (РМ) – это составляющая полной мощности, которая вызывает дополнительную потерю электрической энергии и снижает её качество. Источниками РМ могут быть различные устройства и приборы, такие как асинхронные двигатели. КРМ заключается в воздействии на баланс реактивной мощности в узле сети с целью регулировки напряжения. Этот процесс осуществляется с помощью специальных компенсирующих устройств, таких как катушки индуктивности, конденсаторы и регуляторы реактивной мощности. Основные компоненты процесса КРМ включают источники реактивной мощности, регуляторы реактивной мощности и коммутационные устройства. Также могут использоваться антирезонансные дроссели и защитные устройства для отключения конденсаторов. КРМ позволяет снизить расходы на электроэнергию, нагрузки на трансформаторы и кабели, нагрузку на коммутирующую аппаратуру, улучшить качество электрической энергии и увеличить срок службы оборудования.

«Необходимая для компенсации реактивная нагрузка:

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

где P_p – активная нагрузка, кВт;

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

$$Q_{к.у.} = 0,9 \cdot 541,59 \cdot (0,6 - 0,33) = 131 \text{ квар.}$$

На шинах 0,4 кВ подстанции для КРМ будут установлены две установки АУКРМ-0,4-65, внешний вид показан на рисунке 4» [3].



Рисунок 4 – Установка АУКРМ

«Реактивная нагрузка после КРМ:

$$Q_{cКРМ} = Q_c - Q_{KV}, \quad (10)$$

где Q_{KV} – мощность АУКРМ, квар.

$$Q_{cКРМ} = 323,72 - 2 \cdot 65 = 193,72 \text{ квар.}$$

Полная нагрузка ТП после КРМ, по (3):

$$S_{cКРМ} = \sqrt{541,59^2 + 193,72^2} = 575,19 \text{ кВА.}$$

Потери в трансформаторах:

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot S_{cКРМ}, \quad (11)$$

$$\Delta P_m \approx 0,02 \cdot 575,19 = 11,5 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot S_{cКРМ}, \quad (12)$$

$$\Delta Q_m \approx 0,1 \cdot 575,19 = 57,52 \text{ квар.}$$

Нагрузка линии 10 кВ до ТП, по (3)» [8]:

$$S'_p = \sqrt{(541,59 + 11,5)^2 + (323,72 - 2 \cdot 65 + 57,52)^2} = 607,48 \text{ кВА.}$$

«Требуемая мощность трансформаторов:

$$S_m \geq K_{з.н.} \cdot S_{р.к.}, \quad (13)$$

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

$S_{р.к.}$ – нагрузка после КРМ, кВА.

$$S_m \geq 0,7 \cdot 575,19 = 403 \text{ кВА.}$$

Будет установлено два трансформатора ТМГ35-630-10/0,4, внешний вид показан на рисунке 5.



Рисунок 5 – Силовой трансформатор серии ТМГ35

Аварийная загрузка составит:

$$K_{з.ав.} = \frac{S_{р.к.}}{S_m} \cdot 100 \%, \quad (14)$$

где S_m – номинальная мощность, кВА» [5].

$$K_{з.ав.} = \frac{575,19}{630} \cdot 100 \% = 91,3 \% \leq 140 \%.$$

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

Серия ТМГ35 – это современные трёхфазные масляные герметичные трансформаторы. Они отличаются улучшенным классом энергоэффективности (Х4К2), низким уровнем потерь холостого хода и короткого замыкания, а также улучшенными шумовыми характеристиками. Автоматические конденсаторные установки АУКРМ – это электроустановки, предназначенные для компенсации реактивной мощности в сетях с высоким уровнем гармонических составляющих. АУКРМ состоит из силовых фильтров высших гармоник, регуляторов коэффициента мощности и контакторов. Установка автоматически регулирует коэффициент мощности ($\cos \varphi$) при отклонениях от заданного значения, отслеживая изменения нагрузки в режиме реального времени. Применение АУКРМ с энергоэффективными трансформаторами позволит обеспечить наибольшую энергоэффективность СЭС [13].

Выводы.

С учетом актуальных электрических нагрузок выбраны энергосберегающие силовые трансформаторы подстанции и оборудование для автоматической компенсации реактивной мощности. Это значительно снизит потери мощности и электроэнергии в СЭС.

5 Расчет и выбор электрооборудования

Выбираются кабели распределительной сети, то есть кабели 0,4 кВ, питающие производственные участки от подстанции.

Выбор кабеля до участка №1.

«Наибольший ток линии:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (15)$$

где S_p – нагрузка, кВА;

U_n – напряжение, кВ» [14].

$$I_p = \frac{32,47}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 49,3 \text{ А.}$$

Выбирается кабель АВБШв-5×10, $I_{\text{доп}} = 65 \text{ А}$ [18].

«При расчете потерь напряжения в сети до 1 кВ индуктивным сопротивлением проводов можно пренебречь.

Потери напряжения в КЛ:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot 100}{U_n} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (16)$$

где I_p – максимальный ток КЛ, А;

L – длина КЛ, км;

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

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 49,3 \cdot 0,0309 \cdot 100}{10} (3,1 \cdot 0,85 + 0 \cdot 0,39) = 0,92 \% < 5 \%$$

Потери менее предельно допустимых» [12].

Выбор кабелей – в таблице 4.

Таблица 4 – Выбор кабелей

№ участка на генплане	I_p , А	АВБШв, сечение, мм ²	Идоп, А	ΔU , %
1	49,3	5×10	65	0,92
2	198,6	4×70+1×35	200	0,15
3				0,09
4	36,5	5×6	42	0,38
5	53,3	5×10	65	0,37
6	154,6	4×50+1×25	165	0,66
7	268,1	4×120+1×70	270	0,36
8	303,5	4×150+1×95	305	0,30

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

– по напряжению:

$$U_{ном} > U_c. \quad (17)$$

– по току теплового расцепителя (ТР):

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot I_p. \quad (18)$$

Для КЛ к участку №1:

$$I_{т.р.} > 1,1 \cdot 16,4 = 18,1 \text{ А.}$$

Устанавливается ВА-51-25 на номинальный ток 25 А. Выбор АВ – в таблице 5» [14].

Таблица 5 – Выбор автоматов

№ участка на генплане	$1,1 \cdot I_p, A$	Авт. выкл.	$I_{ном}, A$
1	54,3	ВА-51-35	63
2	218,4	ВА-52-39	250
3			
4	40,1	ВА-51-35	50
5	58,6		63
6	170,1	ВА-52-39	250
7	294,9		320
8	333,9		400

Внешний вид АВ приведен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Автоматический выключатель

Новое оборудование подстанции должно выбираться с учетом как рабочих, так и аварийных режимов.

Расчёт токов короткого замыкания (КЗ) производится для решения следующих основных задач: выявления условий работы потребителей в аварийных режимах; выбора аппаратов электроустановок и проверки проводников по условиям их работы при коротких замыканиях; проектирования и настройки релейных защит [16].

Расчетные схемы – на рисунке 7.

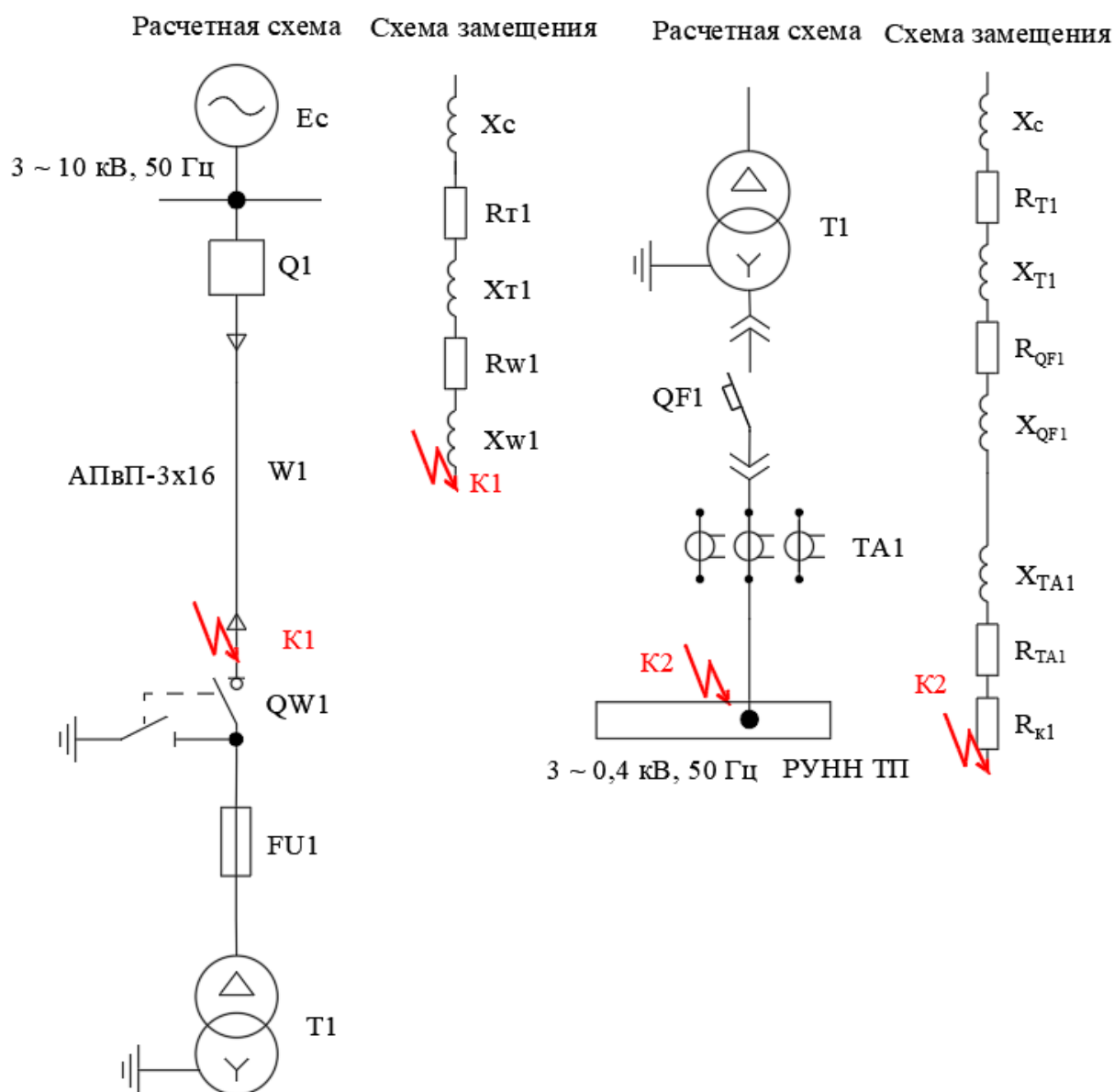


Рисунок 7 – Расчетные схемы

«Расчет на шинах 10 кВ ТП, точка К1.

Находятся сопротивления участков.

Трехфазный ток КЗ в начале КЛ 10 кВ (фидер 10 кВ РУ энергосистемы):

$$I_{\text{к.з.ФИД}}^{(3)} = 11,1 \text{ кА.}$$

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{U_k}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.з.ФИД}}^{(3)}}, \quad (19)$$

где U_k – напряжение КЗ, кВ» [7].

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

«Сопротивления КЛ 10 кВ:

$$X_{w1} = x_0 \cdot L_{w1}, \quad (20)$$

где L_{w1} – длина КЛ, км.

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

$$R_{w1} = r_0 \cdot L_{w1}, \quad (21)$$

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

Полное сопротивление до точки К1» [7]:

$$Z_{\kappa 0} = \sqrt{R_{\kappa 0}^2 + X_{\kappa 0}^2}, \quad (22)$$

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

«Трехфазный ток КЗ:

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \quad (23)$$

где U_{κ} – напряжение КЗ, кВ;

Z_{κ} – полное сопротивление цепи, Ом.

$$I_{\kappa 0}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 1,251} = 4,84 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (24)$$

где K_y – ударный коэффициент» [7].

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

«Двухфазный ток КЗ:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (25)$$

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

Расчет на шинах 0,4 кВ ТП, точка К2.

Сопротивление системы:

$$X'_c = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot I_{\kappa.з.К0}^{(3)}}, \quad (26)$$

где U_{κ} – напряжение КЗ, кВ;

$I_{\kappa.з.К0}^{(3)}$ – трехфазный ток КЗ на стороне 10 кВ ТП, кА» [7].

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

«Сопротивление приводится к 0,4 кВ:

$$X_c = X'_c \cdot \frac{U_{HH}}{U_{BH}}, \quad (27)$$

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

Переходное сопротивление: $R_{к1} = 0,0034 \text{ мОм}$ » [7].

«Эквивалентные сопротивления участка:

$$R_{\text{э1}} = R_{T1} + R_{QF1} + R_{TA1} + R_{к1}, \quad (28)$$

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

$$X_{\text{э1}} = X_m + X_{QF1} + X_{TA1}, \quad (29)$$

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

Сопротивления до точки КЗ:

$$R_{к1} = R_{\text{э1}}, \quad (30)$$

$$R_{к1} = 3,4 \text{ мОм,}$$

$$X_{к1} = X_c + X_{\text{э1}}, \quad (31)$$

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

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

Трехфазный и ударный токи КЗ в точке К1, по (23,24):

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 61,566} = 3,75 \text{ кА},$$

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

Результаты расчетов – в таблице 6» [7].

Таблица 6 – Токи КЗ, результаты расчетов

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

Выбирается новое электрооборудование подстанции.

Отключение токов КЗ производится релейной защитой на питающем фидере 10 кВ РУ энергосистемы (защита блоков «КЛ 10 кВ-силовые трансформаторы ТП»), поэтому функционал действующих высоковольтных масляных выключателей избыточен (не требуется отключать токи КЗ) и они будут заменены на значительно более дешевые и надежные выключатели нагрузки (ВН).

Высоковольтные выключатели нагрузки – это коммутационные аппараты, которые занимают промежуточное положение между разъединителями и выключателями. Они способны отключать номинальные нагрузочные токи. Применение ВН широко, они используются в распределительных устройствах и подстанциях 6–10 кВ для коммутации. Преимущества выключателей нагрузки включают простоту изготовления и эксплуатации, низкую стоимость, возможность отключения и включения номинальных токов нагрузок.

«Критерии выбора выключателей нагрузки (ВН):

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{ кВ}, \quad (32)$$

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

$$i_{\text{пр.с}} \geq i_y, \text{ кА}, \quad (34)$$

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

$$I_m^2 \cdot t_m \geq B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (35)$$

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

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

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (36)$$

где $t_{\text{откл}}$ – время КЗ, с.

$$t_{\text{откл}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{откл.В}}, \text{ с}, \quad (37)$$

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

$t_{\text{откл.В}}$ – время отключения выключателя, с» [20].

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

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

Наибольший ток на РУ 10 кВ:

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{н.т.}} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (38)$$

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

«Выбираются выключатели нагрузки ВНРп-10/400-10з, внешний вид показан на рисунке 8.

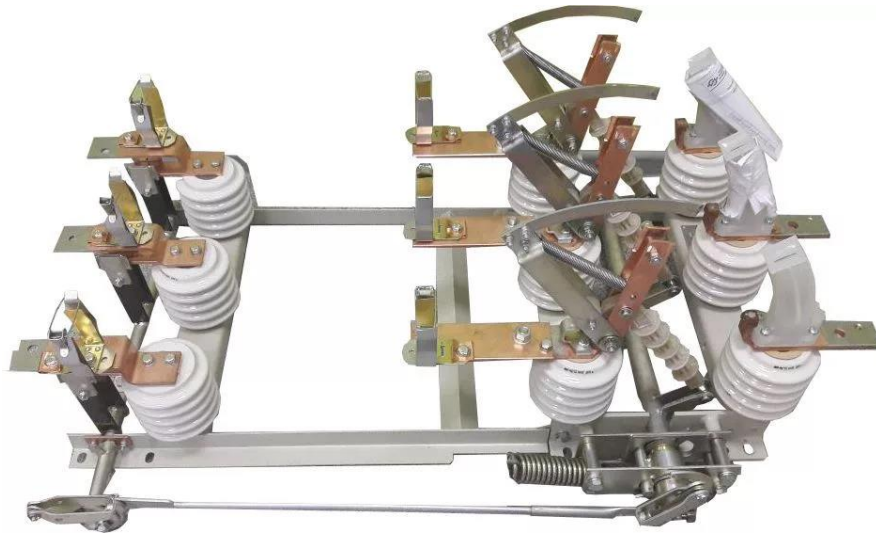


Рисунок 8 – Выключатель нагрузки

Проверка ВН по условиям выбора:

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

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

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

$$I_m^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \geq B_k = 4,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

ВВ подходят по всем условиям» [20].

Разъединители – это важные элементы высоковольтных распределительных устройств, обеспечивающие безопасность при ремонте и осмотре отключённых участков, переключение электрических линий и секционирование шин. Они состоят из неподвижных и подвижных контактов, закреплённых на изоляторах, и снабжены механической блокировкой для предотвращения включения заземлителей при включённом разъединителе и

включения разъединителя при включённом заземлителе. Разъединители играют важную роль в обеспечении безопасности и надёжности работы высоковольтных систем, позволяя проводить ремонт, осмотр и переключение электрических линий без риска возникновения аварийных ситуаций.

«Критерии выбора разъединителей:

$$U_{ном} \geq U_{раб}, \text{ кВ}, \quad (39)$$

$$I_{ном} \geq I_{раб}, \text{ кВ}, \quad (40)$$

$$i_{пр.с} \geq i_y, \text{ кА}, \quad (41)$$

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

$$I_m^2 \cdot t_m \geq B_k, \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (42)$$

где I_m – ток термической стойкости, кА;

t_m – время протекания тока, с;

B_k – тепловой импульс, кА²·с.

$$B_k = I_k^2 \cdot (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \cdot \text{с}, \quad (43)$$

где $t_{откл}$ – время КЗ, с.

$$t_{откл} = t_{р.з.} + t_{откл.В}, \text{ с}, \quad (44)$$

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 показан на рисунке 9.

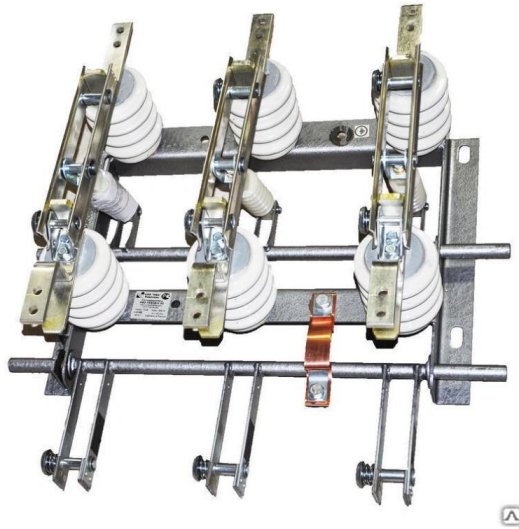


Рисунок 9 – Разъединитель РВ-10

Проверка разъединителей» [20]:

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

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

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

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

Ограничители перенапряжений (ОПН) – это аппараты современного поколения, которые пришли на смену вентильным разрядникам. Они предназначены для защиты электрооборудования от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Активная часть ОПН состоит из легированного металла и работает как множество последовательно соединённых варисторов. Принцип действия основан на нелинейной зависимости проводимости варисторов от приложенного напряжения.

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



Рисунок 10 – Внешний вид 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:

$$U_{\text{н.ант.}} \geq U_{\text{н.уст.}}$$

$$I_{1н.} \geq I_{\text{раб.макс.}}$$

$$Z_{\text{н}} \geq Z_{2\Sigma}$$

Проверка на термическую и динамическую стойкость:

$$(\kappa_{\text{тер.}} \cdot I_{1н.})^2 \cdot t_{\text{тер.}} \geq B_{\kappa}, \quad (45)$$

$$i_{\text{дин.}} = \kappa_{\text{эд}} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{1н.} \geq i_{\text{y.}} \quad (46)$$

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

$I_{1н.}$ – номинальный ток ТТ, кА» [20].

На шинах 0,4 кВ принимаются ТТ марки ТШЛ-0,66/1500; на фидерах – Т-0,66/50...400, проверка по условиям выбора:

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

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

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

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

ТТ подходят, внешний вид ТТ показан на рисунке 11.



Рисунок 11 – Трансформаторы тока ТШЛ-0,66

«Сопротивление нагрузки:

$$Z_{2\Sigma} = Z_{приб.} + Z_{пров.} + Z_{конт.}, \quad (47)$$

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

$$Z_{\text{пров.}} = \frac{l_{\text{пров.}} \cdot \rho}{S_{\text{пров.}}}, \quad (48)$$

где $l_{\text{пров.}}$ – длина проводов, м;

ρ – удельное сопротивление, Ом·мм²/м;

$S_{\text{пров.}}$ – сечение, мм².

$$Z_{\text{приб.}} = \frac{S_{\text{приб.}}}{I_{\text{н.приб}}^2}, \quad (49)$$

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

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

$$Z_{\text{пров.}} = \frac{25 \cdot 0,0175}{4} = 0,109 \text{ Ом},$$

$$Z_{2\Sigma} = 0,04 + 0,109 + 0,1 = 0,249 \text{ Ом}.$$

Погрешность ТТ составит менее 10%» [20].

Камеры сборные одностороннего обслуживания (КСО) представляют собой специализированные устройства, предназначенные для комплектации распределительных устройств переменного тока частотой 50 Гц с изолированной или заземлённой через дугогасительный реактор нейтралью. КСО обладают рядом преимуществ, среди которых можно выделить высокую надёжность, компактность, удобство монтажа и обслуживания, а также возможность использования комплектующих от ведущих отечественных и зарубежных производителей. Конструкция КСО представляет собой сварную металлическую конструкцию из гнутых стальных профилей. Внутри камеры размещается аппаратура главных цепей, а на фасаде – приводы выключателей, разъединителей и аппаратура вспомогательных цепей.

Выбираются камеры секционные односторонние (КСО) марки КСО-298/630А, внешний вид – на рисунке 12.

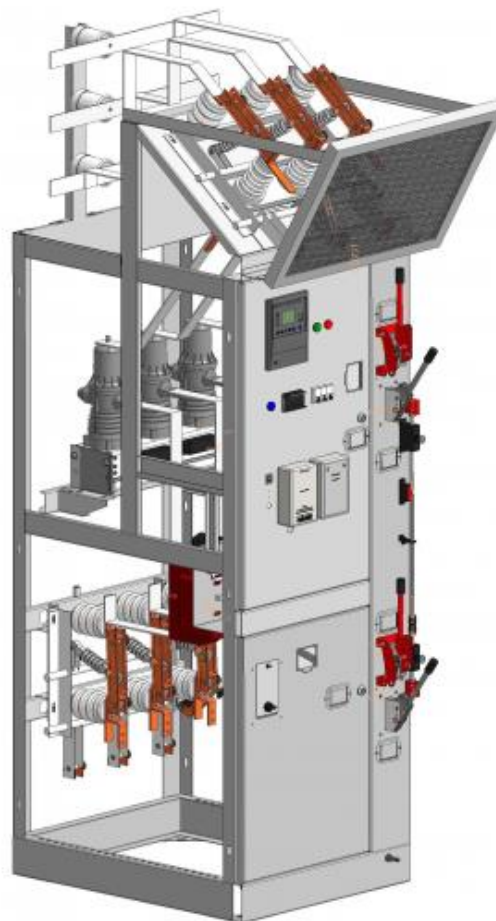


Рисунок 12 – Внешний вид КСО-298

Выбор терминалов РЗА, расчет уставок защит.

Изношенная и устаревшая РЗА с электромеханическими реле будет заменена на современную микропроцессорную, что обеспечит существенное повышение надежности, быстродействия защит. Также будет обеспечена возможность удаленного управления, администрирования и мониторинга работы РЗА. Повысится эксплуатационная безопасность подстанции и ее электрической части.

На питающем фидере 10 кВ будет установлен комплект РЗ с терминалом ЭКРА 247. Микропроцессорные терминалы данной серии хорошо себя

зарекомендовали при применении в системах электроснабжения отечественных предприятий.

«Внешний вид терминала РЗ – на рисунке 13.



Рисунок 13 – Терминал ЭКРА 247

АВР на шинах 0,4 кВ подстанции выполняется на терминале ЭКРА 217 0701, отличительные особенности которого:

- надежная современная схемотехника;
- высокое быстродействие;
- точная программная настройка АВР;
- эффективная передача данных в цифровую сеть;
- удаленные контроль и администрирование работы.

Внешний вид терминала – на рисунке 14» [2].



Рисунок 14 – Внешний вид терминала ЭКРА 217 0701

Расчет уставок защит блоков «питающая КЛ 10 кВ – силовые трансформаторы ТП».

«Токовая отсечка (ТО):

$$I_{C3} \geq K_{отс} \cdot I_{НОМ.Т}, \quad (50)$$

где $K_{отс}$ – коэффициент отстройки.

$$I_{C3} \geq 5 \cdot 0,036 = 0,182 \text{ кА.}$$

МТЗ:

$$I_{C3} \geq \frac{K_H \cdot K_{C3}}{K_B} \cdot I_{р.макс}, \quad (51)$$

где $I_{р.макс}$ – расчетный ток КЛ, А.

Чувствительность защиты» [4]:

$$k_u = \frac{I_K^{(2)}}{I_{C3}}, \quad (52)$$

$$I_{C3} \geq \frac{1,1 \cdot 1,18}{0,935} \cdot 38,2 = 53,03 \text{ А},$$

$$k_u = \frac{4200}{53,03} = 79,1 \geq 1,5.$$

«Ток срабатывания реле:

$$I_{CP} = I_{C3} \cdot \frac{k_{cx}}{n_T}, \quad (53)$$

где k_{cx} , n_T – коэффициенты схемы и трансформации для ТТ» [4].

$$I_{CP} = 53,03 \cdot \frac{1}{50/5} = 5,303 \text{ А}.$$

«Ток срабатывания защиты от замыканий на землю:

$$I_{C.з.} \geq k_{отс} \cdot k_B \cdot I_C, \quad (54)$$

где $k_{отс}$, k_B – коэффициенты отстройки и броска ёмкостного тока;

I_C – ёмкостный ток присоединения, А.

$$I_C = I_{CO} \cdot L, \quad (55)$$

где I_{CO} – удельный ёмкостный ток, А/км;

L – длина КЛ, км.

$$I_C = 0,55 \cdot 0,565 = 0,311 \text{ А},$$

$$I_{C.3.} \geq 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,311 = 0,932 \text{ A.}$$

Расчет уставок АВР на шинах 0,4 кВ подстанции.

Первая уставка:

$$U_{C.P} = 0,7 \cdot U_{НОМ}, \quad (56)$$

где $U_{НОМ}$ – напряжение сети, В» [4].

$$U_{C.P0,4} = 0,7 \cdot 380 = 266 \text{ В.}$$

«Вторая уставка:

$$U_{C.P} = (0,6 \div 0,65) \cdot U_{НОМ}, \quad (57)$$

$$U_{C.P0,4} = (0,6 \div 0,65) \cdot 380 = 228 \div 247 \text{ В.}$$

Время срабатывания АВР:

$$t_{C.P.ABP} = t_1 + \Delta t, \quad (58)$$

где t_1 – время срабатывания выключателей, с;

Δt – ступень селективности, с» [4].

$$t_{C.P.ABP} = 0,05 + 0,5 = 0,55 \text{ с.}$$

Выводы.

Выбраны кабели распределительной сети. Определены токи короткого замыкания, с учетом которых выбрано новое оборудование электрической части подстанции, которое проверено по техническим параметрам по местам его установки. Выбрано современное оборудование РЗА, определены уставки защит.

6 Расчет заземления и молниезащиты подстанции

Для обеспечения эффективного заземления, на подстанции выбирается заземляющее устройство (ЗУ) глубинного типа как наиболее современный, эффективный и долговечный тип ЗУ. Учитываются требования ПУЭ [10].

Глубинное заземляющее устройство (ГЗУ) это система, состоящая из вертикальных электродов (ВЭ), расположенных на определённой глубине в грунте. Этот тип заземления используется для снижения сопротивления и улучшения электрической проводимости в системе. ВЭ изготавливаются из стальных стержней, которые покрыты слоем меди толщиной 250 мкм. Глубинное заземление эффективно снижает сопротивление и обеспечивает стабильность работы электрооборудования. Оно особенно полезно в условиях, где сложно соблюдать требования к расположению заземляющих устройств. При использовании глубинного типа заземляющего устройства важно учитывать особенности грунта и соблюдать правила монтажа для достижения максимальной эффективности и безопасности работы системы.

«Эквивалентное сопротивление глубинного ЗУ:

$$R_{3y} = \frac{R_{0вэ}}{n}, \quad (59)$$

где $R_{0вэ}$ – сопротивление растеканию одного электрода, Ом;

n – число глубинных электродов, 4 шт.

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

$$\rho_p = \rho \cdot K_c, \quad (60)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом · м;

K_c – коэффициент сезонности.

$$\rho_{pe} = 300 \cdot 1,1 = 330 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

$$\rho_{pe} = 300 \cdot 1,4 = 420 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Принимается 4 глубинных ВЭ (сталь круглая омедненная диаметром 16 мм) длиной 15 м, расстояние от поверхности до верхнего конца ВЭ составляет 0,25 м» [9]. Схема ЗУ показана на рисунке 15.

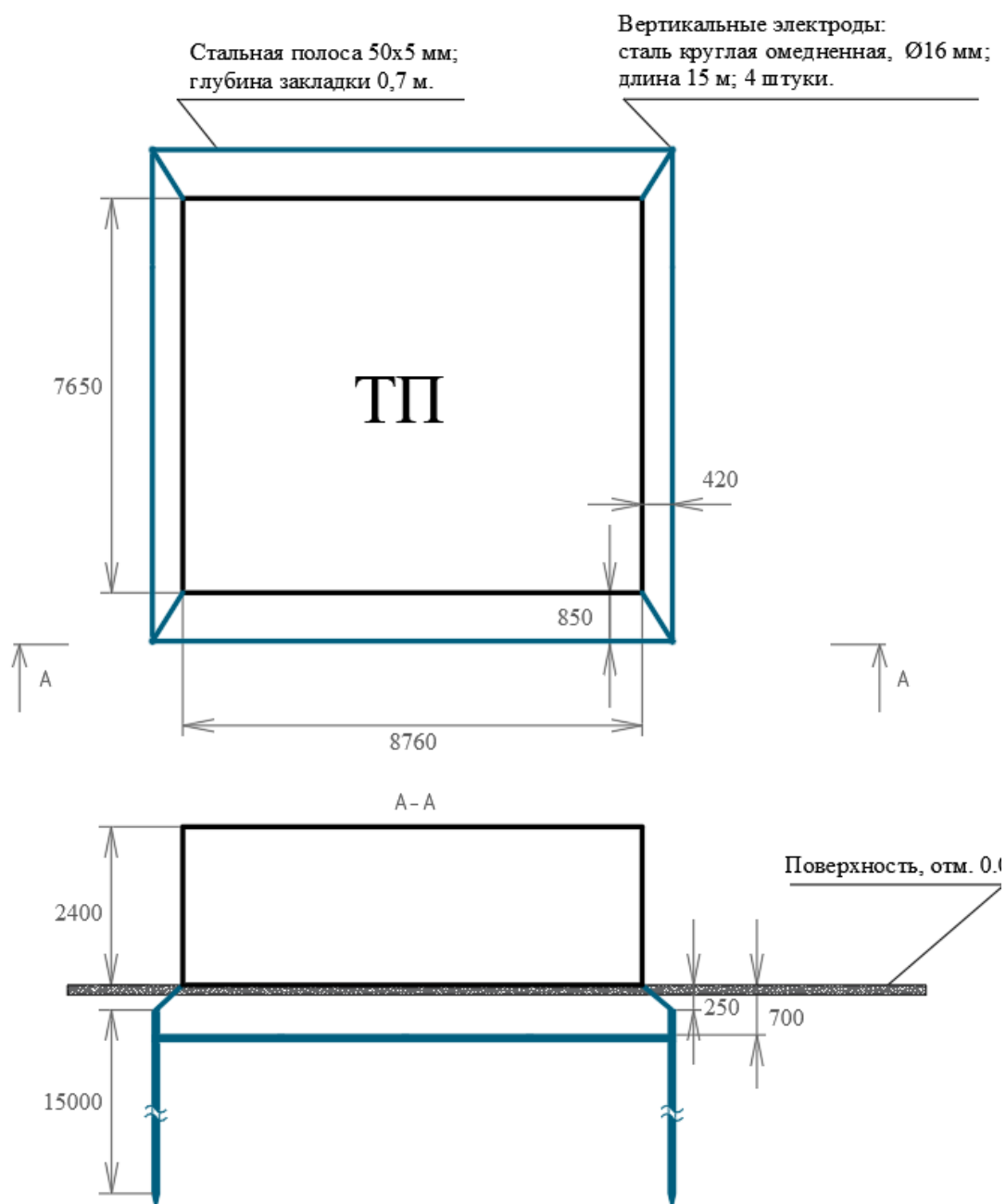


Рисунок 15 – Схема заземляющего устройства ТП

«Сопrotивление растеканию ВЭ:

$$R_{\text{овэ}} = \frac{\rho_{\text{рв}}}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right], \quad (61)$$

где l – длина, м;

d – диаметр, м;

t – расстояние от поверхности до центра ВЭ, м.

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

$$R_{\text{овэ}} = \frac{330}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 15}{0,016} \right) + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 7,75 + 15}{4 \cdot 7,75 - 15} \right) \right] = 13,828 \text{ Ом}.$$

Эквивалентное сопротивление глубинного ЗУ составит, по (59):

$$R_{\text{зy}} = \frac{13,828}{4} \approx 3,46 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}.$$

Сопrotивление ЗУ не превысит допустимый по ПУЭ предел 4 Ом» [9].

Молниезащита подстанции – это комплекс мероприятий, направленных на предотвращение повреждений и разрушений подстанции в результате прямого удара молнии или индуцированных волн. Она необходима в соответствии с действующими требованиями законодательства (ПУЭ) и обеспечивает стабильное электроснабжение потребителей. Опасность молнии заключается в перенапряжении, которое может возникнуть при прямом ударе или ударе вблизи подстанции. Это может привести к разрушению оборудования, нарушению работы подстанции и даже угрозе жизни людей.

«Молниезащита ТП будет обеспечиваться одиночным строжневим молниеотводом (МО), установленным на крыше, по центру. Зоной защиты МО высотой h является конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью МО. Радиус сечения зоны защиты:

$$r_x = \frac{r_0 \cdot (h_0 - h_x)}{h_0}, \quad (62)$$

где r_0 – радиус конуса защиты на уровне земли, м;

h_0 – высота конуса защиты, м;

h_x – расчетная высота зоны защиты, м.

Высота $h_x = 0$ (т.к. МО установлен на крыше), $r_x = r_0$.

$$h_0 = 0,85 \cdot h, \quad (63)$$

где h – высота МО, м.

$$r_0 = 1,2 \cdot h, \quad (64)$$

Высоту МО подбираем эмпирически, по условию:

$$\sqrt{(A/2)^2 + (B/2)^2} < r_0, \quad (65)$$

где A , B – длина и ширина защищаемой площади, м.

Для МО высотой 5 м, по (63-65):

$$r_0 = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ м},$$

$$h_0 = 0,85 \cdot 5 = 4,25 \text{ м},$$

$$\sqrt{(8,76/2)^2 + (7,65/2)^2} < 6,$$

$$5,82 < 7,2.$$

Защита обеспечивается» [9].

Схема молниезащиты ТП показана на рисунке 16.

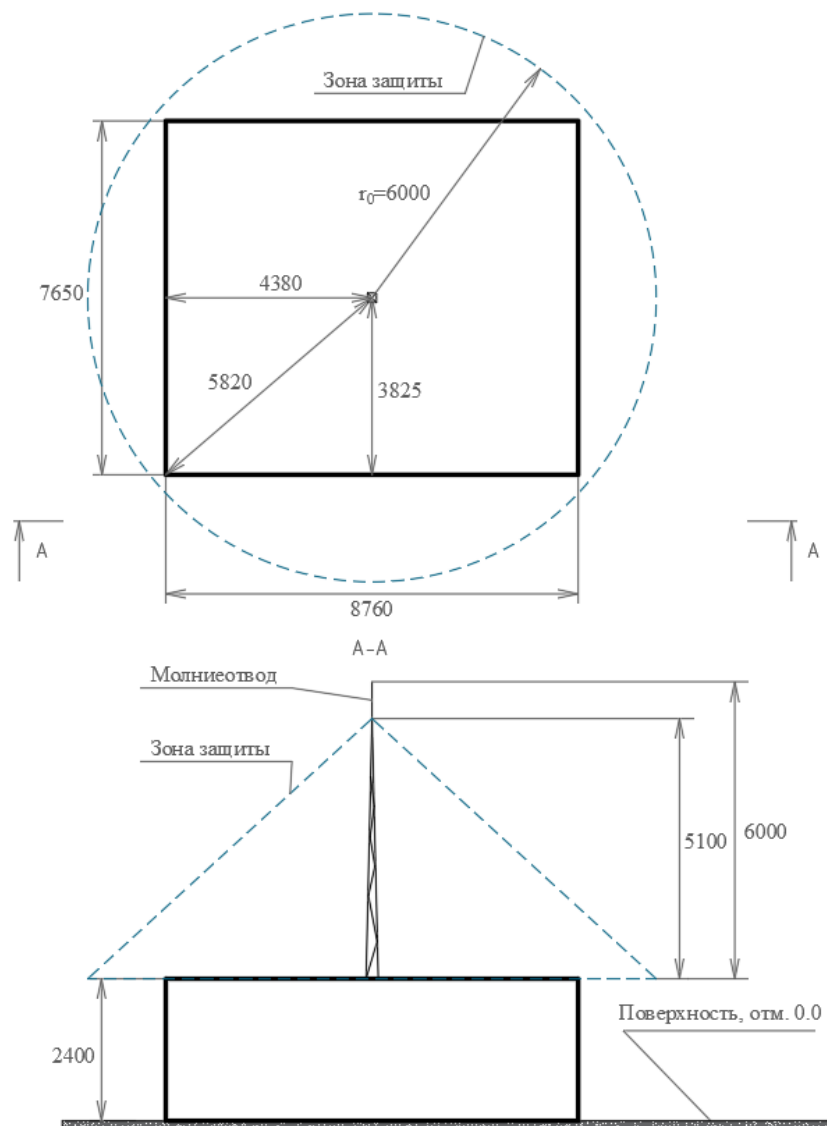


Рисунок 16 – Схема молниезащиты ТП

Выводы.

Действующие критически изношенные системы заземления и молниезащиты ТП будут заменены на новые спроектированные в данном разделе. Разработка систем заземления и молниезащиты проведена с учетом требований ПУЭ и других нормативных документов, надежная защита оборудования и людей будет обеспечиваться.

Заключение

Выполнен анализ технологического процесса и электроприемников предприятия, составлен генплан сборочного производства, определены требования к обеспечению надежности электроснабжения участков. Основная часть электрической нагрузки сосредоточена в сборочных цехах, обеспечивающих все ключевые технологические процессы. В целом, активные, реактивные и полные нагрузки производственных участков по объекту составили 539,52 кВт; 323,04 квар; 628,84 кВА. Структурно, существующая схема электроснабжения удовлетворяет всем требуемым техническим и эксплуатационным параметрам, целесообразно оставить неизменной структуру схемы электроснабжения, а новые кабели проложить по существующим траншеям, что упростит, ускорит и удешевит реконструкцию в целом. Для освещения территории будут использоваться светодиодные светильники SVT-STR-M-24W, реконструкция системы освещения повысит ее надежность и экологичность, обеспечит энергосбережение. Рассчитаны нагрузки освещения, составлен план осветительной сети территории. Выбраны энергосберегающие силовые трансформаторы подстанции и установки АУКРМ. Это значительно снизит потери мощности и электроэнергии. Выбраны кабели распределительной сети, определены токи КЗ, выбрано новое оборудование ТП, которое проверено по техническим параметрам по местам его установки. Выбрано современное оборудование РЗА, определены уставки защит. Действующие критически изношенные системы заземления и молниезащиты ТП будут заменены, разработка систем заземления и молниезащиты проведена с учетом требований ПУЭ и других нормативных документов, надежная защита оборудования и людей будет обеспечиваться.

Предлагаемые мероприятия по реконструкции СЭС обеспечат ее надежную, эффективную и безопасную эксплуатацию, данные мероприятия рекомендованы к применению.

Список используемых источников

1. Бирюлин В.И. Электроснабжение промышленных и гражданских объектов : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 204 с.
2. Бирюлин В.И. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
3. Голов Р. С. Управление энергосбережением на промышленном предприятии : монография. М. : Дашков и К, 2023. 458 с.
4. Горемыкин С. А. Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : ИНФРА-М, 2023. 191 с.
5. Иванов С.Н. Надежность электроснабжения : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2022. 164 с.
6. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
7. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: Учебное пособие. М. : Форум, 2022. 416 с.
8. Петухов Р.А. Электроснабжение : учебное пособие. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. 328 с.
9. Полуянович Н.К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. СПб. : Лань, 2023. 396 с.
10. Правила устройства электроустановок: действующие разделы 6-го и 7-го изданий. М. : ИНФРА-М, 2023. 832 с.
11. Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения : учебник. – 4-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 336 с.
12. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение : учебное пособие. – 2-е изд., стер. М. : ИНФРА-М, 2023. 328 с.
13. Сибикин Ю. Д. Современные электрические подстанции : учебное пособие. – 2-е изд., доп. М. : ИНФРА-М, 2023. 417 с.

14. 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.

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

16. 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.

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

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

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

20. Щербаков, Е. Ф. Электрические аппараты : учебное пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 303 с.