

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 Проектирование системы электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов

Обучающийся

Д.Р. Ибрагимов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Аннотация

В контексте повышения надежности и эффективности работы городского транспорта, в частности пригородных электропоездов, ключевую роль играет качество технического обслуживания подвижного состава. Важнейшим аспектом обеспечения бесперебойного и эффективного функционирования корпуса технического обслуживания является надежная и эффективно спроектированная система электроснабжения.

Цель работы: Проектирование системы электроснабжения для корпуса технического обслуживания пригородных поездов с целью повышения надежности, эффективности и безопасности технического обслуживания и ремонта подвижного состава.

Задачи исследования:

- определение требований к электроснабжению корпуса технического обслуживания;
- расчет и проектирование параметров системы внутреннего электроснабжения;
- разработка схемы релейной защиты.

Содержание исследования охватывает анализ существующих условий эксплуатации корпуса технического обслуживания, выявление требований к системе электроснабжения, разработку технического решения системы электроснабжения, включая расчет нагрузок, выбор оборудования и проектирование системы релейной защиты.

Общие результаты работы показывают, что разработанная система электроснабжения обеспечивает высокий уровень надежности и безопасности электропитания, способствует повышению эффективности работы корпуса технического обслуживания и минимизации рисков аварийных ситуаций.

Данная ВКР содержит пояснительную записку объемом 50 стр., дополняемой 12 таблицами, 7 рисунками, а также 6 чертежами формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая часть	5
1.1 Характеристика корпуса технического обслуживания пригородных поездов.....	5
1.2 Требования к электроснабжению корпуса технического обслуживания пригородных поездов.....	7
2 Расчет параметров системы внутреннего электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов	10
2.1 Распределение приёмников по пунктам питания	10
2.2 Определение расчетных нагрузок по пунктам питания.....	12
2.3 Расчет системы освещения.....	16
2.4 Расчет общей нагрузки корпуса	22
2.5 Компенсация реактивной мощности.....	22
2.6 Выбор силовых трансформаторов.....	25
2.7 Выбор кабельной линии 10 кВ	26
2.8 Выбор распределительной схемы электроснабжения и кабельных линий 0,4 кВ.....	27
2.9 Расчет токов короткого замыкания	31
2.10 Выбор оборудования ТП – 10/0,4 кВ	36
2.11 Выбор защитного оборудования распределительной сети.....	39
3 Релейная защита	42
Заключение	47
Список используемой литературы и используемых источников.....	48

Введение

Транспортная инфраструктура играет важную роль в экономическом и социальном развитии общества. В частности, пригородные электропоезда являются одним из ключевых элементов городского транспорта, обеспечение мобильности населения и снижение уровня загруженности дорог. Однако эффективность и безопасность их работы напрямую зависят от качества технического обслуживания и состояния инфраструктуры, в том числе от системы электроснабжения. Несмотря на значительные достижения в данной области, актуальность постоянного совершенствования электроснабжения обслуживающих комплексов остается высокой в свете растущих требований к надежности, безопасности и экологичности транспортных систем.

Актуальность выбранной темы ВКР определяется необходимостью повышения эффективности эксплуатации пригородных электропоездов за счет оптимизации системы электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов.

Целью, данной выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов, которая будет способствовать повышению надежности и эффективности обслуживания подвижного состава, а также удовлетворять современным требованиям безопасности.

Для достижения поставленной цели в работе определены следующие задачи:

- охарактеризовать требования к электроснабжению, основываясь на специфике работы корпуса технического обслуживания;
- рассчитать параметры системы внутреннего электроснабжения, включая распределение приемников по пунктам питания и определение расчетных нагрузок;
- предложить схему релейной защиты, обеспечивающую безопасность системы электроснабжения.

1 Общая часть

1.1 Характеристика корпуса технического обслуживания пригородных поездов

В составе депо «Московское», расположенного в Санкт-Петербурге, функционирует корпус технического обслуживания пригородных электропоездов, предназначенный для выполнения комплекса работ по поддержанию и восстановлению исправного состояния подвижного состава. Структура корпуса включает в себя несколько специализированных помещений: цех технического обслуживания ТО-4, колесный цех, малярный цех и помещение трансформаторной подстанции, каждое из которых выполняет определенный спектр задач и оснащено необходимым оборудованием для этого.

Цех ТО-4 предназначен для проведения технического обслуживания и ремонта электропоездов, включая диагностику, предотвращение и устранение неисправностей. Основное оборудование цеха включает в себя мостовой кран, подъемники, стенд для диагностики тяговых двигателей, вентиляторы и компрессоры. Мостовой кран используется для перемещения тяжелых компонентов и узлов поездов, подъемники предназначены для обеспечения доступа к нижней части электропоездов, а стенд для диагностики тяговых двигателей позволяет проводить тестирование и настройку двигателей. Вентиляторы и компрессоры обеспечивают необходимую вентиляцию и подачу сжатого воздуха для различных нужд цеха.

Колесный цех специализируется на ремонте и обслуживании колесных пар электропоездов. В его состав входят однокамерная моечная машина для очистки колес от загрязнений, индукционный электрогорн для нагрева деталей при ремонте, установка для автоматической наплавки буртиков шеек осей колесных пар для восстановления их изношенных поверхностей, токарный

полуавтомат для обработки колес и вентиляторы для обеспечения необходимых условий вентиляции.

Малярный цех отвечает за покраску и косметический ремонт электропоездов. Здесь используются окрасочно-сушильная установка для нанесения красочных покрытий и их последующей сушки, шлифовальный станок для подготовки поверхностей перед покраской, камеры пылеудаления для очистки поверхностей от пыли и других загрязнений перед нанесением краски, а также сушильные камеры для ускорения процесса высыхания краски.

Помещение трансформаторной подстанции обеспечивает всю территорию корпуса технического обслуживания необходимым электроснабжением. В нем установлены трансформаторы, которые преобразуют высоковольтное напряжение в напряжение, подходящее для использования в производственных целях и для питания оборудования всех цехов.

Корпус технического обслуживания является ключевой составляющей инфраструктуры депо «Московское», обеспечивая высокий уровень технической готовности пригородных электропоездов к эксплуатации, что напрямую влияет на безопасность и комфорт пассажирских перевозок.

В таблице 1 приведена классификация цехов корпуса по условиям окружающей среды.

Таблица 1 – Классификация цехов по условиям окружающей среды

Цех	Условия окружающей среды
Цех ТО-4	Влажная, масляная, с перепадами температур
Колесный цех	Пыльная, с высокой температурой и шумом
Малярный цех	Влажная, пыльная, с возможными химическими испарениями
Трансформаторная подстанция	Сухая

Информация, приведенная в таблице 1, будет учитываться во время выбора электрооборудования и его размещения.

1.2 Требования к электроснабжению корпуса технического обслуживания пригородных поездов

Электроснабжение корпуса технического обслуживания пригородных поездов предъявляет ряд строгих требований, обусловленных особенностями эксплуатации, безопасности и эффективности производственных процессов. Ниже представлены ключевые аспекты, на которые следует обратить внимание при проектировании системы электроснабжения:

- надежность электроснабжения: обеспечение непрерывного электроснабжения всех производственных участков;
- резервирование источников питания: наличие аварийных источников питания (например, дизель-генераторных установок или установка не менее двух силовых трансформаторов);
- стабильность напряжения и частоты: поддержание параметров электроэнергии в пределах норм, установленных государственными стандартами и техническими условиями для обеспечения корректной работы оборудования;
- защита от перенапряжений: установка защитных устройств для предотвращения повреждений оборудования в результате перенапряжений;
- использование энергосберегающего оборудования: выбор оборудования с высоким классом энергоэффективности, в том числе LED-освещение, энергоэффективные двигатели и трансформаторы;
- защита от поражения электрическим током: обеспечение безопасности персонала за счет использования устройств защитного отключения, заземления;
- гибкость системы электроснабжения: возможность модификации и расширения системы в соответствии с изменяющимися производственными потребностями и внедрением нового оборудования.

Проектирование системы электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов должно учитывать все вышеуказанные требования, чтобы обеспечить эффективную, безопасную и экологически устойчивую эксплуатацию оборудования и зданий корпуса.

Корпус технического обслуживания пригородных поездов — относится к важным инфраструктурным объектам, требующим высокой надежности электроснабжения для обеспечения бесперебойного выполнения технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Такие объекты часто классифицируются по категориям надежности электроснабжения, основанным на нормативных документах и стандартах.

Согласно [24] применяются следующие категории надежности электроснабжения:

- первая категория — объекты, для которых даже кратковременное отключение электроэнергии недопустимо, поскольку это может привести к серьезным последствиям для жизни людей, окружающей среды или привести к значительным экономическим потерям;
- вторая категория — объекты, для которых предусмотрены требования к минимизации времени отключения электроэнергии (допускается кратковременное отключение, но оно должно быть сведено к минимуму);
- третья категория — объекты, для которых допустимы более длительные перерывы в электроснабжении, поскольку они не несут прямой угрозы жизни людей.

Учитывая специфику корпуса технического обслуживания пригородных поездов, который требует бесперебойной работы оборудования для обслуживания и ремонта электропоездов, а также учитывая потенциальные последствия отключения электроэнергии для графика движения поездов и безопасности пассажирских перевозок, можно сделать вывод, что данный объект следует отнести к второй категории надежности электроснабжения. Это подразумевает, что система электроснабжения должна быть

спроектирована таким образом, чтобы минимизировать риск и продолжительность возможных отключений электроэнергии, в том числе за счет использования резервных источников питания.

Выводы по разделу 1.

В рамках раздела «Общая часть» была освещена комплексная характеристика корпуса технического обслуживания пригородных поездов и сформулированы ключевые требования к системе электроснабжения данного объекта. Анализ показал, что корпус технического обслуживания является многофункциональным производственным комплексом, включающим в себя различные цеха и помещения, каждое из которых предъявляет специфические требования к условиям труда и эксплуатации оборудования. Это, в свою очередь, накладывает особые требования к системе электроснабжения, ключевыми аспектами которой являются надежность, качество электроэнергии, энергоэффективность, безопасность, адаптивность и масштабируемость.

Определение корпуса технического обслуживания как объекта со второй категорией надежности электроснабжения подчеркивает необходимость минимизации времени отключения электроэнергии и обеспечения высокого уровня бесперебойности питания ключевых участков производства. Данное положение обязывает к тщательному планированию и проектированию системы электроснабжения, учитывая все возможные риски и предусматривая адекватные меры по их минимизации.

2 Расчет параметров системы внутреннего электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов

2.1 Распределение приёмников по пунктам питания

В процессе проектирования цехового электроснабжения важной задачей является распределение по группам электроприемников. В соответствии с этими группами определяются расчетные нагрузки, учитываемые в планируемых вариантах схем энергоснабжения.

Основные критерии, по которым формируются группы электроприемников:

- характер нагрузки;
- режим работы электроприемников;
- важность электроприемников (отказ которых может привести к серьезным последствиям для производственного процесса или безопасности, часто группируются отдельно для обеспечения их бесперебойным и качественным питанием);
- требования к качеству электроэнергии (электроприемники, чувствительные к колебаниям напряжения, частоты или к гармоническим искажениям в электросети, могут быть сгруппированы для обеспечения специализированных мер по улучшению качества электроснабжения);
- пространственное размещение (электроприемники, расположенные в одном месте или в одном производственном участке, могут быть объединены в одну группу для упрощения системы распределения электроэнергии и снижения затрат на прокладку кабельных линий);
- необходимость резервирования (для некоторых электроприемников требуется создание резервных источников питания в случае отключения основного источника);

- экономические соображения (иногда группировка может осуществляться на основе экономических соображений, таких как снижение затрат на обслуживание, эксплуатацию и ремонт системы электроснабжения).

Исходя из структуры корпуса и особенностей расположения различных цехов и помещений, реализована следующая схема группировки:

а) цех ТО-4 (РП-1):

- мостовой кран,
- подъемники,
- стенд для диагностики тяговых двигателей,
- вентиляторы,
- компрессоры;

б) колесный цех (РП-2):

- однокамерная моечная машина,
- индукционный электрогорн,
- установка для автоматической наплавки буртиков шеек осей колесных пар,
- токарный полуавтомат,
- вентилятор;

в) малярный цех (РП-3):

- окрасочно-сушильная установка;
- вентиляторы;
- шлифовальный станок;
- камеры пылеудаления;
- сушильные камеры;

г) помещение трансформаторной подстанции:

- трансформаторы.

В таблице 2 приведены группы электропотребителей с указанием величин их номинальных мощностей.

Таблица 2 – Распределение электроприёмников по группам

Наименование электроприемников	$P_{уст}$, кВт	Количество
РП-1		
Компрессор (1)	15	1
Стенд для диагностики тяговых двигателей (2)	3,5	1
Подъемник (3,4)	6,3	2
Вентилятор (5,6)	12,2	2
Мостовой кран (7)	36	1
РП-2		
Однокамерная моечная машина (8)	22	1
Индукционный электрогорн (9)	19	1
Установка для автоматической наплавки буртиков шеек осей колесных пар (10)	18	1
Токарный полуавтомат (11)	8,9	1
Вентилятор (12)	15	1
РП-3		
Окрасочно-сушильная установка (13,14)	25	2
Камеры пылеудаления (15,16)	2,5	2
Сушильные камеры (17,18)	9	2
Шлифовальный станок (19)	8,5	1
Вентилятор (20,21)	4,5	2

Такое распределение позволяет не только упростить процесс планирования системы электроснабжения, но и оптимизировать распределение энергии внутри корпуса, учитывая физическую близость и взаимосвязь между различными видами оборудования внутри каждого цеха.

2.2 Определение расчетных нагрузок по пунктам питания

Правильный расчет электрических нагрузок имеет решающее значение для обеспечения надежности, безопасности и экономической эффективности системы электроснабжения. Вот основные цели и причины, по которым необходим точный расчет нагрузок:

- обеспечение надежности электроснабжения (точный расчет помогает обеспечить бесперебойное питание всех потребителей электроэнергии, предотвращая перегрузки и сбои в работе сети);
- безопасность (неправильный расчет может привести к перегрузкам и, как следствие, к перегреву и возгоранию электрооборудования);

- экономическая эффективность (расчет нагрузок позволяет оптимизировать размеры и мощности устанавливаемого оборудования);
- планирование расширения (точные данные о нагрузках необходимы для планирования будущего расширения или модернизации системы электроснабжения, позволяя предусмотреть необходимую инфраструктуру заранее);
- компенсация реактивной мощности (для минимизации потерь в сети и улучшения качества электроэнергии важно правильно рассчитать не только активную, но и реактивную мощность, что влияет на выбор оборудования для компенсации реактивной мощности);
- соблюдение нормативных требований (правильный расчет электрических нагрузок обеспечивает соответствие проекта строительным, техническим и эксплуатационным нормам и стандартам).

Далее расчет производится на примере РП-1.

Коэффициент группового использования для распределительного пункта РП-1 вычисляется согласно нижеприведенной формуле [1]:

$$k_{\Sigma И} = \frac{\Sigma k_{И} \cdot P_{Н}}{\Sigma P_{Н}}, \quad (1)$$

$$k_{\Sigma И} = \frac{52,45}{91,5} = 0,57.$$

где $k_{И}$ – коэффициент использования ЭП [1,25];

$P_{Н}$ – паспортная мощность ЭП [9,26], кВт;

$\Sigma P_{Н}$ – сумма номинальных мощностей в группе [9], кВт.

Эффективное число потребителей электроэнергии находится на основании следующей формулы [15,25]:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum P_{\text{H}})^2}{\sum_1^n P_{\text{H}}^2}, \quad (2)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{(91,5)^2}{1910,31} = 4,38.$$

где n – количество потребителей, шт.

В соответствии с [1], если $n_{\text{э}}=4$ и $k_{\text{И}}=0,6$, то расчетный коэффициент активной мощности $K_{\text{р}}$ принимается равным 1,12.

Соответственно, расчетная активная мощность будет получена из следующего уравнения [12,22]:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot \sum_{i=1}^n (K_{\text{и}} \cdot P_{\text{H}})_i \quad (3)$$

$$P_{\text{р}} = 1,12 \cdot 52,45 = 58,74 \text{ кВт.}$$

Значение рассчитанной реактивной мощности будет следующим:

$$Q_{\text{р}} = 1,1 \cdot \sum_{i=1}^n (K_{\text{и}} \cdot P_{\text{H}} \cdot \text{tg}\varphi)_i, \quad (4)$$

$$Q_{\text{р}} = 1,1 \cdot 60,12 = 66,132 \text{ квар.}$$

Полная расчетная потребляемая мощность РП-1 равняется [7]:

$$S_{\text{р}} = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2}, \quad (5)$$

$$S_{\text{р}} = \sqrt{58,74^2 + 66,132^2} = 88,45 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток РП-1:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (6)$$

$$I_p = \frac{88,45}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 127,67 \text{ А.}$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение ЭП, В.

Расчеты для прочих распределительных пунктов осуществляются по аналогичной схеме, результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов электрической нагрузки по распределительным пунктам

ЭП	n, шт	P, кВт		$k_{и}$	cos	$K_{и}P_{н}$	$K_{и}P_{н}t$ гφ	np^2	$n_{э}$	Kp	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А
		P, кВт	$\sum P$, кВт											
РП-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Компрессор (1)	1	15	15	0,75	0,8	11,2 5	8,44	225	-	-	-	-	-	-
Стенд для диагностики (2)	1	3,5	3,5	0,5	0,8	1,75	1,31	12,25	-	-	-	-	-	-
Подъемник (3,4)	2	6,3	12,6	0,25	0,5	3,15	5,46	79,38	-	-	-	-	-	-
Вентилятор (5,6)	2	12,2	24,4	0,75	0,8	18,3	13,73	297,6 8	-	-	-	-	-	-
Мостовой кран (7)	1	36	36	0,5	0,5	18	31,18	1296	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-1:	7	-	91,5	0,57	0,66	52,4 5	60,12	1910, 31	4,3	1,12	58,7 4	66,1 32	88,4 5	127, 67
РП-2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Однокамерная моечная машина (8)	1	22	22	0,65	0,6	14,3	19,07	484	-	-	-	-	-	-
Индукционный электрогорн (9)	1	19	19	0,65	0,65	12,3 5	14,44	361	-	-	-	-	-	-
Установка для автоматической наплавки буртиков шеек осей колесных пар (10)	1	18	18	0,7	0,8	12,6	9,45	324	-	-	-	-	-	-
Токарный полуавтомат (11)	1	8,9	8,9	0,2	0,5	1,78	3,08	79,21	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

ЭП	n, шт	P, кВт		k _и	cos	K _и P _н	K _и P _{нt} gφ	np ²	nэ	Kp	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А
		P, кВт	∑P, кВт											
Вентилятор (12)	1	15	15	0,75	0,8	11,25	8,44	225	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-2:	5	-	82,9	0,63	0,69	52,28	54,48	1473,21	4,6	1,12	58,55	59,928	83,78	120,93
РП-3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Окрасочно-сушильная установка (13,14)	2	25	50	0,7	0,8	35	26,25	1250	-	-	-	-	-	-
Камеры пылеудаления (15,16)	2	2,5	5	0,65	0,8	3,25	2,44	12,5	-	-	-	-	-	-
Сушильные камеры (17,18)	2	9	18	0,75	0,9	13,5	6,54	162	-	-	-	-	-	-
Шлифовальный станок (19)	1	8,5	8,5	0,25	0,5	2,125	3,68	72,25	-	-	-	-	-	-
Вентилятор (20,21)	2	4,5	9	0,75	0,8	6,75	5,06	40,5	-	-	-	-	-	-
Итого по РП-3:	9	-	90,5	0,67	0,81	60,625	43,97	1537,25	5,3	1,03	62,44	48,367	78,98	114

На основе этих данных будет осуществляться выбор устройств защиты распределительных пунктов и проводников, осуществляющих их энергоснабжение.

2.3 Расчет системы освещения

Осветительная система должны соответствовать следующему нормативному документу [16]. Одной из главных особенностей данного нормативного документа следует назвать необходимость соблюдения ряда критериев, предъявляемых к светодиодным светотехническим устройствам. На сегодняшний день LED освещение представляет собой достаточно популярное направление из числа современных технологий в области искусственного электрического освещения.

Светодиодное освещение имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными источниками искусственного света, такими как лампы накаливания, галогенные лампы, люминесцентные (люминесцентные лампы и компактные люминесцентные лампы) и газоразрядные лампы (например, металлогалогенные). Вот некоторые из ключевых преимуществ светодиодного освещения:

- энергоэффективность (светодиоды потребляют значительно меньше электроэнергии, чем традиционные источники света, при этом производя тот же уровень светового потока);
- долговечность (светодиоды имеют значительно более долгий срок службы по сравнению с другими источниками света);
- низкое тепловыделение (в процессе работы светодиоды выделяют значительно меньше тепла, чем лампы накаливания или галогенные лампы);
- экологичность (светодиодные лампы не содержат ртути и других вредных веществ, которые присутствуют в некоторых типах люминесцентных ламп);
- мгновенное включение (светодиодные лампы мгновенно достигают полной яркости без задержки, в отличие от некоторых типов люминесцентных ламп, которым требуется время для разогрева);
- широкий спектр цветов (светодиоды могут производить свет практически любого цвета без использования дополнительных цветных фильтров, что делает их идеальными для задач декоративного освещения).

Несмотря на все эти преимущества, светодиодное освещение имеет более высокую начальную стоимость по сравнению с традиционными источниками света. Однако благодаря экономии на электроэнергии и меньшим затратам на обслуживание и замену, общая стоимость владения светодиодным освещением зачастую оказывается ниже в долгосрочной перспективе.

Общее равномерное освещение должно быть рассчитано для всех цехов и помещений в корпусе.

Для всех помещений корпуса нормируемая освещенность составляет 300 Лк [2, 16].

В качестве прибора освещения предлагается светодиодный светильник марки РНВ SMD Reflector. Его световой поток составляет 9000 Лм, а потребляемая мощность - 100 Вт.

Расчет мощности и выбор светильников осуществляется по приведенным далее формулам.

«Расстояние между рядами и светильниками в ряду:

$$L = \lambda_c \cdot H_p, \quad (7)$$

где λ_c - оптимальное относительное расстояние, м [8].

H_p – высота подвеса светильников [8], м.

Число рядов R светильников при их параллельном расположении определяют по формуле:

$$R = \frac{A}{L}, \quad (8)$$

где A – ширина помещения, м.

Число светильников в ряду:

$$L_R = \frac{B}{L}, \quad (9)$$

где B – длина помещения, м.

Тогда количество светильников в рассматриваемом помещении рассчитывается по формуле:

$$N = R \cdot L_R. \quad (10)$$

Индекс помещения рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{S}{H_p(A + B)}. \quad (11)$$

Расчётное количество светильников [8]:

$$N = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot S \cdot z}{\Phi \cdot \eta}, \quad (12)$$

где E_n - нормативное значение минимальной освещённости [8], лк;

$K_{\text{зап}}$ – коэффициент запаса [8];

S – площадь помещения, м²;

z - отношение $E_{\text{ср}}/E_{\text{min}}$ [8];

Φ – световой поток источника света, Лм;

η - коэффициент использования светового потока, о.е» [8].

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B. \quad (13)$$

Активная мощность потребляема группой светильников:

$$P_p = N \cdot P_{\text{ном.св.}}, \quad (14)$$

где N – количество светильников в группе [3];

$P_{\text{ном.св.}}$ – номинальная мощность светильника [3], Вт.

Реактивная мощность потребляема группой светильников:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (15)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент активной мощности светильника [5].

Полная мощность для группы светильников рассчитывается по следующей формуле [6]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (16)$$

Аварийное освещение также будет осуществляться с помощью данных светодиодных светильников, которые обеспечат освещенность, составляющую 10% от уровня освещенности рабочего освещения.

Светильники будут расположены таким образом, чтобы обеспечить безопасную эвакуацию сотрудников в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, и снабжены источниками бесперебойного питания. Внешний вид источника бесперебойного питания показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид блока питания для аварийного освещения

Этот источник бесперебойного питания обеспечит работу аварийного освещения в случае полного отказа источника питания корпуса.

Расчеты системы рабочего освещения корпуса представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов рабочего освещения

Помещение	$E_{п,}$ лк	$H_p,$ м	$A,$ м	$B,$ м	$S,$ м ²	i	$\eta,$ о.е.	N_p	Тип светильника	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
Цех ТО	300	4,7	19,6	57,6	1129	3,1	0,84	60	PHB SMD Reflector	6	1,2	6,12
Колесный цех	300	4,7	15,4	20,8	320	1,9	0,63	22	PHB SMD Reflector	2,2	0,44	2,24
ТП	300	4,7	15,4	14	216	1,6	0,51	18	PHB SMD Reflector	1,8	0,36	1,84
Малярный цех	300	4,7	15,4	21,5	331	1,9	0,75	20	PHB SMD Reflector	2	0,4	2,04
Итого	-	-	-	-	-	-	-	120	-	12	2,4	12,24

Расчеты системы аварийного освещения корпуса представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчетов аварийного освещения

Помещение	$E_{п,}$ лк	$H_p,$ м	$A,$ м	$B,$ м	$S,$ м ²	i	$\eta,$ о.е.	N_p	Тип светильника	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
Цех ТО	30	4,7	19,6	57,6	1129	3,1	0,84	6	PHB SMD Reflector	0,6	0,12	0,61
Колесный цех	30	4,7	15,4	20,8	320	1,9	0,63	2	PHB SMD Reflector	0,2	0,04	0,2
ТП	30	4,7	15,4	14	216	1,6	0,51	2	PHB SMD Reflector	0,2	0,04	0,2
Малярный цех	30	4,7	15,4	21,5	331	1,9	0,75	2	PHB SMD Reflector	0,2	0,04	0,2
Итого	-	-	-	-	-	-	-	12	-	1,2	0,24	1,22

2.4 Расчет общей нагрузки корпуса

Для определения общей электрической нагрузки корпуса необходимо суммировать все составляющие нагрузки, включая силовую нагрузку от технологического оборудования и нагрузку от систем освещения (как рабочего, так и аварийного).

В таблице 6 обобщены и суммированы все нагрузки, относящиеся к корпусу технического обслуживания пригородных поездов.

Таблица 6 – Общая нагрузка корпуса

Линия	P, кВт	Q, квар	S, кВА	I, А	cosφ	tgφ
РП-1	58,74	66,132	88,45	127,67	0,66	1,14
РП-2	58,55	59,928	83,78	120,93	0,7	1,02
РП-3	62,44	48,367	78,98	114	0,79	0,78
ЩО	12	2,4	12,24	17,67	0,98	0,2
ЩАО	1,2	0,24	1,22	1,76	0,98	0,2
Итого:	192,93	177,067	261,87	377,98	0,74	0,91

Этот расчет дает представление об общем энергопотреблении корпуса, что необходимо для дальнейшего проектирования системы электроснабжения, включая выбор источников питания, сечений проводников и защитного оборудования.

2.5 Компенсация реактивной мощности

Расчет и выбор компенсирующих установок для коррекции коэффициента мощности ($\cos\varphi$) необходимы в электроэнергетических системах по нескольким причинам, основанным на требованиях к эффективности, надежности и экономичности электроснабжения. Вот основные цели выполнения таких расчетов и выбора:

- повышение эффективности использования электрической энергии (компенсация реактивной мощности позволяет снизить общее энергопотребление и улучшить эффективность системы);
- снижение потерь в электросетях (реактивная мощность вызывает дополнительные токи в сети, которые приводят к потерям мощности в линиях электропередачи, трансформаторах и другом оборудовании);
- улучшение качества электроэнергии (низкий коэффициент мощности и высокий уровень реактивной мощности могут приводить к падениям напряжения в сети, что негативно сказывается на работе чувствительного электрооборудования);
- увеличение пропускной способности электросетей (снижение реактивной нагрузки в сети позволяет увеличить ее пропускную способность без дополнительного усиления или замены оборудования);
- сокращение затрат на электроэнергию (многие электросетевые компании взимают дополнительные платежи за потребление реактивной мощности или при низком коэффициенте мощности).

Таким образом, расчет и выбор компенсирующих установок являются важной задачей при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем, направленной на оптимизацию их работы, снижение затрат и улучшение качества электроснабжения.

Значение расчетной реактивной мощности установки конденсаторов по условию:

$$Q_{к.расч} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \quad (17)$$

где α - коэффициент, учитывающий увеличение $\cos\varphi$ [1];

$tg\varphi$ - коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$tg\varphi_k$ - коэффициент реактивной мощности после компенсации.

Определяется мощность компенсирующих устройств для рассматриваемого корпуса:

$$Q_{к.р} = 0,9 \cdot 192,93 \cdot (0,91 - 0,33) = 100,71 \text{ квар.}$$

В качестве компенсирующих устройств на ТП корпуса приняты две установки КРМ58-0,4-50-10 У3 мощностью 50 квар каждая.

Внешний вид установки КРМ58-0,4-50-10 У3 представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Конденсаторная установка УКМ58-0,4-50-10 У3

Производится вычисление фактических $\text{tg}\varphi_{\text{факт}}$ и $\text{cos}\varphi_{\text{факт}}$ после внедрения компенсирующих приборов:

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_p}, \quad (18)$$
$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = 1,08 - \frac{2 \cdot 50}{0,9 \cdot 192,93} = 0,33.$$

Результаты показывают, что выбранной мощности конденсаторных установок достаточно для поддержания приемлемого коэффициента реактивной мощности в сети.

2.6 Выбор силовых трансформаторов

Трансформатор относится к главному электротехническому оборудованию, поскольку он выполняет наиболее важные функции в системах передачи и распределения электроэнергии, а также в различных технологических процессах на производствах, в энергетике, в системах электроснабжения объектов инфраструктуры и в других областях.

Поскольку ранее в ходе работы было принято решение отнести потребителей корпуса к категории 2, необходимо установить, как минимум 2 трансформатора.

Номинальная мощность трансформаторов определяется по условию:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_p}{\beta_T}, \quad (19)$$
$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{261,87}{1,4} = 187,05 \text{ кВа.}$$

где β_T – допустимый коэффициент перегрузки [18];

Предварительно приняты к установке два силовых трансформатора ТМГ 250/10/0,4.

Следующий шаг - проверка трансформатора на возможность аварийного режима работы:

$$K_a = \frac{S_p}{S_{\text{ном.т.р}}}, \quad (20)$$
$$K_a = \frac{261,87}{250} = 1,05.$$

Как видно из расчета, в случае аварийной ситуации трансформатор будет перегружен на 5% при допустимом значении 40%. Данный резерв предоставляет возможность гибкости проектируемой системы

электроснабжения в том случае, если будет увеличено количество технологического оборудования в будущем.

Далее необходимо рассчитать токи на высокой и низкой стороне трансформатора, на основе которых будет выбрано коммутационное и защитное оборудование, а также кабельные линии.

Ток на стороне 10 кВ с учетом допустимой перегрузки [15]:

$$I_{p10кВ} = \frac{1.4S_{т.НОМ}}{\sqrt{3}U_{ВН}}, \quad (21)$$

$$I_{p10кВ} = \frac{1,4 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 19,25 \text{ А.}$$

где $U_{ВН}$ – напряжение на высокой стороне трансформатора, кВ.

$$I_{p0,4кВ} = \frac{1.4S_{т.НОМ}}{\sqrt{3}U_{Н}}, \quad (22)$$

$$I_{p0,4кВ} = \frac{1,4 \cdot 250}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 505,2 \text{ А.}$$

где $U_{Н}$ – напряжение на низкой стороне трансформатора, кВ.

2.7 Выбор кабельной линии 10 кВ

В соответствии с [1] выбор кабельных линий выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности [14]:

$$S_{э} = \frac{I_{p10кВ}}{j_{Н}}, \quad (23)$$

$$S_{э} = \frac{19,25}{1,2} = 16,04.$$

где $j_{Н}$ – «нормированная плотность тока равная 1,2 А/мм² (при работе предприятия с $T_{м}$ более 5000 час/год и питания кабелями с алюминиевыми жилами марки ААШВ)» [10,14].

К монтажу принимается кабель марки ААШВ 3х16 сечением 16 мм².

Кабель на напряжение 10 кВ марки ААШВ 3х16 представляет собой силовую кабель с алюминиевыми жилами, изоляцией из ПВХ и оболочкой, защищающей от воздействия влаги и механических повреждений.

Далее необходимо проверить кабель на допустимый ток нагрева, используя следующее выражение:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р10кВ}}, \quad (24)$$
$$75\text{А} \geq 19,25\text{ А},$$

где $I_{\text{доп}}$ - длительный допустимый ток выбранного кабеля [10], А.

По результатам представленного выше выражения можно сделать вывод, что кабель марки ААШВ 3х16 подходит для применения на данном объекте.

2.8 Выбор распределительной схемы электроснабжения и кабельных линий 0,4 кВ

Питание подстанции осуществляется от двух кабельных линий 10 кВ марки ААШВ 3х16 по радиальной схеме, так как данная подстанция является тупиковой.

Далее от распределительного устройства 0,4 кВ подстанции питаются распределительные щиты (РП) и щиты освещения (ЩО, ЩАО). Затем по кабельным линиям, проложенным в трубах или по строительным конструкциям, подается электроэнергия к потребителям технологического и санитарно-технического оборудования (вентиляционным установкам), а также осветительным приборам.

Радиальная схема [23] предлагается в качестве основной как для питающих, так и для распределительных линий. Данная схема была принята в связи с тем, что на территории корпуса расположено достаточно много

ответственных энергоемких потребителей, прекращение подачи электроэнергии к ним может привести к простоя вагонов, а, следовательно, и к экономическим ущербам.

Упрощенная схема электроснабжения корпуса показана на рисунке 3.

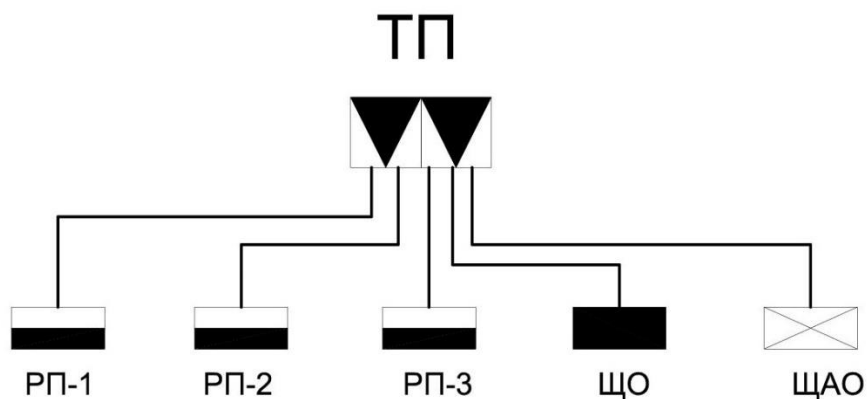


Рисунок 3 – Упрощенная схема электроснабжения корпуса

Далее будут рассчитаны и проверены кабельные линии от распределительного устройства 0,4 кВ подстанции до распределительных щитов и щитов освещения.

Кабельные линии будут проверены на допустимую токовую нагрузку и потерю напряжения.

Расчет и выбор кабельной линии производится на примере РП-1.

Из предыдущих разделов известно, что расчетный ток РП-1 составляет 127,67А.

Предварительно выбран кабель ВВГ (4х50) с поперечным сечением 50 мм² и длительно допустимым током $I_{\text{доп}}$ 145 А.

Затем выбранный проводник проверяется на соответствие следующему условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{рРП-1}}, \quad (25)$$

$$145 \text{ А} \geq 127,67 \text{ А.}$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительно допустимый ток проводника [1], А.

Как видно на этой стадии, условие выполнено, следовательно, кабель прошел проверку. Следующий шаг - проверка на допустимую потерю напряжения.

Падение напряжения в линии рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P_{\text{РП-1}} \cdot r_0 \cdot l + Q_{\text{РП-1}} \cdot x_0 \cdot l}{10U_{\text{H}}^2}, \quad (26)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{58,74 \cdot 0,37 \cdot 0,07 + 66,13 \cdot 0,085 \cdot 1,07}{10 \cdot 0,4^2} = 1,197\%,$$

где r_0 - удельное активное сопротивление кабельной линии [11],

Ом/км;

l - длина кабельной линии, км;

x_0 - удельное индуктивное сопротивление кабельной линии [11], Ом/км;

U_{H} - напряжение сети, кВ.

Потеря напряжения соответствует норме, т.е. не превышает допустимых 5% [1].

Для оставшихся питающих линий расчеты выполняются аналогичным образом, результаты приводятся в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора питающих линий

Линия	Расчетный ток группы, А	$I_{\text{доп}}$, А	Марка кабеля	L, м	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , %
РП-1	127,67	145	ВВГ (5×50)	70	0,37	0,085	1,197
РП-2	120,93	145	ВВГ (5×50)	32	0,37	0,085	0,535
РП-3	114	120	ВВГ (5×35)	32	0,53	0,088	0,747
ЩО	17,67	55	ВВГ _{нг} -LS (5×10)	40	1,84	0,099	0,558
ЩАО	1,76	55	ВВГ _{нг} -LS (5×10)	40	1,84	0,099	0,056

Для распределительных линий расчеты выполняются аналогично, результаты расчетов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Таблица выбора групповых линий

Наименование оборудования	Расчетный ток группы, А	$I_{доп}$, А	Марка кабеля	L, м	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	ΔU , %
РП-1							
Компрессор (1)	27,06	35	ВВГ (5×4)	5	4,63	0,107	0,2
Стенд для диагностики тяговых двигателей (2)	6,31	19	ВВГ (5×1,5)	10	12,3	0,126	0,6
Подъемник (3,4)	18,19	19	ВВГ (5×1,5)	14	12,3	0,126	0,78
Вентилятор (5,6)	22,01	25	ВВГ (5×2,5)	45	7,4	0,116	0,89
Мостовой кран (7)	103,92	120	ВВГ (5×35)	50	0,53	0,088	0,3
РП-2							
Однокамерная моечная машина (8)	52,92	55	ВВГ (5×10)	6	1,84	0,099	0,2
Индукционный электрогорн (9)	42,19	55	ВВГ (5×10)	8	1,84	0,099	0,4
Установка для автоматической наплавки буртиков шеек осей колесных пар (10)	32,48	35	ВВГ (5×4)	12	4,63	0,107	0,9
Токарный полуавтомат (11)	25,69	35	ВВГ (5×4)	14	4,63	0,107	0,1
Вентилятор (12)	27,06	35	ВВГ (5×4)	16	4,63	0,107	1,2
РП-3							
Окрасочно-сушильная установка (13,14)	45,11	55	ВВГ (5×10)	12	1,84	0,099	0,3
Камеры пылеудаления (15,16)	4,51	19	ВВГ (5×1,5)	20	12,3	0,126	0,4
Сушильные камеры (17,18)	14,43	25	ВВГ (5×2,5)	13	7,4	0,116	0,3
Шлифовальный станок (19)	26,54	35	ВВГ (5×4)	10	7,4	0,116	0,3
Вентилятор (20,21)	8,12	19	ВВГ (5×1,5)	36	12,3	0,126	1,3

2.9 Расчет токов короткого замыкания

В современных системах электроснабжения обеспечение надежности и безопасности эксплуатации электроэнергетических объектов является приоритетной задачей. Одним из важных аспектов обеспечения безопасности является анализ и расчет токов короткого замыкания. Этот процесс не только способствует предотвращению возможных аварийных ситуаций, но и обеспечивает правильный выбор защитного оборудования, способного эффективно реагировать на экстремальные режимы работы системы.

Токи короткого замыкания представляют собой сверхтоки, возникающие в электрической сети при прямом соединении фазных проводников или фазных проводников с нулевым проводником (землей) без сопротивления в месте соединения. Величина этих токов может во много раз превышать номинальный ток сети, что создает угрозу повреждения оборудования и проводников, а также может привести к возникновению пожаров и другим опасным последствиям.

В этом разделе будет разработана методология расчета токов короткого замыкания специально для корпуса технического обслуживания пригородных поездов. Расчеты основываются на актуальных нормативных требованиях [1] и учитывают уникальные характеристики проектируемой системы электроснабжения. Результаты этих расчетов обеспечат необходимую информацию для определения параметров защитного оборудования, такого как автоматические выключатели, предохранители и реле защиты, что является ключевым для создания безопасной и надежной работы электроустановок на объекте.

«Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. Для этого все расчетные данные приводят к базисному напряжению и базисной мощности.

Для расчетов токов КЗ составляют расчетную схему системы электроснабжения рисунок 4.

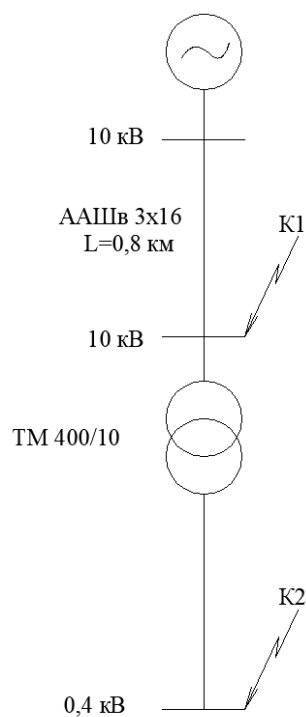


Рисунок 4 – Расчетная схема для расчета токов короткого замыкания в максимальном режиме

На основе расчетной схемы строится схема замещения с целью расчета токов короткого замыкания в максимальном режиме (рисунок 5).

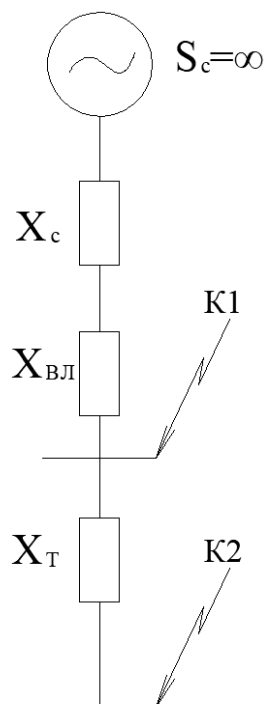


Рисунок 5 – Схема замещения для расчета токов КЗ

За базисную мощность при расчете принимается номинальная мощность трансформаторов, установленных на цеховой подстанции:

$$S_6 = 250 \text{ кВА} = 0,25 \text{ МВА.}$$

Базисные напряжения в схеме определяются согласно следующему выражению [4]:

$$U_6 = 1,05 \cdot U_{\text{НОМ}}, \text{ кВ.} \quad (27)$$

По формуле (27):

$$U_{61} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ,}$$

$$U_{62} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ} \gg [1].$$

Базисные токи на ступени 10 и 0,4 кВ рассчитываются по формуле:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6}. \quad (28)$$

По формуле (28)

$$I_{61} = \frac{0,25}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,014 \text{ кА,}$$

$$I_{62} = \frac{0,25}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,361 \text{ кА.}$$

Согласно [10], при отсутствии информации о параметрах системы допустимо принять сопротивление системы равным:

$$X_c = 0.$$

Сопrotивление линии, обеспечивающей питание ТП [4]:

$$X_{\text{КЛ}} = x_{\text{овл}} \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2}, \quad (29)$$

$$R_{\text{КЛ}} = r_{\text{окл}} \cdot l \cdot \frac{S_{\text{б}}}{U_{\text{б}}^2}, \quad (30)$$

где $x_{\text{овл}}$ – индуктивное сопротивление воздушной линии, Ом/км [13];

l – длина кабельной линии, км;

$r_{\text{окл}}$ – активное сопротивление воздушной линии, Ом/км [13].

Для кабельной линии схемы:

$$X_{\text{КЛ}} = 0,113 \cdot 0,8 \cdot \frac{0,25}{10,5^2} = 2,05 \cdot 10^{-4} \text{ о. е.},$$

$$R_{\text{КЛ}} = 0,777 \cdot 4 \cdot \frac{0,4}{10,5^2} = 3,34 \cdot 10^{-3} \text{ о. е.}$$

Сопrotивление трансформатора [13]:

$$X_{\text{трТП}} = \frac{U_k}{100} \cdot \frac{S_{\text{б}}}{S_{\text{н.тр}}}, \quad (31)$$

$$X_{\text{трТП}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,25}{0,25} = 0,045 \text{ о. е.},$$

где U_k – напряжение к.з., % [13];

$S_{\text{н.тр}}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА [13].

Полное сопротивление и ток КЗ до точки К1:

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{R_{\text{ВЛ}}^2 + (X_{\text{с}} + X_{\text{ВЛ}})^2}, \quad (32)$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{(2,05 \cdot 10^{-4})^2 + (0 + 3,34 \cdot 10^{-3})^2} = 0,00335 \text{ о. е.},$$

$$I_{к,к1} = \frac{I_6}{Z_{к1}}, \quad (33)$$

$$I_{к,к1} = \frac{0.014}{0.00335} = 4,179 \text{ кА.}$$

Полное сопротивление и ток КЗ до точки К2 [13]:

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{кЛ}^2 + (X_c + X_{кЛ} + X_{трТП})^2}, \quad (34)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{(3,34 \cdot 10^{-3})^2 + (0 + 2,05 \cdot 10^{-4} + 0.045)^2} = 0.0453 \text{ о. е.},$$

$$I_{к,к2} = \frac{I_6}{Z_{к2}}, \quad (35)$$

$$I_{к,к2} = \frac{0.361}{0.0453} = 7.97 \text{ кА.}$$

Ударный ток в рассматриваемых точках:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к,к}, \quad (36)$$

$$i_{y1} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,179 = 8,274 \text{ кА,}$$

$$i_{y2} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,97 = 11,3 \text{ кА,}$$

где k_y - ударный коэффициент» [13].

Результаты расчетов занесены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	$Z_{к2}$, о.е.	$I_{к,к}$, кА	i_y , кА
К1	$3,35 \cdot 10^{-3}$	4,179	8,274
К2	$4,53 \cdot 10^{-2}$	7,97	11,3

Результаты расчетов токов короткого замыкания будут учитываться в дальнейшем при выборе и проверке оборудования на стороне 10 и 0,4 кВ.

2.10 Выбор оборудования ТП – 10/0,4 кВ

Выключатели нагрузки на вводе в ТП.

Ниже перечислены все условия, на основе которых осуществляется расчет и проверка силовых выключателей.

«По номинальному напряжению [17]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (37)$$

где $U_{уст}, U_n$ - соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя, кВ [17].

По максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (38)$$

где $I_{раб.макс.}, I_n$ - соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя, А.

Проверка коммутационных аппаратов на симметричные токи отключения [17]:

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (39)$$

где $I_{п.т}$ - значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов[1];

$I_{отк.ном}$ - номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА[1];

Для аппаратов с функцией отключения аperiodическая составляющая тока короткого замыкания в процессе проведения данной работы проверяется на отключение [1]:

$$i_{a.т} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (40)$$

где $\beta_{ном}$ – «номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе [1];
 $i_{a.ном}$ – номинальное допустимое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени [1].

По величине ударного тока [17]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (41)$$

где $i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости аппарата [1].

Проведение испытаний электрических устройств на термостойкость [1]:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (42)$$

где I_T – предельный ток термической стойкости по каталогу [1];
 t_T – длительность протекания тока термической стойкости, с» [17].

В качестве защитного устройства на высокой стороне трансформатора принят вакуумный выключатель ВР1 – 10/630.

Этот тип выключателя обладает рядом преимуществ, делающих его популярным решением для различных задач в области электроэнергетики:

- высокая надежность и долговечность;
- быстрое действие;
- низкие эксплуатационные затраты;
- экологичность;

- малые габариты и вес;
- возможность использования в различных климатических условиях;
- безопасность использования.

Внешний вид выключателя ВР1 – 10/630 представлен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид выключателя ВР1 – 10/630

Результаты расчетов и испытаний выключателя приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты расчетов и испытаний выключателя ВР1 – 10/630 [1]

Условия проверки	Расчетные показатели сети	Паспортные данные устройства
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс.} \leq I_n$	$I_{раб.макс.} = 19,25 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{п.т} = 4,179 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 8,27 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_K = 72.45 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Исходя из таблицы 10, все расчетные данные значительно меньше паспортных данных рассматриваемого выключателя, поэтому данный аппарат может быть принят к установке на ТП.

В ячейках РУ-10 кВ шкафа ТП-10/0,4 кВ вместе с высоковольтными выключателями устанавливаются также трансформаторы тока. Выбор и испытания трансформатора тока представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты расчетов и проверки ТОЛ-10 [1]

Условия проверки	Расчетные показатели сети	Паспортные данные устройства
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс.} \leq I_n$	$I_{раб.макс.} = 19,25 \text{ А}$	$I_n = 75 \text{ А}$
$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 8,27 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА}$
$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$B_K = 72.45 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 \cdot t_T = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

2.11 Выбор защитного оборудования распределительной сети

Выбор автоматических выключателей для сетей низкого напряжения (0,4 кВ) является ключевым моментом при проектировании и эксплуатации электроустановок. Правильный выбор этих устройств обеспечивает защиту электрической сети и подключенного оборудования от перегрузок, коротких замыканий и других нежелательных режимов работы. Ниже представлены основные параметры и критерии, которые необходимо учитывать при выборе автоматических выключателей в сети 0,4 кВ.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата выбираются, исходя из условий» [1]:

$$I_{н.авт} \geq I_{р,} \quad (43)$$

$$I_{у.т.р.} \geq 1,1I_{р,} \quad (44)$$

где $I_{н.авт}$ – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{у.т.р.}$ – уставка теплового расцепителя автоматического выключателя, А.

«Ток электромагнитного расцепителя» [1]:

$$I_{у.э.р.} \geq K_{т.о.} \cdot I_p, \quad (45)$$

где $K_{т.о.}$ – кратность срабатывания токовой отсечки

Выбор защитных аппаратов представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор защитных устройств

Узел питания	ЭП	I_p , А	$1,1I_p$, А	Тип выключателя	$I_{ном.а.}$, А	$I_{у.т.р.}$, А	$I_{у.э.р.}$, А
Вводной ВА ТП 0,4 кВ	-	505,2	555,72	ВА 52-39	630	630	6300
Секционный АВ ТП 0,4	-	252,6	277,86	ВА 52-39	630	320	3200
ТП	РП-1	127,67	140,44	ВА 52-35	250	160	1600
ТП	РП-2	120,93	133,02	ВА 52-35	250	160	1600
ТП	РП-2	114	125,4	ВА 52-35	250	160	1600
ТП	ЩО	17,67	19,44	ВА 51-25	25	25	250
ТП	ЩАО	1,76	1,94	ВА 51-25	25	12,5	125
РП-1	Компрессор	27,06	29,77	ВА 51-31	100	32	320
РП-1	Стенд для диагностики тяговых двигателей	6,31	6,94	ВА 51-25	25	12,5	125
РП-1	Подъемник	18,19	20,01	ВА 51-25	25	25	250
РП-1	Вентилятор	22,01	24,21	ВА 51-25	25	25	250
РП-1	Мостовой кран	103,92	114,31	ВА 52-35	250	125	1250
РП-2	Однокамерная моечная машина	52,92	58,21	ВА 51-31	100	63	630
РП-2	Индукционный электрогорн	42,19	46,41	ВА 51-31	100	50	500
РП-2	Установка для автоматической наплавки буртиков шеек осей колесных пар	32,48	35,73	ВА 51-31	100	40	400
РП-2	Токарный полуавтомат	25,69	28,26	ВА 51-31	100	32	320

Продолжение таблицы 12

Узел питания	ЭП	I_p, A	$1,1I_p, A$	Тип выключателя	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
РП-2	Вентилятор	27,06	29,77	ВА 51-31	100	32	320
РП-3	Окрасочно-сушильная установка	45,11	49,62	ВА 51-31	100	50	500
РП-3	Камеры пылеудаления	4,51	4,96	ВА 51-25	25	12,5	125
РП-3	Сушильные камеры	14,43	15,87	ВА 51-25	25	16	160
РП-3	Шлифовальный станок	24,54	26,99	ВА 51-31	100	32	320
РП-3	Вентилятор	8,12	8,93	ВА 51-31	100	16	320

Выводы по разделу 2.

В разделе «Расчет параметров системы внутреннего электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов» были выполнены следующие ключевые задачи:

- определены электрические нагрузки (было проведено детальное изучение и расчет всех потребностей корпуса в электроэнергии, что послужило основой для всех последующих проектных решений);
- спроектирована система освещения (для освещения выбраны светодиодные светильники марки PHB SMD REFLECTOR за их высокую энергоэффективность и долгий срок службы);
- выполнена компенсация реактивной мощности (установлены две компенсирующие установки крм58-0,4-50-10 у3 мощностью 50 квар каждая, что позволяет снизить потребление реактивной энергии и улучшить качество электроснабжения);
- рассчитаны и выбраны силовые трансформаторы (принято решение установить трансформаторы тмг 250/10/0,4, отвечающие всем требованиям).

3 Релейная защита

Расчет релейной защиты для силового трансформатора ТМГ 250/10/0,4 выполняется для обеспечения безопасности и надежности работы как самого трансформатора, так и всей электроэнергетической системы в целом. Релейная защита предназначена для быстрого обнаружения и локализации неисправностей, предотвращения повреждения оборудования и минимизации риска для персонала и окружающей среды. Вот основные цели и причины, по которым необходимо проводить такие расчеты:

- обнаружение и изоляция неисправностей (релейная защита способна быстро обнаруживать различные типы неисправностей, такие как короткие замыкания, перегрузки, замыкания на землю и другие);
- предотвращение повреждений оборудованиям (без адекватной защиты трансформатор и смежные элементы сети могут быть серьезно повреждены при возникновении аварий);
- повышение надежности электроснабжения (релейная защита способствует поддержанию стабильной и надежной работы электросистемы, минимизируя время простоя и восстанавливая питание после устранения неисправности);
- защита персонала (предотвращение аварийных ситуаций и быстрое отключение поврежденных участков сети снижает риск для обслуживающего персонала, связанный с возможностью поражения электрическим током или пожара);
- соответствие нормативным требованиям (современные стандарты и нормы в области электроэнергетики требуют обеспечения адекватной защиты электрооборудования, включая силовые трансформаторы, что невозможно без точного расчета и настройки релейной защиты).

«Релейная защита силовых трансформаторов цеховых ТП выполнена на базе микропроцессорного устройства защиты «Орион-2». Использование в

устройстве современной микропроцессорной элементной базы обеспечивает высокую точность измерений и постоянство характеристик, что позволяет существенно повысить чувствительность и быстродействие защит, а также уменьшить ступени селективности. Устройство может применяться для защиты элементов распределительных сетей как самостоятельное устройство, так и совместно с другими устройствами РЗА. Данное устройство имеет весь необходимый комплекс защит и так же порт связи с ПК» [21].

Внешний вид блока «Орион-2» представлен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Внешний вид блока «Орион-2»

«Для защиты блока «Линия – Трансформатор» ТП используется двухступенчатая токовую защиту: селективную отсечку с отстройкой от максимального трёхфазного замыкания на стороне 0,4кВ трансформатора и МТЗ с выдержкой времени, отстроенную от броска тока намагничивания

трансформатора» [21]. Устанавливается защита от однофазных замыканий на землю. Расчет ведётся на примере блока «линия – трансформатор».

«Селективная отсечка.

Ток срабатывания селективной отсечки:

$$I_{c.o} \geq K_H \cdot I_{кз}^{(3)}, \quad (46)$$

где K_H - коэффициент надёжности токовой отсечки [21];

$I_{кз}^{(3)}$ - максимальный ток короткого трёхфазного замыкания на стороне 10 кВ, кА.

Тогда ток срабатывания отсечки равен:

$$I_{c.o} = 1,05 \cdot 4179 = 4387,9 \text{ А.}$$

Ранее к установке был принят трансформатор тока ТОЛ с коэффициентом трансформации 75/5.

Ток срабатывания микропроцессорного реле:

$$I_{cp} = \frac{K_{cx} \cdot I_{c.o.}}{K_1}, \quad (47)$$

где K_{cx} - коэффициент схемы соединения трансформаторов тока [21];

K_1 - коэффициент трансформации ТТ.

Ток срабатывания микропроцессорного реле будет равен:

$$I_{cp} = \frac{1 \cdot 4387,9}{15} = 292,53 \text{ А.}$$

Максимальная токовая защита (МТЗ).

МТЗ отстраивается от номинального тока трансформатора Т1. Коэффициент самозапуска в этом случае принимается 1,4 [1]. Ток срабатывания защиты находится по формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{н}} \cdot k_{\text{сзн}}}{k_{\text{в}}} \cdot I_{\text{раб.мах}} , \quad (48)$$

где $k_{\text{сзн}}$ - коэффициент самозапуска [21];

$k_{\text{в}}$ - коэффициент возврата [21].

Ток срабатывания защиты равен:

$$I_{\text{ср}} = \frac{1,05 \cdot 1,4}{0,97} \cdot 19,25 = 29,17 \text{ А.}$$

Ток срабатывания микропроцессорного реле по (47):

$$I_{\text{ср}} = \frac{1 \cdot 29,17}{15} = 1,94 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности при коротком замыкании в основной зоне действия защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{0,87 \cdot I_{\text{кз}}^{(3)}}{I_{\text{с.з}}} , \quad (49)$$

где $I_{\text{кз}}^{(2)}$ - значение тока двухфазного короткого замыкания, А.

Таким образом коэффициент чувствительности равен:

$$K_{\text{ч}} = \frac{0,87 \cdot 4179}{29,17} = 124,64 > 15.$$

Выдержку времени защиты:

$$t_{c.з.W} = t_{c.з2} + \Delta t, \quad (50)$$

$$t_{c.з.W} = 0,75 + 05 = 1,25 \text{ с.}$$

где $t_{c.з2}$ - время срабатывания вводного автоматического выключателя подстанции, с

Δt - ступень селективности, с» [21].

Выводы по разделу 3.

В данном разделе был проведен комплексный анализ и разработка системы защиты для подстанции ТМГ 250/10/0,4, что включало в себя выбор и настройку релейной защиты на базе микропроцессорного устройства «Орион-2». Это современное решение обеспечивает не только высокую точность и оперативность реакции на аварийные ситуации, но и гибкость в настройке параметров защиты, что важно для обеспечения надежности и безопасности электроснабжения.

Заключение

В работе были определены и тщательно проанализированы требования к электроснабжению, учитывая уникальные условия и специфику работы корпуса. Были рассчитаны параметры системы внутреннего электроснабжения, что позволило оптимально спроектировать систему освещения на базе энергоэффективных светодиодных светильников марки PNB SMD Reflector и обеспечить адекватную компенсацию реактивной мощности с помощью установок КРМ58-0,4-50-10 УЗ.

Распределение потребителей по радиальной схеме электроснабжения, основанная на детальном анализе расположения и потребностей различных цехов, демонстрирует продуманный подход к обеспечению надежности и эффективности питания ответственных энергоемких потребителей. Это обеспечивает минимизацию риска простоя вагонов и, как следствие, экономических убытков.

Важной составляющей работы стало проектирование системы релейной защиты на основе микропроцессорного устройства «Орион-2», что позволило реализовать современные требования к безопасности и надежности электроснабжения. Использование вакуумного выключателя ВР1 – 10/630 на высокой стороне трансформатора подтверждает стремление к максимальной защите и долговечности оборудования.

Таким образом, выполненная работа представляет собой значимый вклад в развитие системы электроснабжения корпуса технического обслуживания пригородных поездов, обеспечивая его надежное, безопасное и эффективное функционирование. Результаты данного исследования и реализованные проектные решения будут способствовать повышению качества обслуживания вагонов и минимизации рисков, связанных с электроснабжением, что, безусловно, окажет положительное влияние на работу всего корпуса.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие. М. : Тольятти, 2016.
2. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 07.04.2024).
3. Карманова Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: Учебное пособие/Учреждение образования «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 2015.
4. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : ГОСТ 28249-93 утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 07.04.2024).
5. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368 с.
6. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие. М. : Academia, 2013. 320 с.
7. Кудрин Б. И. Электроснабжение: Учебник. М. : Academia, 2015. – 352 с. 52
8. Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд., 1992. 650 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.

10. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 01 – 01. – М. : ЗАО «Энергосервис», 1998. – 980 с.
11. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejpro-poterjam-naprzazhenija.html> (дата обращения 07.04.2024).
12. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утв. техническим циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения: 07.04.2024).
13. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования// Консультант плюс: справочно-правовая система.
14. Сибикин Ю. Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: учебное пособие. М. : 2014. 414 с.
15. Сибкин Ю. Д., Сибикин М. Ю., Яшков В. А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М. : Форум : Инфра-М, 2015. 368 с.
16. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 07.04.2024).
17. Сазонов Ю.Н. Автоматизация электроснабжения. Санкт-Петербург: Питер, 2014. 320 с.
18. Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : ГОСТ Р 52719-2007 утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 07.04.2024).
19. Терехов А.Н., Чудинов Н.И. Электрические сети и системы. М.: Бином-Пресс, 2016. 360 с.

20. Тимошенко В.В. Электроэнергетические системы предприятий. Санкт-Петербург:Издательский дом «Лань», 2018. 280 с.
21. Требования к релейной защите [Электронный ресурс] : интернет-сайт. URL: <https://pue8.ru/relejnaya-zashchita/238-trebovaniya-k-relejnojzashchite.html> (дата обращения: 07.04.2024).
22. Сивков А. А., Сайгаш А. С., Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174 с.
23. Суворин А. В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544 с.
24. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. М. : ДРОФА, 2013. 128 с.
25. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: учеб. пособие. Москва: Форум, Инфра-М, 2020. 216 с.
26. Шлейников В.Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия. Оренбург: ОГУ, 2012. 115 с