

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 электрической части РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей

Обучающийся

В.В. Михеев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе выполнена реконструкция внешней системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, которая осуществляется путём внесения изменений в существующую «схему электрической части питающего РП 10 кВ данного предприятия» [18].

«Для решения поставленной задачи, в работе выполнен анализ исходных данных, на основании которого разработаны и обоснованы мероприятия по реконструкции внешней системы электроснабжения предприятия по производству» [7] автомобилей, осуществляемой путём внесения изменений в существующую схему электрической части питающего РП 10 кВ данного предприятия.

Осуществлён выбор основного силового оборудования для установки на РП 10 кВ объекта исследования. После внедрения мероприятий по реконструкции, проверены на соответствие установке в схеме силовые трансформаторы цеховых подстанций, а также проводники и аппараты.

Выбраны блоки и уставки релейной защиты и автоматики системы электроснабжения. Проведён расчёт контура заземления на примере одной из цеховых подстанций.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению предприятия.....	7
1.1 Характеристика технологического процесса и объектов предприятия по производству автомобилей	7
1.2 Основные нормы проектирования систем электроснабжения машиностроительных предприятий	13
2 Расчёт системы электроснабжения предприятия	17
2.1 Реконструкция схемы электроснабжения РП-10 кВ предприятия	17
2.2 Расчёт электрических нагрузок	19
2.3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов подстанций	24
2.4 Выбор устройств компенсации реактивной мощности	28
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	31
2.6 Выбор и расчёт проводников.....	37
2.7 Выбор и расчёт электрических аппаратов.....	40
3 Расчёт релейной защиты, контура заземления и экономических показателей проекта.....	45
3.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	45
3.2 Расчёт контура заземления РП 10 кВ.....	52
Заключение	56
Список используемых источников.....	59

Введение

«Известно, что предприятия по производству автомобилей являются энергоёмкими подразделениями машиностроительной промышленности, обеспечивая» [15] изготовления различных автомобилей, применяющихся в промышленности и в прочих видах народного хозяйства.

К таким автомобилям относятся легковые автомобили, грузовые автомобили и техника, а также автомобильная специальная техника для применения в промышленности, а также в административно-хозяйственном комплексе.

Усовершенствование технологического процесса в машиностроении России является важной задачей, которая ставится перед многими предприятиями данной отрасли. Это связано с тем, что конкуренция на рынке машиностроения постоянно растет, а покупатели все более требовательны к качеству продукции и срокам ее производства. Оптимизация технологического процесса позволяет сократить затраты на производство, повысить качество и надежность изделий, а также сократить время их изготовления.

Одним из основных направлений усовершенствования технологического процесса в машиностроении является внедрение новых технологий и современного оборудования. Например, использование высокотехнологичных методов обработки материалов, таких как лазерная и электроэрозионная обработка, позволяет получать изделия с более высокой точностью и повышенной производительностью. Также важно использовать современное оборудование, способное автоматизировать технологические процессы, что позволяет сократить время и затраты на производство.

Другим важным направлением усовершенствования технологического процесса в машиностроении является оптимизация логистических процессов. Оптимизация логистики позволяет сократить затраты на транспортировку и хранение материалов и комплектующих, а также сократить время между

этапами производства.

Для этого необходимо использовать современные системы управления логистикой, такие как системы электронной коммерции и системы управления складами.

Также важным фактором в усовершенствовании технологического процесса в машиностроении является улучшение качества производства.

Для решения данной задачи необходимо использовать новейшие методы контроля качества, такие как компьютерное моделирование и испытания, что позволяет выявлять дефекты и ошибки на ранних стадиях производства и своевременно их исправлять.

Такая постановка вопроса значительно расширяет возможности предприятий, снижая затраты на выпуск продукции с одной стороны, и повышая доход и расширяя потенциальные рынки сбыта за счёт конкурентоспособности, с другой стороны.

В целом, усовершенствование технологического процесса в машиностроении России является многогранным процессом, который должен учитывать различные факторы и аспекты. Однако, при правильном подходе, это может привести к улучшению производительности и конкурентоспособности отрасли на мировом рынке.

«Основной целью работы является разработка проекта реконструкция внешней системы электроснабжения предприятия по производству» [17] автомобилей в связи с производственной необходимостью, которая осуществляется путём внесения изменений в существующую «схему электрической части питающего РП 10 кВ данного предприятия» [19].

Система электроснабжения предприятия по производству автомобилей является объектом исследования в работе, а её технические составляющие, параметры и характеристики – предметом исследования.

«Для решения поставленной задачи, в работе выполнен в работе анализ исходных данных, на основании которого разработаны и обоснованы мероприятия по реконструкции внешней системы электроснабжения

предприятия по производству» [10] автомобилей, осуществляемой путём внесения изменений в существующую схему электрической части питающего РП 10 кВ данного предприятия.

Осуществлён выбор основного силового оборудования для установки на РП 10 кВ объекта исследования.

После внедрения мероприятий по реконструкции, проверены на соответствие установке в схеме силовые трансформаторы цеховых подстанций, а также проводники и аппараты.

Выбраны блоки и уставки релейной защиты и автоматики системы электроснабжения.

Проведён расчёт контура заземления на примере одной из цеховых подстанций.

«Предлагаемая работа состоит из трёх разделов, и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов отрасли» [10].

1 Анализ исходных данных по электроснабжению предприятия

1.1 Характеристика технологического процесса и объектов предприятия по производству автомобилей

«Рассматриваемый в работе объект проектирования является предприятием по производству автомобилей и относится к предприятиям машиностроительной промышленности» [4].

При этом важно развивать кадровый потенциал в отрасли машиностроения.

Для этого нужно обеспечить высокое качество образования, подготовку квалифицированных кадров и повышение квалификации работников.

Также необходимо уделять внимание научно-исследовательской деятельности, чтобы получать новые знания и опыт, которые можно применять в производстве.

Кроме того, стоит улучшать систему управления производством, внедряя современные методы и инструменты.

Это позволит снизить затраты на производство, оптимизировать производственные процессы, сократить количество брака и повысить эффективность производства.

Наконец, необходимо учитывать глобальные тренды и изменения в мировой экономике, чтобы быть конкурентоспособными на мировом рынке.

Однако, при правильном подходе, это может привести к улучшению производительности и конкурентоспособности отрасли на мировом рынке.

Следовательно, производство автомобилей будет носить комплексный характер, что значительно сэкономит средства на логистику и снизит энергоёмкость при неизменном плане выполнения готовых заказов.

«По этой причине данный вопрос сооружения и ввода в эксплуатацию собственной системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, является актуальной задачей» [2].

Исходя из технологии и необходимости производства, на проектируемом металлургическом заводе, планируется производить следующие виды автомобильной продукции:

- легковая автомобильная техника (участок производства легковых автомобилей);
- грузовая автомобильная техника (участок производства грузовых автомобилей);
- специальная автомобильная техника (участок производства специальных автомобилей);
- запасные части и узлы к автомобильной технике всех типов;
- сопутствующая продукция.

Весь процесс производства продукции на автомобильном предприятии значительно отличается друг от друга.

Как известно, на любом производстве есть основные и вспомогательные объекты, каждый из которых носит вклад в производственную схему предприятия.

«К основным производственным цехам и участкам предприятия по производству автомобилей, относятся» [1]:

- цех подготовки производства – необходим для подготовки и очистки первичного материала для изготовления деталей автомобилей, с последующим доведением его до требуемого технического состояния (первичной подготовки, очистки материалов от пыли, грязи и примесей, придании нужной формы);
- участок производства легковых автомобилей – в нём осуществляется изготовление деталей легковых автомобилей с последующей их сборкой, покраской и наладкой;
- участок производства грузовых автомобилей – в нём осуществляется изготовление деталей грузовых автомобилей с последующей их сборкой, покраской и наладкой;

- участок производства специальной автомобильной техники – в нём осуществляется изготовление и сборки узлов и механизмов специальной автомобильной техники;
- участок производства узлов и механизмов – необходим для производства основных узлов и механизмов разнообразной автомобильной техники;
- участок окончательной комплектации, покраски и приёмки – необходим для осуществления окончательного процесса комплектации автомобильной техники автоматикой, электроникой и прочими узлами, а также покраски и приёмки в эксплуатацию изготовленной и собранной автомобильной техники.

Цех подготовки производства, участок производства легковых автомобилей, участок производства грузовых автомобилей, участок производства специальной автомобильной техники, участок производства узлов и механизмов, а также участок окончательной комплектации, покраски и приёмки, являются основными производственными подразделениями рассматриваемого в работе предприятия по производству автомобилей.

Поэтому они относятся к 1 категории по надёжности электроснабжения потребителей.

«На территории предприятия по производству автомобилей также расположены следующие вспомогательные цеха и участки» [16]:

- котельная (котлы газовые с мощными насосными установками и задвижками);
- компрессорная (включая высоковольтные двигатели 10 кВ, питающиеся отдельно от РП 10 кВ, без промежуточных цеховых ТП);
- насосная (включая высоковольтные двигатели 10 кВ, питающиеся отдельно от РП 10 кВ, без промежуточных цеховых ТП);

- службы технического обеспечения (отдел службы главного энергетика предприятия, обеспечивающий техническую и энергетическую потребности производства);
- конвейерная галерея (подача материалов и заготовок в производственные цеха);
- испытательный участок;
- склад материалов;
- склад комплектующих и узлов;
- склад заполнителей и реагентов (складское помещение для хранения химических веществ);
- ремонтно-механический цех (включая службы ремонта и наладки предприятия);
- административный корпус, маркетинг;
- столовая (электрические плиты для процесса приготовления и обработки пищи);
- медпункт;
- гараж и СТО (совокупность боксов для хранения и ремонта автомобильной техники предприятия).

«Исходные технические данные приведённых подразделений рассматриваемого в работе предприятия, приведены в таблице 1» [5].

При этом в данной таблице приведены следующие основные сведения:

- порядковый номер цеха (участка), соответствующий плану расположения оборудования на территории предприятия;
- назначение цеха (участка);
- выходная номинальная паспортная мощность цеха (участка).

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков предприятия по производству автомобилей

Номер цеха по плану	Наименование цеха (участка)	Технологическое назначение	$P_{пр}$, кВт
1	Склад материалов	Неосновной вспомогательный	154
2	Склад комплектующих и узлов	Неосновной вспомогательный	145
3	Службы технического обеспечения	Неосновной вспомогательный	1285
4	Цех подготовки производства	Основной производственный	4715
5	Участок производства легковых автомобилей	Основной производственный	5030
6	Участок производства грузовых автомобилей (0,4 кВ)	Основной производственный	1335
	Участок производства грузовых автомобилей (10 кВ)	Основной производственный	2995
7	Участок производства специальной автомобильной техники	Основной производственный	3180
8	Участок производства узлов и механизмов (0,4 кВ)	Основной производственный	1625
	Участок производства узлов и механизмов (10 кВ)	Основной производственный	2690
9	Котельная	Неосновной производственный	2130
10	Компрессорная (0,4 кВ)	Неосновной производственный	1090
	Компрессорная (10 кВ)	Неосновной производственный	2085
11	Испытательный участок	Неосновной производственный	1770
12	Участок окончательной комплектации, покраски и приёмки	Основной производственный	1810
13	Насосная (0,4 кВ)	Неосновной производственный	1160
	Насосная (10 кВ)	Неосновной производственный	2220
14	Конвейерная галерея	Неосновной производственный	115
15	Склад наполнителей и реагентов	Неосновной вспомогательный	715
16	Ремонтно-механический цех	Неосновной производственный	630
17	Административный корпус, маркетинг	Неосновной вспомогательный	425
18	Столовая	Неосновной вспомогательный	369
19	Медпункт	Неосновной вспомогательный	31
20	Гараж и СТО	Неосновной вспомогательный	340

Систематизация цехов по надёжности и среде приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Систематизация цехов по надёжности и среде

Номер цеха	Наименование цеха	Категория надёжности	Характеристика среды
1	Склад материалов	III категория	Нормальная
2	Склад комплектующих и узлов	III категория	Нормальная
3	Службы технического обеспечения	II категория	Нормальная
4	Цех подготовки производства	I категория	Пыльная, сухая
5	Участок производства легковых автомобилей	I категория	Жаркая, пыльная, сухая
6	Участок производства грузовых автомобилей (0,4 кВ)	I категория	Жаркая, пыльная, сухая
	Участок производства грузовых автомобилей (10 кВ)	I категория	Жаркая, пыльная, сухая
7	Участок производства специальной автомобильной техники	I категория	Жаркая, пыльная, сухая
8	Участок производства узлов и механизмов (0,4 кВ)	I категория	Жаркая, пыльная, сухая
	Участок производства узлов и механизмов (10 кВ)	I категория	Жаркая, пыльная, сухая
9	Котельная	I категория	Жаркая, сухая
10	Компрессорная (0,4 кВ)	I категория	Жаркая, пыльная
	Компрессорная (10 кВ)	I категория	Жаркая, пыльная
11	Испытательный участок	II категория	Нормальная
12	Участок окончательной комплектации, покраски и приёмки	I категория	Химически агрессивная
13	Насосная (0,4 кВ)	I категория	Влажная
	Насосная (10 кВ)	I категория	Влажная
14	Конвейерная галерея	II категория	Нормальная
15	Склад наполнителей и реагентов	III категория	Химически активная
16	Ремонтно-механический цех	III категория	Пыльная, сухая
17	Административный корпус, маркетинг	III категория	Нормальная
18	Столовая	III категория	Нормальная
19	Медпункт	III категория	Нормальная
20	Гараж и СТО	III категория	Нормальная

1.2 Основные нормы проектирования систем электроснабжения машиностроительных предприятий

Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий является важной задачей, поскольку от правильно разработанной системы зависят эффективность работы оборудования, безопасность персонала и экономичность производства. Основные нормы проектирования систем электроснабжения машиностроительных предприятий устанавливаются в соответствии с требованиями нормативных документов, определяющих проектирование электроустановок.

Одним из основных нормативных документов является [11]. Данный документ устанавливает требования к конструкции, эксплуатации и обслуживанию электроустановок. В [11] определены основные параметры системы электроснабжения, а также требования к выбору оборудования и материалов. Кроме того, для проектирования систем электроснабжения машиностроительных предприятий используются нормативные документы, определяющие требования к качеству электроэнергии, а также к условиям ее передачи и распределения.

Основными нормами проектирования систем электроснабжения машиностроительных предприятий являются [11]:

- разработка проекта электроснабжения, который должен содержать следующие разделы: техническое задание, анализ потребления электроэнергии, расчет электрооборудования, схема электроснабжения, требования к безопасности и экологичности;
- выбор оборудования для системы электроснабжения, который осуществляется с учетом требований к надежности, безопасности, энергоэффективности и экономичности производства;
- установление норм электропотребления для отдельных потребителей и цехов, которые определяются на основе анализа технологического процесса и характеристик используемого оборудования;

- разработка проекта защиты электроустановок, который включает определение типа защиты, выбор защитного оборудования и определение схемы соединения защитных устройств;
- разработка системы автоматизации и диспетчеризации.

Проектирование систем электроснабжения машиностроительных предприятий начинается с анализа потребности в электроэнергии и определения основных параметров сетей. Это включает в себя расчет потребления энергии, мощности, напряжения и частоты, а также определение необходимости резервного и резервированного питания.

Далее проводится проектирование системы, которое включает в себя выбор и размещение оборудования, прокладку кабельных трасс, расчет характеристик электрических цепей и обеспечение защиты и автоматизации системы.

Принцип обеспечения резервирования в схемах электроснабжения машиностроительных заводов заключается в создании дополнительных резервных источников электропитания для обеспечения непрерывности работы электрооборудования в случае возникновения аварийных ситуаций или отказа основных источников питания.

Для обеспечения резервирования в схемах электроснабжения машиностроительных заводов используются следующие методы [12]:

- резервирование по источнику питания. Этот метод заключается в создании двух и более источников питания, которые питаются от разных источников энергии, например, от разных подстанций или от разных линий электропередачи. В случае отказа одного из источников питания, электрооборудование автоматически переключается на другой источник;
- резервирование по питающим линиям. Этот метод заключается в создании дополнительных линий электропередачи, которые питаются от разных подстанций или от разных трансформаторов. В случае отказа одной из линий, электрооборудование автоматически

- переключается на другую линию;
- резервирование по электрооборудованию. Этот метод заключается в создании дополнительных резервных электрооборудования, например, генераторов и UPS (бесперебойных источников питания). В случае отказа основного электрооборудования, резервное оборудование автоматически включается и обеспечивает непрерывную работу электрооборудования.

Кроме того, для обеспечения надежности электроснабжения машиностроительных заводов используются системы автоматического управления и контроля, которые позволяют оперативно обнаруживать и устранять неисправности в электроснабжении и обеспечивать непрерывную работу электрооборудования.

Наглядное применение принципа обеспечения резервирования в схемах электроснабжения машиностроительных заводов показано на рисунке 1.

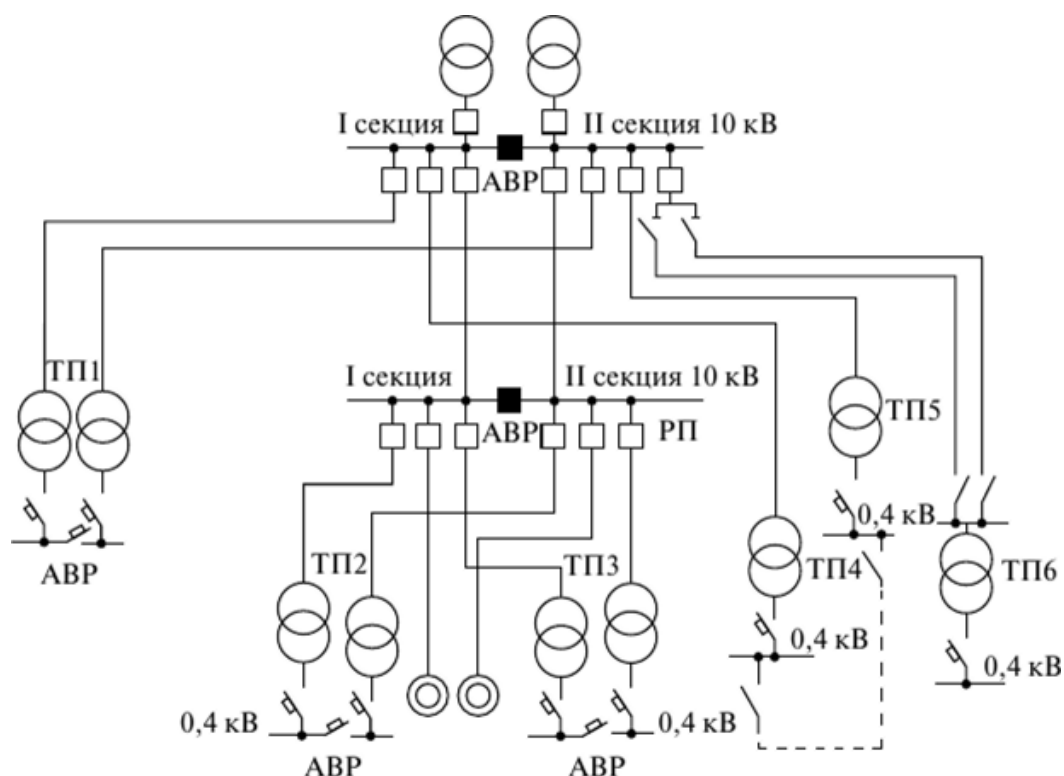


Рисунок 1 – Принцип обеспечения резервирования в схемах электроснабжения машиностроительных заводов

«Все приведённые требования должны быть учтены в работе [9].»

Выводы по разделу 1.

Проведен анализ технологического процесса, основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения производства автомобилей.

Данный анализ включает в себя исследование каждого структурного подразделения с целью систематизации их по категориям надежности и условиям производственной среды.

Также были рассмотрены основные нормы и требования, предъявляемые к проектированию систем электроснабжения машиностроительных предприятий.

Из результатов исследования стало ясно, что на объектах данного типа требуется наличие резерва и надежного питания на всех звеньях электрической сети.

Установлено, что разработка качественного проекта системы электроснабжения позволяет значительно повысить надежность объекта за счет использования ресурсов резервирования и секционирования. Это положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей.

Для решения задач по реконструкции питающего РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, далее в работе планируется использовать перспективные технические решения и современные расчетные методик.

2 Расчёт системы электроснабжения предприятия

2.1 Реконструкция схемы электроснабжения РП-10 кВ предприятия

Далее в работе необходимо привести краткую характеристику системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей и обоснование её реконструкции.

Внешнее электроснабжение предприятия по производству автомобилей осуществляется от распределительного пункта (далее – РП 10 кВ), который принимает электроэнергию от питающей подстанции энергосистемы и распределяет её по понизительным трансформаторным подстанциям на напряжении 10 кВ (без трансформации).

При этом на предприятии по производству автомобилей изначально предусмотрено девять двухтрансформаторных цеховых подстанций, которые получали питание от питающего РП 10 кВ по магистральной петлевой схеме с двухсторонним питанием.

Схема электроснабжения предприятия по производству автомобилей до проведения реконструкции, в которой на РП 10 кВ применяется данная магистральная петлевая схема с двухсторонним питанием, приведена на графическом листе 1.

Известно, что такая схема экономичная, так как требует минимума присоединений, однако она значительно уступает по надёжности другим схемам, например, радиальным схемам с двухсторонним питанием.

В виду этого, в работе предлагается провести реконструкцию электрической части РП 10 кВ путём замены схемы электрических соединений с магистральной петлевой схеме с двухсторонним питанием, на радиальную схему с резервированием с двухсторонним питанием.

Из радиальных схем для данной цели выбрана радиальная схема с двухсторонним питанием и резервированием на сторонах как источника

питания, так и потребителя.

Применение радиальной схемы с двухсторонним питанием и резервированием на сторонах питания и потребителя, на электрической части «РП 10 кВ позволит значительно повысить надёжность всей системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, однако будет несколько неэкономичной, так как» [16] предполагает внедрение дополнительных присоединений на питающем РП 10 кВ. Однако такая схема также позволит добиться гибкости и селективности защит, применяемых на данном объекте, что также делает её крайне перспективной и надёжной.

Кроме того, так как на предприятии по производству автомобилей преобладают потребители важнейших 1 и 2 категорий, такая реконструкция будет весьма актуальной и целесообразной. Схема электроснабжения предприятия по производству автомобилей после проведения реконструкции, в которой на РП 10 кВ применяется данная радиальная схема с двухсторонним питанием и резервированием, приведена на графическом листе 1. Поясняющая схема, наглядно иллюстрирующая разницу в схеме электрических соединений РП 10 кВ до и после реконструкции (принцип построения), представлена на рисунке 2.

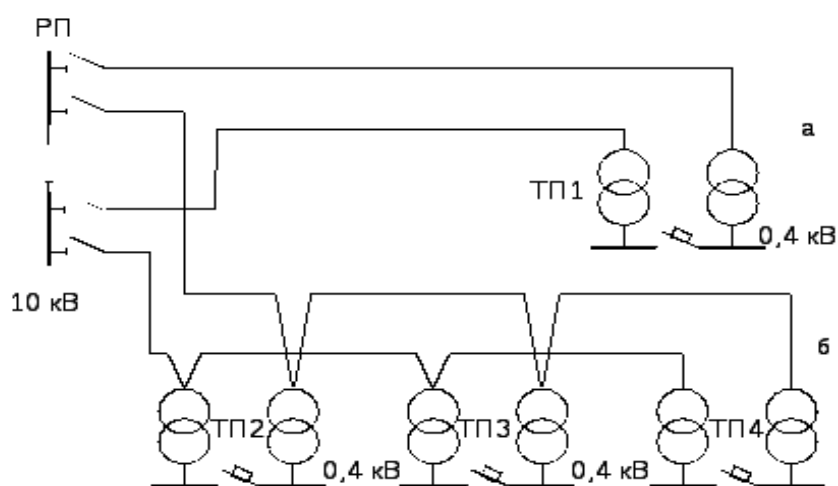


Рисунок 2 – Поясняющая схема, иллюстрирующая разницу в схеме электрических соединений РП 10 кВ до и после его реконструкции: а – радиальная схема (после реконструкции РП 10 кВ), б – магистральная петлевая схема (до реконструкции РП 10 кВ)

Всего на предприятии по производству автомобилей, предусмотрено четыре пары высоковольтных двигателей. Их питание необходимо предусмотреть по радиальной схеме отдельными линиями. При этом в каждой паре двигателей один является рабочим, а второй – резервным.

С учётом внесённых изменений, схема электроснабжения предприятия по производству автомобилей, показана на графическом листе 3.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Одной из основных целей расчёта электрических нагрузок в системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей является определение общего электропотребления объекта.

Это позволяет правильно рассчитать мощность и количество энергии, которые необходимы для нормальной работы всех производственных объектов и оборудования на предприятии.

Кроме того, расчёт электрических нагрузок позволяет выявить и проанализировать наиболее нагруженные участки электросети, что позволяет определить необходимость в дополнительном оборудовании и мероприятиях по увеличению её надёжности и мощности.

Задачи расчёта электрических нагрузок включают в себя [14]:

- определение общей мощности и энергопотребления на объекте;
- расчёт нагрузок на каждый элемент электросети;
- анализ наиболее нагруженных участков электросети;
- выбор и расчёт необходимых трансформаторов, кабелей и других элементов электросети;
- разработка резервирования и секционирования системы электроснабжения;
- установление требований к качеству и стабильности электроснабжения объекта;

– определение необходимости дополнительных источников электропитания.

Корректный и своевременный расчёт электрических нагрузок позволяет обеспечить эффективную и безопасную работу системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей.

«Численное значение расчётной активной нагрузки силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков проектируемого предприятия по производству автомобилей, кВт» [8]:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (1)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) проектируемого предприятия по производству автомобилей, кВт» [8];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха(участка) проектируемого предприятия по производству автомобилей» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников предприятия по производству автомобилей, квар» [6]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

где $tg\varphi$ – «значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [8].

Принимается по справочным данным. Соответствует стандартному значению $cos\varphi$.

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству автомобилей, кВт» [11]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (3)$$

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству автомобилей» [4];
« $P_{н.о}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) предприятия по производству автомобилей, кВт» [1].

«Расчётная нагрузка освещения предприятия по производству автомобилей» [1]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (4)$$

где « $P_{уд.о}$ – нормируемая удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству автомобилей, кВт/м²» [4];
« F – площадь соответствующего цеха (участка) предприятия по производству автомобилей согласно генплану, м²» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников предприятия по производству автомобилей» [1]:

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (5)$$

«Полная расчётная силовая нагрузка предприятия по производству автомобилей определяется по условиям» [1]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

«Расчёт электрических нагрузок в работе проводится с учётом потерь в элементах сети» [1].

«Как правило, максимальными потерями, которыми нельзя пренебречь, являются нагрузочные потери на питающем РП 10 кВ и в силовых трансформаторах цеховых ТП» [17].

Такой тип потерь относится к нагрузочным [18].

Поэтому суммарная нагрузка всего предприятия по производству автомобилей, должна быть рассчитана за вычетом данных потерь в питающих элементах.

«Предварительные потери мощности на ТП-10/0,4 кВ» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{р.н}, \text{ кВт}, \quad (7)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{р.н}, \text{ квар}. \quad (8)$$

«Предварительные потери активной мощности на питающем РП 10 кВ определяются с учётом потерь в трансформаторах на питающей понизительной подстанции 110/10 кВ» [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{р.Σ}, \text{ кВт}, \quad (9)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{р.Σ}, \text{ квар}. \quad (10)$$

«Основой для дальнейших расчётов и выбора оборудования и сетей является суммарная расчётная нагрузка цехов (участков) и предприятия по производству автомобилей в целом» [1].

«Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей сведены в таблицу 3» [1].

Таблица 3 – Результаты расчёта нагрузок предприятия по производству автомобилей

Наименование подразделения	$P_{силь},$ кВт	$Q_{силь},$ квар	$P_{осв},$ кВт	$Q_{осв},$ квар	$P_{сумм},$ кВт	$Q_{сумм},$ квар	$S_{сумм},$ кВА
Склад материалов	61,6	46,2	13,5	6,5	75,1	52,7	91,7
Склад комплектующих и узлов	58,0	43,5	18,0	8,6	76,0	52,1	92,1
Службы технического обеспечения	449,8	458,7	185,3	88,8	635,1	547,5	838,5
Цех подготовки производства	2357,5	2074,6	355,7	170,7	2413,2	2245,3	3296,2
Участок производства легковых автомобилей	2515	2213,2	444,6	213,4	2959,6	2426,6	3827,2
Участок производства грузовых автомобилей (0,4 кВ)	667,5	587,4	326,0	156,5	2456,0	2030,9	3186,9
Участок производства грузовых автомобилей (10 кВ)	1462,5	1287					
Участок производства специальной автомобильной техники	1590	1399,2	237,1	113,8	1827,1	1513,0	2372,2
Участок производства узлов и механизмов (0,4 кВ)	812,5	715	429,0	205,9	2586,5	1898,6	3208,5
Участок производства узлов и механизмов (10 кВ)	1345	1183,6					
Котельная	1065	937,2	162,4	78,0	1227,4	1015,2	1592,8
Компрессорная (0,4 кВ)	545	479,6	296,4	142,3	1883,9	1000,9	2133,3
Компрессорная (10 кВ)	1042,5	521,3					
Испытательный участок	885	663,8	207,5	99,6	1092,5	763,4	1332,8
Участок окончательной комплектации, покраски и приёмки	905	796,4	222,3	106,7	1127,3	903,1	1444,4
Насосная (0,4 кВ)	580	510,4	212,2	101,9	1902,2	1589,1	2478,6
Насосная (10 кВ)	1110	976,8					
Конвейерная галерея	40,3	30,2	39,8	19,1	79,1	49,3	93,2
Склад наполнителей и реагентов	220,5	194	59,2	28,4	279,7	222,4	357,3
Ремонтно-механический цех	212,5	159,4	47,4	22,8	259,9	182,2	317,4
Административный корпус, маркетинг	184,5	88,6	35,5	17,0	220,0	105,6	244,0
Столовая	15,5	11,6	13,3	6,4	28,8	18,0	34,0
Медпункт	119	104,7	38,5	18,5	157,5	123,2	200,0
Всего					21611,3	16994,9	27493,2

2.3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов подстанций

Как было указано ранее, внешнее электроснабжение предприятия по производству автомобилей осуществляется от РП 10 кВ, который получает питание от понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ.

Также указано, что на предприятии по производству автомобилей установлено девять цеховых понизительных подстанций 10/0,4 кВ, на которых установлены по два трансформатора.

Исходя из этого, выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов подстанций осуществляется в работе для следующих объектов системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей:

- питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ, которая питает РП 10 кВ предприятия – два силовых трансформатора на данном объекте;
- цеховых понизительных подстанции 10/0,4 кВ, которые питают цеха и участки предприятия на напряжении 0,4 кВ – всего девять ТП по два силовых трансформатора на каждой из них.

«Известно, что суммарное количество силовых трансформаторов на питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ, выбирается в зависимости от категории надежности электроснабжения потребителей, а их мощность напрямую зависит от суммарной нагрузки, которую они питают» [15].

«С учётом эквивалентной реактивной мощности, которую целесообразно передавать через силовые трансформаторы питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ» [20]:

$$Q_{э1} = \alpha \cdot P_{сум.}, \quad (11)$$

«где α - коэффициент эквивалентности» [8].

«Входная реактивная мощность (экономический эквивалент) на питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ» [13]:

$$Q_{\varepsilon 1(U=110\text{кВ})} = 0,25 \cdot 21870,7 = 5467,7 \text{ квар.}$$

«Следовательно, при расчёте полной нагрузки питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ для выбора силовых трансформаторов, необходимо учитывать значение входной эквивалентной реактивной мощности» [20]:

$$S_{\text{м.зн}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\varepsilon 1}^2} \cdot K_{\text{рм}}, \quad (12)$$

где « $K_{\text{рм}}$ –коэффициент разновременности максимума» [15].

«Значение полной нагрузки питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ для выбора силовых трансформаторов» [16]:

$$S_{\text{м.зн}} = \sqrt{21870,7^2 + 5467,7^2} \cdot 0,95 \approx 21416,6 \text{ кВА.}$$

«Исходя из полученных результатов, номинальная мощность трансформатора питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ» [6]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{м.}}}{N \cdot K_3}, \quad (13)$$

где « K_3 –коэффициент загрузки трансформаторов на питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ» [5].

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{21416,6}{2 \cdot 0,8} = 13385,4 \text{ кВА.}$$

«Исходя из номинального ряда мощностей, на питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ предприятия по производству автомобилей необходимо установить два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110» [6].

«Условие проверки силовых трансформаторов питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме» [15]:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,7. \quad (14)$$

«Проверка силовых трансформаторов питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме выполняется» [15]:

$$K_3 = \frac{21416,6}{2 \cdot 16000} = 0,67 \leq 0,7.$$

«В послеаварийном режиме» [11]:

$$1,35 \cdot S_{ном} \geq S_P, \quad (15)$$

$$1,35 \cdot 16000 = 21600 \text{ кВА} \geq 21416,6 \text{ кВА}.$$

«Следовательно, на питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ предприятия по производству автомобилей, необходимо окончательно установить два силовых трансформатора марки ТДН-16000/110» [18].

«Значение годовых потерь электроэнергии в выбранном силовом трансформаторе питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ» [11]:

$$\Delta W_{mp} = n \cdot \Delta P'_{xx} \cdot T + n \cdot K_3^2 \cdot \Delta P'_{кз} \cdot \tau_m, \quad (16)$$

где « T – максимальное расчётное время потерь, ч» [11];

« n – число трансформаторов на подстанции, шт.» [11];

« τ_m – время максимальных потерь, ч» [11].

«Для двух выбранных силовых трансформаторов марки ТДН-16000/110, суммарные потери электроэнергии составят» [11]:

$$\Delta W_{mp} = 2 \cdot 14 \cdot 8760 + 2 \cdot 0,84^2 \cdot 60 \cdot 4570 = 629092 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

«Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, с учётом схемы электрических соединений объекта проектирования» [19].

«Номинальная полная «мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ, определяется так» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N \beta_T}, \quad (17)$$

где « $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

« $\sum P_p$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ТП, кВт» [12];

« N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.» [12].

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 по условию (17)» [19]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{4011}{2 \cdot 0,82} = 2359,4 \text{ кВА}.$$

«Для установки на цеховой ТП-1 приняты два силовых трансформатора марки ТМГ-2500/10» [12].

«На других цеховых ТП выбор силовых трансформаторов аналогичен (таблица 4)» [19].

Таблица 4 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

№ ТП	$n \times S_{ном}$, кВА	Номер цеха, по плану	$S_{p\Sigma}$, кВА	Категория надёжности цеха
ТП № 1	2×2500	5	4011,0	I
		1		III
		2		III
ТП № 2	2×2500	4	4134,7	I
		3		II
ТП № 3	2×1600	13	2478,6	I
ТП № 4	2×1600	10	2133,3	I
ТП № 5	2×2500	7	3705	I
		11		II
ТП № 6	2×2500	8	3208,5	I
ТП № 7	2×2500	6	3186,9	I
ТП № 8	2×1250	9	2005,9	I
		15		III
		16		III
ТП № 9	2×1600	12	2333,0	I
		14		II
		17		III
		18		III
		19		III
		20		III

Условия резервирования и допустимой перегрузки на цеховых ТП-10/0,4 кВ выполняются, следовательно, они могут быть приняты для установки в системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей с учётом принятых изменений в схеме.

2.4 Выбор устройств компенсации реактивной мощности

Основной целью установки установок для компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ

предприятия является снижение потребления электрической энергии и улучшение её качества.

Реактивная мощность возникает при использовании индуктивных элементов в электрических цепях и приводит к увеличению потребления электроэнергии, что может привести к дополнительным затратам и увеличению нагрузки на систему электроснабжения.

Ввод в эксплуатацию установок для компенсации реактивной мощности позволяет компенсировать ненужную реактивную мощность и уменьшить потребление активной мощности, что приводит к экономии электроэнергии и снижению затрат на её потребление.

Кроме того, компенсация реактивной мощности позволяет улучшить качество электроэнергии, уменьшив пульсации напряжения и токов в электрических цепях. Это может положительно сказаться на работе электрооборудования и уменьшить вероятность его выхода из строя.

Таким образом, установка установок для компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ предприятия позволяет экономить электроэнергию, улучшать её качество и увеличивать надёжность работы электрооборудования.

«Максимальная реактивная мощность, которую целесообразно передавать через трансформатор 10/0,4 кВ» [18]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - P_{\text{р.ТП}}^2}, \text{ квар}, \quad (18)$$

«где N - число трансформаторов ТП, шт.» [18];

« $S_{\text{ном.т}}$ - полная номинальная мощность трансформатора ТП, кВА» [18];

« $P_{\text{р.ТП}}$ - расчетная активная мощность нагрузки ТП, кВт» [18].

«Мощность конденсаторных установок с конденсаторами номинальным напряжением 0,4 кВ определяется так» [20]:

$$Q_{н.к} = Q_{р.т} - Q_{т}, \text{кВАр}, \quad (19)$$

«где $Q_{р.т}$ - расчетная реактивная мощность, квар» [18].

«Так, для ТП №1 по условиям (18) и (19)» [20]:

$$Q_{т} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 2500)^2 - 3153,5^2} = 2460,8 \text{ квар.}$$

$$Q_{н.к} = 2531,4 - 2460,8 = 70,6 \text{ квар.}$$

«Для компенсации реактивной мощности от КТП-1 выбирается две комплектные конденсаторные установки марки УКРП-0,4-35-20УЗ, 2×35 , $Q_{ед} = 35$ квар» [18].

«Аналогичные расчеты для выбора номинальной мощности конденсаторов с номинальным напряжением 0,4 кВ для остальных цеховых подстанций приводятся в таблице 5» [18].

Таблица 5– «Выбор КУ-0,4 кВ для установки на шинах 0,4 цеховых ТП-10/0,4 кВ с целью компенсации реактивной мощности во внутренней системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей» [20]

ТП	$P_{р.ц}$, кВт	$S_{ном.мп}$, кВА	$Q_{т}$, кВАр	$Q_{р.т}$, кВАр	$Q_{н.к}$, кВАр	Типономинал КУ	Количество × мощность КУ, шт × кВАр
ТП1	3153,5	2×2500	2531,4	2460,8	70,6	УКРП-0,4-35-20УЗ	2 × 35
ТП2	3093,5	2×2500	2792,8	2766,4	26,4	УКРП-0,4-10-20УЗ	2 × 10
ТП3	1933,5	2×1600	1589,1	1527,4	61,7	УКРП-0,4-30-20УЗ	2 × 30
ТП4	1909,6	2×1600	1000,9	974,8	26,1	УКРП-0,4-10-20УЗ	2 × 10
ТП5	2958,0	2×2500	2276,4	2222,7	53,7	УКРП-0,4-25-20УЗ	2 × 25
ТП6	2618,2	2×2500	1898,6	1839,8	58,8	УКРП-0,4-25-20УЗ	2 × 25
ТП7	2471,6	2×2500	2030,9	1952,9	78,0	УКРП-0,4-35-20УЗ	2 × 35
ТП8	1845,7	2×1250	1493,4	770,3	723,1	УКРП-0,4-350-20УЗ	2 × 350
ТП9	1887,1	2×1600	1381,4	1376,9	4,5	-	-

«Аналогично, для компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ, принимаются по пять компенсирующих установок типа УК-10-100 УЗ» [14].

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

«Далее в работе осуществляется расчёт токов короткого замыкания (КЗ) в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ)» [8].

Целью расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей является определение максимального тока короткого замыкания, который может возникнуть в системе, и обеспечение безопасной работы электрооборудования в случае возникновения такого замыкания.

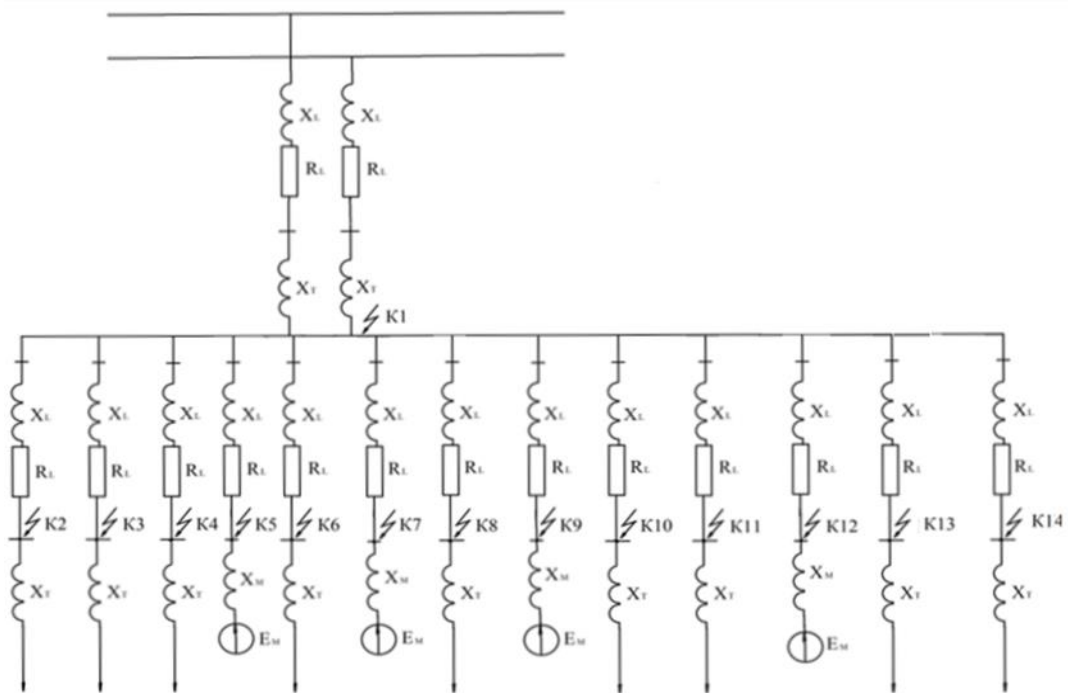
Задачи расчёта токов короткого замыкания включают в себя:

- определение параметров всех элементов системы электроснабжения (трансформаторов, кабелей, выключателей и прочих элементов);
- расчёт максимального тока короткого замыкания на всех участках системы;
- анализ полученных данных на предмет соответствия требованиям безопасности и нормам электробезопасности;
- разработка мероприятий по обеспечению безопасной работы электрооборудования при возникновении короткого замыкания.

Расчёт токов короткого замыкания необходим для определения максимальной электрической мощности, которая может быть выдержана системой при возникновении короткого замыкания, и для выбора необходимых элементов сети (трансформаторов, выключателей, предохранителей) с учётом полученных результатов.

Также результаты расчёта используются для разработки мероприятий по обеспечению безопасности при возникновении короткого замыкания и для оценки соответствия требованиям нормативных документов.

На первом этапе следует рассчитать параметры исходной схемы замещения, которая полностью представлена на рисунке 3, с учётом внесённых изменений в результате реконструкции.



«Рисунок 3 – Упрощённая схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения проектируемого предприятия по производству автомобилей» [5]

«Величина базисного напряжения в системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей принимается больше значения номинального напряжения сети на 5%» [7].

«Базисное напряжение схемы» [6]:

$$U_{\bar{0}} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (20)$$

«По условию (20)» [5]:

$$U_{\bar{0},1} = 1,05 \cdot 110 = 115 \text{кВ.}$$

$$U_{\bar{0},2} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{кВ.}$$

«Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы» [8]:

$$I_B = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (21)$$

«Базисный ток на стороне ВН (110 кВ) схемы (численное значение):

$$I_{B.ВН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА.}$$

«Базисный ток на стороне ВН (10 кВ) схемы (численное значение):

$$I_{B.НН} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 91,6 \text{ кА.}$$

«Индуктивное сопротивление системы» [17]:

$$X_1 = X_{cuc} = \frac{U_6^2}{S_{кз}}, \quad (22)$$

«где $S_{кз}$ – полная мощность КЗ на шинах энергосистемы, кА» [12].

$$X_1 = X_{cuc} = \frac{115^2}{40000} = 0,33 \text{ Ом.}$$

«Значение индуктивного сопротивления воздушной линии» [16]:

$$X_{вл} = \frac{S_6}{U_6^2} \cdot X_{удвл} \cdot L, \text{ Ом,} \quad (23)$$

«где $X_{уд.вл}$ – индуктивное сопротивление ВЛ-110 кВ (табличное значение, исходя из марки провода ВЛ-110 кВ)» [16].

$$X_2 = \frac{1000}{115^2} \cdot 0,444 \cdot 7 = 0,24 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление воздушной линии» [16]:

$$r_{вл} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_6^2} \cdot r_{удвл} \cdot L, \text{ Ом,} \quad (24)$$

«Где $r_{удвл}$ – активное сопротивление ВЛ - 110 кВ» [16].

$$r_2 = \frac{1000}{115^2} \cdot 0,422 \cdot 7 = 0,22 \text{ Ом.}$$

«Полное сопротивление воздушной линии» [16]:

$$Z_2 = z_{вл} = \sqrt{r_{вл}^2 + x_{вл}^2}, \quad (25)$$

$$z_2 = z_{вл} = \sqrt{0,24^2 + 0,22^2} = 0,326 \text{ Ом.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора ГПП» [16]:

$$X_{тр} = \frac{1}{n} \cdot \frac{u_{ксп}}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{тном}}, \quad (26)$$

$$X_{mp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{6,3}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 3,2 \text{ Ом.}$$

«Активное сопротивление силового трансформатора ГПП» [16]:

$$r_{тр} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\Delta P_{\kappa}}{S_{тном}} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{тном}} \cdot 10^{-3}, \quad (27)$$

$$r_{mp} = \frac{1}{2} \cdot \frac{60}{10} \cdot \frac{1000}{16} \cdot 10^{-3} \approx 0,3 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления кабельных ЛЭП» [16]:

$$X_{кл} = \frac{1}{n} X_{удкл} L \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}, \text{ Ом}, \quad (28)$$

$$r_{кл} = \frac{1}{n} r_{удкл} L \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}, \text{ Ом}, \quad (29)$$

«где n – количество кабельных линий, шт.» [16].

«Для кабельной линии 10 кВ от питающей понизительной подстанции энергосистемы 110/10 кВ до ТП-1» [16]:

$$X_{15} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000}{10,5^2} \cdot 0,059 \cdot 0,8 = 2,9 \text{ Ом}.$$

$$R_{15} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000}{10,5^2} \cdot 0,083 \cdot 0,8 = 0,4 \text{ Ом}.$$

«Ток трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1 рассчитывается так» [16]:

$$I_{к1} = \frac{I_{\sigma 1}}{Z_{1\Sigma}}, \text{ кА}, \quad (30)$$

где « $Z_{1\Sigma}$ - значение суммарного сопротивления до точки К1» [16].

«Суммарное сопротивление до точки К1» [16]:

$$z_{1\Sigma} = \sqrt{0,49^2 + 0,28^2} = 0,57 \text{ Ом}.$$

$$I_{к1} = \frac{5,02}{0,57} = 8,8 \text{ кА}.$$

«Значение ударного тока в расчётной точке К1» [16]:

$$i_y = K_y \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 1}, \quad (31)$$

«где K_y – ударный коэффициент» [11].

«Ударный ток в расчётной точке К1» [16]:

$$i_y = 1,18 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,8 = 14,7 \text{ кА}.$$

«Максимальное действующее значение мгновенного ударного тока КЗ в расчётной точке К1» [16]:

$$I_y = I_{\kappa 1} \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2}. \quad (32)$$

$$I_y = 8,8 \sqrt{1 + 2 \cdot (1,18 - 1)^2} = 9,1 \text{ кА}.$$

«Результаты расчета токов КЗ представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета токов короткого замыкания

Точка КЗ	x_{Σ} , Ом	r_{Σ} , Ом	z_{Σ} , Ом	K_y	I_{κ} , кА	i_y , кА	I_y , кА
К1	0,49	0,28	0,57	1,12	8,81	14,7	9,1
К2	2,43	1,85	3,12	1,38	2,62	3,15	3,63
К3	2,17	2,62	4,68	1,51	2,81	3,26	3,26
К4	2,35	1,57	2,83	1,18	3,58	4,34	4,32
К5	3,16	2,74	3,22	1,17	2,63	3,48	3,81
К6	1,44	1,67	2,08	1,23	2,74	3,42	3,73
К7	2,35	2,28	3,16	1,28	2,88	3,16	3,71
К8	1,87	1,44	2,37	1,36	2,27	3,15	3,62
К9	2,15	2,07	2,48	1,38	2,09	3,05	3,40
К10	2,11	1,69	2,71	1,39	2,18	2,96	3,33
К11	3,24	2,26	3,58	1,21	2,52	2,47	3,22
К12	3,18	2,99	4,16	1,19	2,24	2,38	3,12
К13	3,31	2,11	3,38	1,24	2,57	2,34	3,14
К14	3,16	2,07	4,02	1,21	2,49	2,27	3,11

Полученные результаты используются в работе далее.

2.6 Выбор и расчёт проводников

Целью расчёта сечения проводников в системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей является определение оптимального сечения проводников для обеспечения безопасной и надёжной работы электрооборудования на объекте.

Расчёт сечения проводников в системе электроснабжения является важной задачей, которая необходима для обеспечения безопасности и надёжности работы электрооборудования.

Правильный выбор сечения проводников позволяет избежать перегрева и перегрузки токоведущих частей воздушной линии 110 кВ и кабельных линий 10 кВ, которые подлежат выбору и проверке в данной работе.

«Сечение проводников линии выше 1 кВ можно определить по формуле» [19]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{расч.}}}{j_{\text{эк.}}}, \quad (33)$$

где « $I_{\text{расч.}}$ – расчетное значение тока, А» [17];

« $j_{\text{эк.}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [19].

«Расчетное значение рабочего тока нормального режима» [19]:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (34)$$

где $S_{\text{р}}$ – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

«Выбранное сечение линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы» [1]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н}}, \quad (35)$$

где $I_{дон}$ – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [4].

«Также выбранное сечение линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [4].

«Проверка по условию длительного нагрева в послеаварийном режиме сводится к проверке выполнения условия» [12]:

$$I_{дон} \geq I_a. \quad (36)$$

«Расчёт максимальных рабочих токов послеаварийного режима» [20]:

$$I_a = K_{ав} \cdot I_n = 1,4 \cdot I_n. \quad (37)$$

«Проверка сечений проводников линий по условию допустимой потере напряжения» [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \%. \quad (38)$$

«Расчётный ток нормального режима ВЛ-110 кВ системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей» [17]:

$$I_p = \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} \approx 84 \text{ А.}$$

«Максимальный рабочий ток ВЛ-110 кВ системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей» [4]:

$$I_{p.\max} = 1,4 \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{ А.}$$

«Экономически выгодное сечение провода питающей ВЛ-110 кВ проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей» [19]:

$$F_3 = \frac{84}{1,1} = 76,4 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается сечение провода $F_{ст} = 70 \text{ мм}^2$ марки АС-70/11 с $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [4].

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [4]:

$$265 \text{ А} \geq 84 \text{ А.}$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]:

$$265 \text{ А} \geq 117,6 \text{ А.}$$

«Проверка по климатическим и механическим требованиям» [3]:

$$F_{ст} \geq F_{\min}, \text{ мм}^2, \tag{39}$$

$$70 \text{ мм}^2 = 70 \text{ мм}^2.$$

«По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, питающих ТП-10/0,4 кВ с приведением результатов выбора на графическом листе 3» [9].

2.7 Выбор и расчёт электрических аппаратов

Целью выбора высоковольтных электрических аппаратов в системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей является обеспечение надёжной и безопасной работы электрооборудования на объекте.

Выбор высоковольтных электрических аппаратов является важной задачей, которая влияет на безопасность и надёжность работы электрооборудования на предприятии.

Правильный выбор высоковольтных аппаратов позволяет обеспечить оптимальную работу системы электроснабжения, избежать перегрузок и перегревов в электрических цепях, которые могут привести к возникновению аварий и выходу из строя оборудования.

Таким образом, задачи выбора высоковольтных электрических аппаратов в системе электроснабжения предприятия по производству автомобилей включают определение оптимальных характеристик аппаратов, выбор оптимальной конфигурации и расположения аппаратов, а также проверку соответствия выбранных аппаратов нормативным требованиям.

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по условиям» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (40)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (41)$$

«Для отключающих аппаратов проверка на ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (42)$$

«Проверка на отключение апериодической составляющей тока» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (43)$$

где « $\beta_{ном}$ – апериодическая составляющая в отключаемом токе» [12];

« $i_{а.ном}$ – номинальное допустимое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость» [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}, \quad (44)$$

$$i_y \leq i_{дин}. \quad (45)$$

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (46)$$

где « I_T – предельный ток термической стойкости по каталогу» [12].

«Расчётное значение теплового коэффициента» [6]:

$$B_k = (I_{н0})^2 (t_{откл} + T_a), \text{ кА}^2 \text{с}^{1/2}, \quad (47)$$

где « $t_{откл}$ – время отключения электрического аппарата при возникновении режима КЗ, с» [13];

« $t_{рзтах}$ – максимальное время действия релейной защиты, с» [13].

$$B_k = (8,81)^2 \cdot (1 + 0,05 + 0,056) = 85,64, \text{кА}^2 \text{с}^{1/2}.$$

«Максимальный рабочий ток послеаварийного режима в сети 110 кВ» [12]:

$$I_{\text{прод.расч}} = K_2 \cdot \frac{S_{\text{номТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{номТНН}}}, \text{кА},$$

где « K_2 – коэффициент перегрузки силового трансформатора питающей понизительной подстанции энергосистемы» [8].

$$I_{\text{прод.расч}} = 1,4 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 117,6 \text{кА}.$$

«Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 110 кВ системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, представлены в таблице 7» [16].

Таблица 7 – «Результаты выбора и проверки коммутационных высоковольтных аппаратов 110 кВ для установки на питающей подстанции энергосистемы» [12]

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выбранные аппараты (марки и номинал)			
		Разъединитель РДЗ-110/1000	Выключатель ВРС-110-31,5	Трансформатор тока ТФЗМ-110	Трансформатор напряжения НДКМ-110
$U_c \leq U_{\text{ном}}$	110кВ	110 кВ	110кВ	110 кВ	110кВ
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{но}}$	117,6 А	1000 А	1000 А	1000 А	1000 А
$i_y \leq i_{\text{дин}}$	14,7 кА	63 кА	31,5 кА	63 кА	31,5 кА
$B_k \leq I_{\text{пр}}^2 \cdot t_m$	$B_k = 85,8 \text{кА}^2 \text{с}^{1/2}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_m = 1875 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_m = 468,75 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_m = 1875 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_m = 468,75 \text{кА}^2 \cdot \text{с}$
$P_p \leq P_{\text{ном}}$	20,5	-	-	25,0	160,0

«Для электрической цепи напряжением 10 кВ» [12]:

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot \left(e^{\frac{-\tau}{T_a}} \right), \text{кА}, \quad (48)$$

$$I_{at} = \sqrt{2} \cdot 2,7 \cdot \left(e^{\frac{-0,05}{0,025}} \right) = 0,51 \text{кА},$$

$$\sqrt{2} \cdot I_{нт} + i_{ат} = \sqrt{2} \cdot 2,48 + 0,47 = 3,99 \approx 4 \text{кА},$$

$$B_k = 2,7^2 (1 + 0,04 + 0,025) = 6,65 \text{кА}^2 \text{с}^{1/2}.$$

«Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, представлены в таблице 8» [16].

Таблица 8 – «Результаты выбора и проверки коммутационных высоковольтных аппаратов 10 кВ для установки на РП 10 кВ после его реконструкции» [17]

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выключатель ВВЭ-М-10-20	Выключатель нагрузки ВНА-10/16000	Трансформатор тока ТПОЛМ-10
$U_c \leq U_{ном}$	10 кВ	10 кВ	10 кВ	10 кВ
$I_{расч} \leq I_{ном}$	924,8 А	1000 А	1600 А	2500 А
$i_y \leq i_{дин}$	2,7 кА	20 кА	20 кА	20 кА
$B_K \leq I_{пр}^2 \cdot t_m$	4,34 кА	52 кА	30 кА	50 кА
$P_p \leq P_{ном}$	14,8 кВА	-	-	16 кВА

«На основании полученных результатов можно сделать вывод, что все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы» [20].

Выводы по разделу 2.

В работе предлагается провести реконструкцию электрической части РП 10 кВ путём замены схемы электрических соединений с магистральной

петлевой схеме с двухсторонним питанием, на радиальную схему с резервированием с двухсторонним питанием.

Из радиальных схем для данной цели выбрана радиальная схема с двухсторонним питанием и резервированием на сторонах как источника питания, так и потребителя.

Применение радиальной схемы с двухсторонним питанием и резервированием на сторонах питания и потребителя, на электрической части «РП 10 кВ позволит значительно повысить надёжность всей системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, однако будет несколько неэкономичной, так как» [10] предполагает внедрение дополнительных присоединений на питающем РП 10 кВ.

Однако такая схема также позволит добиться гибкости и селективности защит, применяемых на данном объекте, что также делает её крайне перспективной и надёжной.

«Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач» [12]:

- проведён расчёт электрических нагрузок;
- осуществлён выбор силовых трансформаторов на ГПП и цеховых ТП;
- выбраны компенсирующие устройства для применения в сети 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также на шинах 10 кВ РП 10 кВ;
- проведён выбор и проверка проводников;
- определены токи короткого замыкания;
- проведён выбор электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ.

Предложенный в работе проект реконструкции системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей характеризуется надёжностью, экономичностью и безопасностью, поэтому может быть принят к сведению при практической его реализации.

3 Расчёт релейной защиты, контура заземления и экономических показателей проекта

3.1 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

«Далее в работе проводится выбор устройств релейной защиты и автоматики для защиты» [15] вводных, секционной и отходящих линий в реконструированной схеме РП 10 кВ.

При этом ввод в эксплуатацию радиальной схемы РП 10 кВ в результате проведения реконструкции, влечёт перерасчёт и выбор новых уставок релейной защиты и автоматики.

Релейная защита на микропроцессорной основе имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными релейными системами защиты.

Некоторые из этих преимуществ включают в себя следующие основные характерные особенности:

- высокая точность: релейная защита на микропроцессорной основе обеспечивает высокую точность при срабатывании и выявлении неисправностей в электрических системах. это позволяет уменьшить число ложных срабатываний и повысить эффективность работы системы защиты;
- большая гибкость: микропроцессорные реле защиты могут быть легко настроены для различных типов сетей и оборудования, а также для выполнения различных функций, в том числе и для защиты от перегрузок, коротких замыканий, утечки тока и других видов неисправностей. это обеспечивает большую гибкость и универсальность релейной защиты;
- более быстрый отклик: релейная защита на микропроцессорной основе способна быстрее реагировать на неисправности в электрической системе, что позволяет сократить время простоя и повысить производительность;

- более простая эксплуатация: релейная защита на микропроцессорной основе имеет более простой и удобный интерфейс для настройки и управления, что облегчает её эксплуатацию и обслуживание;
- высокая надежность: релейная защита на микропроцессорной основе имеет высокую надежность и долговечность благодаря использованию современных технологий и компонентов, а также систем контроля и диагностики;
- улучшенная коммуникация: микропроцессорные реле защиты могут быть интегрированы в системы дистанционного управления и мониторинга, что обеспечивает более удобный и эффективный мониторинг работы системы защиты и электрических сетей в целом.

Таким образом, релейная защита на микропроцессорной основе обладает рядом преимуществ, которые позволяют повысить её эффективность и надёжность.

Она позволяет сократить время простоя и уменьшить потери электроэнергии за счёт быстрого и точного выявления и реагирования на неисправности в электрической системе.

Более того, микропроцессорная релейная защита может быть интегрирована с другими системами управления и мониторинга, что обеспечивает более эффективный контроль и управление электросетями и электрооборудованием.

Некоторые дополнительные преимущества микропроцессорной релейной защиты включают в себя:

- более точное определение фазы и частоты сигналов, что обеспечивает более точную настройку и управление системой защиты;
- возможность хранения и анализа данных об операциях защиты и неисправностях, что облегчает диагностику и решение проблем;

- возможность удаленного доступа к системе защиты и управления ею, что позволяет ускорить процесс обслуживания и устранения неисправностей.

Таким образом, микропроцессорная релейная защита является более эффективным и удобным решением для обеспечения надёжности и безопасности работы электрооборудования на предприятиях. Она обладает более точными настройками, более быстрым откликом и лучшей интеграцией с другими системами управления и мониторинга, что делает её более универсальным и удобным в использовании.

В результате проведённого анализа новейших разработок устройств релейной защиты и автоматики, в работе предлагается использовать универсальный микропроцессорный терминал «Сириус-2Л-02» (производитель - АО «РАДИУС Автоматика»).

Данный выбор обусловлен тем, что в одном таком универсальном микропроцессорном терминале реализуются все функции защиты и автоматики, которые необходимы в данной реконструированной схеме РП 10 кВ предприятия, а именно: «выполнение функций РЗА различных присоединений одним устройством: ввод, секционный выключатель, кабельная или воздушная линия, электродвигатель, ТСН» [19].

Внешний вид и функционал данного универсального микропроцессорного терминала «Сириус-2Л-02» (производитель - АО «РАДИУС Автоматика») представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Внешний вид и функционал универсального микропроцессорного терминала «Сирюс-2Л-02» (производитель – АО «РАДИУС Автоматика»)

Далее в работе проводится расчёт уставок релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) для установки на РП 10 кВ для защиты питающих линий 10 кВ (2 присоединения), секционного присоединения, а также отходящих линий 10 кВ к потребителям (по девять присоединений).

Исходя из этого, полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на РП 10 кВ с учётом схемы, полученной в результате проведения её реконструкции, приводятся в форме таблицы 9.

При этом для отходящих линий предусматривается отдельный расчёт каждого присоединений при питании от различных секций шин РП 10 кВ по условию резервирования.

Таблица 9 – «Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на РП 10 кВ с учётом схемы, полученной в результате проведения её реконструкции» [8]

Наименование линии (присоединения)	$I_{p.max}, A$	I_{TT1}, A	I_{TT2}, A	K_T
Вводные линии 10 кВ	924,8	1000	5	200
Секционное присоединение 10 кВ	924,8	1000	5	200
Отходящие линии 10 кВ (для каждой секции сборных шин)				
ТП-1 (2×2500)	144,5	150	5	30
ТП-2 (2×2500)	144,5	150	5	30
ТП-3 (2×1600)	92,5	100	5	20
ТП-4 (2×1600)	92,5	100	5	20
ТП-5 (2×2500)	144,5	150	5	30
ТП-6 (2×2500)	144,5	150	5	30
ТП-7 (2×2500)	144,5	150	5	30
ТП-8 (2×1250)	72,5	75	5	15
ТП-9 (2×1600)	92,5	100	5	20

«Расчёт уставок РЗиА на РП 10 кВ, в работе включает расчёт уставок РЗиА линий: питающих линий 10 кВ – 2 присоединения, одного секционного присоединения, а также отходящих линий 10 кВ к потребителям – по девять присоединений на каждой секции сборных шин РП 10 кВ» [8].

«Ток срабатывания защит от внутренних повреждений» [16]:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot I_M, \quad (49)$$

где « K_o – коэффициент отстройки» [18].

«Ток срабатывания защит от внешних повреждений» [16]:

$$I_{c.з} \geq K_{отс} \cdot I_K. \quad (50)$$

«Действительный ток срабатывания релейных защит» [16]:

$$I_{c.р} \geq \frac{I_{c.з}}{K_m}, \quad (51)$$

где « K_m – коэффициент трансформации ТТ» [8].

«Известно, что МТЗ является основной защитой от внутренних повреждений, поэтому она отстраивается от максимального рабочего тока» [17] со значением, равном $K_o = 1,1$.

Кроме того, в работе МТЗ совмещается с защитой от перегрузки (ЗП), что позволяет сделать функционал универсального микропроцессорного терминала «Сириус-2Л-02».

Таким образом, релейные защиты МТЗ и ЗП будут совмещены и иметь общие уставки, однако в схеме универсального микропроцессорного терминала «Сириус-2Л-02» реализуется принцип основной и резервной защиты, поэтому, в данном случае, МТЗ будет основной защитой, а ЗП – резервной.

Данный фактор способствует резервированию в системе РЗиА на РП 10 кВ, обеспечивая резервную защиту от внутренних повреждений в схеме предприятия.

Расчёт МТЗ и ЗП на РП 10 кВ с учётом схемы, полученной в результате проведения её реконструкции, представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт уставок МТЗ и ЗП на РП 10 кВ с учётом схемы, полученной в результате проведения её реконструкции

Наименование линии (присоединения)	$I_{p,max}$, А	K_T	$I_{c,з}$, А	$I_{c,p}$, А	$t_{c,з}$, с
Вводные линии 10 кВ	924,8	200	1017,3	5,1	0,5
Секционное присоединение 10 кВ	924,8	200	1017,3	5,1	1,0
Отходящие линии 10 кВ (для каждой секции сборных шин)					
ТП-1 (2×2500)	144,5	30	159,0	5,3	1,5
ТП-2 (2×2500)	144,5	30	159,0	5,3	1,5
ТП-3 (2×1600)	92,5	20	101,8	5,1	1,5
ТП-4 (2×1600)	92,5	20	101,8	5,1	1,5
ТП-5 (2×2500)	144,5	30	159,0	5,3	1,5
ТП-6 (2×2500)	144,5	30	159,0	5,3	1,5
ТП-7 (2×2500)	144,5	30	159,0	5,3	1,5
ТП-8 (2×1250)	72,5	15	79,8	5,3	1,5
ТП-9 (2×1600)	92,5	20	101,8	5,1	1,5

«Действительный ток срабатывания релейных защит МТЗ и ЗП» [16] находится в диапазоне (5,0-5,5 А), что соответствует диапазону срабатывания уставок данного универсального микропроцессорного терминала «Сириус-2Л-02». Следовательно, выбор уставок МТЗ и ЗП проведён верно.

Далее проводится выбор уставок срабатывания ДЗ в схеме РП 10 кВ после проведения её реконструкции (таблица 11).

Таблица 11 – Выбор уставок ДЗ на РП 10 кВ с учётом схемы, полученной в результате проведения её реконструкции

Наименование линии (присоединения)	I_k , А	K_T	$I_{с.з}$, А	$I_{с.р}$, А
Вводные линии 10 кВ	8810	200	1150	5,75
Секционное присоединение 10 кВ	8810	200	1150	5,75
Отходящие линии 10 кВ (для каждой секции сборных шин)				
ТП-1 (2×2500)	2810	30	3653	121,80
ТП-2 (2×2500)	3580	30	4654	155,10
ТП-3 (2×1600)	2630	20	3419	170,95
ТП-4 (2×1600)	2740	20	3562	178,10
ТП-5 (2×2500)	2880	30	3744	124,80
ТП-6 (2×2500)	2270	30	2951	98,41
ТП-7 (2×2500)	2090	30	2717	90,60
ТП-8 (2×1250)	2180	15	2834	188,93
ТП-9 (2×1600)	2520	20	3276	163,8

«Действительный ток срабатывания релейных защит ДЗ» [16] находится в диапазоне, не превышающим максимальный пороговый уровень 31,5 кА данного универсального микропроцессорного терминала «Сириус-2Л-02». Следовательно, выбор уставок ДЗ проведён верно.

Также автоматически устанавливаются и настраиваются на блоке управления следующие основные виды защит и блокировок в РП 10 кВ:

- дуговая и логическая защита шин;
- блокировки защит;
- дистанционная защита;
- защита контроля параметров цепей;
- защиты от обрыва фазы и несимметричного режима.

3.2 Расчёт контура заземления РП 10 кВ

Далее в работе проводится расчёт контура заземления распределительного пункта РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей.

«Согласно нормам» [11]:

$$R_3 \leq R = \frac{125}{I}, \text{ Ом}, \quad (52)$$

«где I – значение расчетного тока замыкания на землю, А» [19].

«Значение расчетного тока замыкания на землю» [16]:

$$I = 10 \cdot \left(\frac{l_B}{350} + \frac{l_K}{10} \right), \text{ А}, \quad (53)$$

«где l_B, l_K , – длина соответственно воздушных линий и кабелей, электрически связанных между собой, км» [1].

Значит, для воздушных линий в виду их отсутствия принимается $l_B = 0$ км.

Следовательно, расчётный ток на землю на РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей будет составлять:

$$I = 10 \cdot \frac{12,2}{10} = 12,2 \text{ А}.$$

«Расчетное значение удельного сопротивления грунта» [18]:

$$\rho_p = K \cdot \rho, \text{ Ом} \cdot \text{ м}, \quad (54)$$

«где K – коэффициент сезона» [16].

«По условию (54)» [10]:

$$\rho_p = 1,5 \cdot 60 = 90 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\rho_p = 2,11 \cdot 60 = 132 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Сопротивление одного стержня из угловой стали» [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot B} + 0,51 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (55)$$

«По условию (55)» [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{90}{3} \left(\lg \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,04} + 0,51 \lg \frac{4 \cdot 0,8 + 3 \cdot 3}{4 \cdot 0,8 + 3} \right) = 164,7 \text{ Ом}.$$

«Ориентировочное число вертикальных стержней без учёта их взаимного экранирования» [6], принимая во внимание максимально допустимое сопротивление заземляющего устройства для установок напряжением выше 1 кВ, равное 10 Ом:

$$n = \frac{R_{г.э.}}{R_H}, \text{ шт}, \quad (56)$$

$$n = \frac{164,7}{10} = 16,47 \text{ шт}.$$

«С учётом экранирования» [18]:

$$R_{г.э.} = \frac{164,7}{16 \cdot 0,5} = 20,6 \text{ Ом}.$$

«Сопротивление горизонтального заземлителя» [9]:

$$l_2 = n \cdot a, \text{ м}, \quad (57)$$

$$l_2 = 4 \cdot 3 = 12 \text{ м},$$

$$R_{\Gamma} = 0,366 \frac{\rho_p}{l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{2d \cdot t}, \text{ Ом}, \quad (58)$$

$$R_{\Gamma} = 0,366 \cdot \frac{126,6}{12} \cdot \lg \frac{2 \cdot 12^2}{0,01 \cdot 0,8} = 16 \text{ Ом}.$$

«Тогда результирующее сопротивление» [7]:

$$R_{\text{з.э.}} = \frac{16,0}{0,8} = 20 \text{ Ом}.$$

«Результирующее сопротивление всего устройства заземления» [7]:

$$R_{\text{з.э.}} = \frac{16,0}{0,8} = 20 \text{ Ом},$$

$$R_3 = \frac{20,6 \cdot 20}{20,6 + 20} = 9,8 \text{ Ом}.$$

Полученный результат является меньшим предельно допустимого значения сопротивление заземляющего устройства для установок напряжением выше 1 кВ, равное 10 Ом, следовательно, сопротивление полученного контура заземления РП 10 кВ находится в допустимых пределах.

Окончательно принято «для контура заземления РП 10 кВ, шестнадцать вертикальных стержней с расположением по квадрату (4x4 шт), с расстоянием между стержнями 5 м» [7].

«Конструкция заземляющего устройства показана в работе на графическом листе 6» [17].

Выводы по разделу 3.

В разделе, исходя из результатов проведённого анализа новейших разработок устройств релейной защиты и автоматики, предложено использовать универсальный микропроцессорный терминал «Сириус-2Л-02» (производитель – АО «РАДИУС Автоматика»).

Данный выбор обусловлен тем, что в одном таком универсальном микропроцессорном терминале реализуются все функции защиты и автоматики, которые необходимы в данной реконструированной схеме РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей.

Проведён расчёт основных уставок релейной защиты и автоматики для установки на РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей, для защиты питающих линий 10 кВ (2 присоединения), секционного присоединения, а также отходящих линий 10 кВ к потребителям (по девять присоединений).

Проведён расчёт контура заземления распределительного пункта РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей. Полученный результат является меньшим предельно допустимого значения сопротивление заземляющего устройства для установок напряжением выше 1 кВ, равное 10 Ом, следовательно, сопротивление спроектированного контура заземления РП 10 кВ находится в допустимых пределах.

Окончательно принято «для контура заземления РП 10 кВ, шестнадцать вертикальных стержней» [5].

Заключение

«В результате выполнения работы разработан проект реконструкции электрической части РП 10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей» [10].

Проведен анализ технологического процесса, основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения производства автомобилей.

Данный анализ включает в себя исследование каждого структурного подразделения с целью систематизации их по категориям надежности и условиям производственной среды.

Также были рассмотрены основные нормы и требования, предъявляемые к проектированию систем электроснабжения машиностроительных предприятий.

Из результатов исследования стало ясно, что на объектах данного типа требуется наличие резерва и надежного питания на всех звеньях электрической сети.

Установлено, что разработка качественного проекта системы электроснабжения позволяет значительно повысить надежность объекта за счет использования ресурсов резервирования и секционирования. Это положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей.

Для решения задач по реконструкции питающего РП-10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, далее в работе планируется использовать перспективные технические решения и современные расчетные методики.

В работе предлагается провести реконструкцию электрической части РП 10 кВ путём замены схемы электрических соединений с магистральной петлевой схеме с двухсторонним питанием, на радиальную схему с резервированием с двухсторонним питанием.

Из радиальных схем для данной цели выбрана радиальная схема с двухсторонним питанием и резервированием на сторонах как источника питания, так и потребителя.

Применение радиальной схемы с двухсторонним питанием и резервированием на сторонах питания и потребителя, на электрической части «РП 10 кВ позволит значительно повысить надёжность всей системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей, однако будет несколько неэкономичной, так как» [10] предполагает внедрение дополнительных присоединений на питающем РП 10 кВ.

Однако такая схема также позволит добиться гибкости и селективности защит, применяемых на данном объекте, что также делает её крайне перспективной и надёжной.

«Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач» [12]:

- проведён расчёт электрических нагрузок;
- осуществлён выбор силовых трансформаторов на ГПП и цеховых ТП;
- выбраны компенсирующие устройства для применения в сети 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также на шинах 10 кВ РП 10 кВ;
- проведён выбор и проверка проводников;
- определены токи короткого замыкания;
- проведён выбор электрических аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ.

Предложенный в работе проект реконструкции системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей характеризуется надёжностью, экономичностью и безопасностью, поэтому может быть принят к сведению при практической его реализации.

В разделе, исходя из результатов проведённого анализа новейших разработок устройств релейной защиты и автоматики, предложено

использовать универсальный микропроцессорный терминал «Сириус-2Л-02» (производитель – АО «РАДИУС Автоматика»).

Данный выбор обусловлен тем, что в одном таком универсальном микропроцессорном терминале реализуются все функции защиты и автоматики, которые необходимы в данной реконструированной схеме РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей.

Проведён расчёт основных уставок релейной защиты и автоматики для установки на РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей, для защиты питающих линий 10 кВ (2 присоединения), секционного присоединения, а также отходящих линий 10 кВ к потребителям (по девять присоединений).

Проведён расчёт контура заземления распределительного пункта РП 10 кВ предприятия по производству автомобилей. Полученный результат является меньшим предельно допустимого значения сопротивление заземляющего устройства для установок напряжением выше 1 кВ, равное 10 Ом, следовательно, сопротивление спроектированного контура заземления РП 10 кВ находится в допустимых пределах.

Окончательно принято «для контура заземления РП 10 кВ, шестнадцать вертикальных стержней» [5].

Предложенный в работе проект реконструкции системы электроснабжения предприятия по производству автомобилей характеризуется надёжностью, экономичностью и безопасностью, поэтому может быть принят к сведению при практической его реализации.

Список используемых источников

1. ГОСТ Р 59279-2020 Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Электрические сети. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций. Типовые решения. Рекомендации по применению. [Электронный ресурс]: URL: https://allgosts.ru/27/010/gost_r_59279-2020 (дата обращения: 03.05.2023).
2. Ермилов А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Эксмо, 2021. 159 с.
3. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Томск: ТПУ, 2019. 249 с.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
5. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2017. 236 с.
6. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
7. Мукосеев Ю.Л. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: «Энергия», 2020. 84 с.
8. Неклепаев Б.В. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ЭНАС, 2018. 145 с.
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 2018. 356 с.
10. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
11. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. М: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 282 с.

12. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Лань, 2019. 400 с.
13. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 252 с.
15. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
16. Рогалев Н.Д. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М.: «МЭИ», 2019. 288 с.
17. Родыгина С. В., Павлюченко Д.А. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2017. 47 с.
18. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина. М.: Энергоатомиздат, 2019. 576 с.
19. Типовые материалы для проектирования. [Электронный ресурс]: URL: <http://gostrf.com/list2/63662-0.htm> (дата обращения: 03.05.2023).
20. Универсальный терминал защиты присоединений 6-35 кВ «Сириус-2Л-02». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rza.ru/catalog/novinki/sirius-2l-02-novyy-universalnyy-terminal.php> (дата обращения: 03.05.2023).