

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 электроснабжения производства и ремонта механического оборудования автозавода НП «Центр Освоения Арктики»

Обучающийся

С.В. Пирогов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

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

Тольятти 2022

## Аннотация

В работе проведена реконструкция системы электроснабжения автозавода в связи с износом электрооборудования, а также несоответствия схемы электрических соединений установленным нормам и требованиям основных нормативных документов.

Проведён анализ схемы электрических соединений и характеристик оборудования системы электроснабжения автозавода, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе исходных данных по электроснабжению предприятия, проведён расчёт системы электроснабжения предприятия, который включает расчёт электрических нагрузок предприятия, выбор схемы электроснабжения предприятия, выбор и проверку проводников и электрических аппаратов защиты и коммутации сети, выбор устройств релейной защиты и автоматики, а также описание мероприятий по организации системы техники безопасности. В результате выполнения работы выбраны и предложены мероприятия, позволяющие выполнить качественную реконструкцию схемы электрических соединений системы электроснабжения производства автозавода, с высокими показателями надёжности, экономичности и электробезопасности объекта исследования.

В работе в системе электроснабжения автозавода, опираясь на полученные результаты анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования и схемных решений, проведены выбор и проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции и цеховых понизительных подстанций, проводников, а также электрических защитных и коммутационных аппаратов объекта исследования.

Внедрены необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения автозавода, позволяющие повысить показатели надёжности, экономичности и электробезопасности объекта исследования.

## Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика объекта реконструкции .....	7
1.1 Характеристика источников питания объекта реконструкции .....	7
1.2 Исходная характеристика объекта реконструкции .....	8
1.3 Характеристика существующей системы электроснабжения .....	17
2 Реконструкция системы электроснабжения объекта.....	21
2.1 Реконструкция схемы электроснабжения объекта .....	21
2.2 Расчёт электрических нагрузок .....	25
2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП.....	33
2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП.....	37
2.5 Выбор сечения проводников.....	39
2.6 Расчёт токов короткого замыкания .....	44
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	53
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда .....	60
Заключение .....	66
Список используемых источников.....	70

## **Введение**

«В работе рассматривается реконструкция электроснабжения автозавода НП «Центр Освоения Арктики»» [14].

Известно, что развитие производства автозавода тесно связано с внедрением современных технологий в данном направлении. Производство автозавода позволяет обеспечить любое техническое предприятие качественным инструментом и оснасткой для различных работ (технологических и вспомогательных), а также способствует их изготовлению, хранению, ремонту, проверке и эксплуатации.

Второе направление производства автозавода – обеспечения эксплуатационного и ремонтного цикла автомобильного оборудования как на самом предприятии, так и вне его. В этом случае производство автозавода включает совокупность цехов и участков для выполнения технологических операций по ремонту и обслуживанию оборудования (токарные, слесарные, электроцеха, цеха наладки оборудования, приёмные и приёмно-сдаточные участки, складские помещения, инструментальные цеха и прочие производственные и хозяйственные помещения).

Производство автозавода может быть как структурным звеном крупного машиностроительного предприятия, так и иметь полностью самостоятельную структуру. В работе разрабатывается проект системы электроснабжения производства автозавода, являющимся отдельным самостоятельным подразделением производственного цикла крупного комплекса машиностроительного производства. Система электроснабжения таких организаций, как правило, является полностью самостоятельным звеном.

Основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения производства автозавода НП «Центр Освоения Арктики», осуществляемая с целью ввода данного объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью.

«Объектом исследования является электрическая часть системы электроснабжения автозавода НП «Центр Освоения Арктики»» [7].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема электроснабжения объекта» [4] исследования, а также её составные части (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств).

Современные предприятия производства комплекса машиностроительного производства являются энергоёмкими подразделениями, требующие значительных энергетических ресурсов.

Однако в связи с энергетическим кризисом и резким удорожанием энергоресурсов, приоритетом производства автозавода является уменьшение энергозатрат на производственные и собственные нужды, таким образом, повышая эффективность использования ресурсной базы.

В конечном итоге, это также приводит к повышению экономических показателей, в частности, к снижению стоимости производимой продукции и, как результат, повышению конкурентоспособности и ликвидности капиталовложений.

Одним из способов достижения желаемого эффекта является обеспечение качественного проектирования современных систем электроснабжения новых объектов производства автозавода, что обуславливает актуальность данной работы.

Следовательно, разработка качественного проекта электроснабжения производства автозавода, рассматриваемого в работе, являющегося самостоятельным звеном в производственном цикле крупного машиностроительного завода, является приоритетным заданием.

В работе проведена реконструкция системы электроснабжения автозавода в связи с износом электрооборудования, а также несоответствия схемы электрических соединений установленным нормам и требованиям основных нормативных документов.

Проведён анализ схемы электрических соединений и характеристик

оборудования системы электроснабжения автозавода, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе исходных данных по электроснабжению предприятия, проведён расчёт системы электроснабжения предприятия, который включает расчёт электрических нагрузок предприятия, выбор схемы электроснабжения предприятия, выбор и проверку проводников и электрических аппаратов защиты и коммутации сети, выбор устройств релейной защиты и автоматики, а также описание мероприятий по организации системы техники безопасности.

В работе в системе электроснабжения автозавода, опираясь на полученные результаты анализа современных разработок и инновационных решений в сфере оборудования и схемных решений, проведены выбор и проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции и цеховых понизительных подстанций, проводников, а также электрических защитных и коммутационных аппаратов объекта исследования.

Внедрены необходимые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения автозавода, позволяющие повысить показатели надёжности, экономичности и электробезопасности объекта исследования. В результате выполнения работы, выбраны, обоснованы, и предложены для практического применения мероприятия, позволяющие выполнить качественную реконструкцию схемы электрических соединений системы электроснабжения производства автозавода, получив требуемый проект, обладающий высокими показателями надёжности, экономичности и электробезопасности.

В работе для достижения поставленной цели применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод. Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик.

## **1 Краткая характеристика объекта реконструкции**

### **1.1 Характеристика источников питания объекта реконструкции**

Автомобильное производство характеризуется значительным энергопотреблением и сегодня занимает одно из наиболее энергоёмких отраслей современной промышленности.

В связи с энергетическим кризисом и дефицитом ресурсов, приоритетом данной отрасли является уменьшение энергозатрат на производственные и собственные нужды, таким образом, повышая эффективность использования ресурсной базы. В конечном итоге, это также приводит к повышению экономических показателей, в частности, к снижению стоимости производимой продукции и, как результат, повышению конкурентоспособности и ликвидности капиталовложений.

Одним из способов достижения желаемого эффекта является реконструкция и модернизация производства, а также схем и узлов системы электроснабжения автомобильного производства, что обуславливает актуальность данной работы.

Кроме того, в работе также необходимо проверить элементы системы электроснабжения всего автозавода, для чего её следует детально рассмотреть в процессе работы.

Предметом исследования в работе являются питающие и распределительные электрические сети, схема электрических соединений и электрические аппараты производства ремонта механического оборудования автозавода, которые рассматриваются в работе детально.

Электроснабжение реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода, согласно техническим данным на проектирование, осуществляется от понизительной распределительной подстанции ПС-220/110/35/10 кВ, находящейся в 6 км от территории реконструируемого завода.

От данной подстанции энергосистемы на напряжении 35 кВ получает непосредственное питание, рассматриваемый в работе автомобильный завод. Для этого на территории автозавода есть главная понизительная подстанция (далее – ГПП), которая питает все потребители автозавода.

На понизительной ГПП реконструируемого объекта находятся два силовых трансформатора напряжением 35/10 кВ, которые принимают, понижают и распределяют полученную электроэнергию от указанной выше питающей подстанции энергосистемы ПС-220/110/35/10 кВ.

Таким образом, данный источник питания принимается в работе за основу.

«На основании приведённых технических данных источников питания, являющихся основой для рассматриваемой в работе электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода, далее в работе проводится детальный анализ системы электроснабжения данного объекта проектирования» [15].

## **1.2 Исходная характеристика объекта реконструкции**

«Рассматриваемый в работе автомобильный завод, расположен территориально в промышленной зоне» [16].

«В связи с развитием промышленности в регионе, возникла острая необходимость в промышленных предприятиях, которые специализируются на производстве» [1], обслуживании и ремонте различных видов машин и запасных частей к ним (сельскохозяйственных, промышленных, автомобильных и прочих).

«Данный аспект обуславливает практическую ценность работы, так как проектирование и ввод в эксплуатацию данного предприятия с учётом инноваций в технологии производства и использованием современного энергосберегающего оборудования, способно частично решить вопросы с производством машин различного типа в регионе» [18].

«Технология производства продукции на автомобильном заводе, соответствует основным современным требованиям и нормам» [15]. При этом литьё в производственных подразделениях автозавода, бывает следующих основных типов:

- грубое литьё (литьё «низкой точности») – как правило, используется для изготовления болванок и заготовок больших размеров и диаметров. Такие заготовки поступают на дальнейшую обработку в механические цеха машиностроительного завода, где с ними проводятся технологические операции по получению готовых изделий;
- формовочное литьё (литьё «средней точности») – применяется для получения заготовок меньшего размера и более высокого качества, чем при грубом литье, а также используется для получения несложных заготовок, изделий или форм для их последующей отливки;
- точное литьё (литьё «высокой точности») – используется для изготовления готовых изделий, узлов и механизмов, требующих точного сплошного литья без применения соединений и подвергающихся в дальнейшем минимальной механической обработке. Такие изделия – наиболее ответственные и важные узлы и механизмы, применяющиеся в машиностроении: диски, блоки двигателей, корпуса, валы и прочие. Все они должны иметь высокое качество и достаточный запас прочности.

Весь процесс и технология производства продукции в системе электроснабжения автозавода, соответствует основным современным требованиям и нормам. Известно, что на характер среды в первую очередь оказывает влияние технология производства, которая характеризуется определённой температурой, влажностью, химической средой, запылённостью, а также прочими аналогичными климатическими показателями.

При анализе производственной среды учитывается также режим работы (продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный), на основании которого возможно наличие или отсутствия того или иного фактора среды в полной мере (рассматривается в работе далее).

Таким образом, учёт максимального количества критериев и факторов для разработки качественного проекта реконструкции объекта проектирования, носит актуальный характер.

«На данном автозаводе к основным производственным цехам и участкам относятся» [2]:

- производственный комплекс №1;
- производственный комплекс №2;
- производственный комплекс №3;
- производственный комплекс №4;
- производственный комплекс №5.

На данных производственных комплексах автомобильного завода сосредоточен весь основной процесс производства, который можно условно разделить по следующим циклам:

- «цикл плавления металлов» [14] в газовых стационарных печах – производственный комплекс №1;
- «литьё готовых изделий, узлов и механизмов» [14] – производственный комплекс №2;
- «кузнечно-прессовочная обработка полученных изделий, узлов и механизмов» [14] – производственный комплекс №3;
- «сборка изделий, узлов и механизмов» [14] – производственный комплекс №4.
- «покраска изделий, узлов и механизмов» [14] – производственный комплекс №5.

Однако в «современной экономике предприятий промышленного комплекса также крайне необходимо также использовать все возможности

для получения прибыли, исходя из производимой продукции» [12]. «Поэтому помимо процесса изготовления продукции, на автомобильном заводе также необходимо предусмотреть» [7] дефектацию, ремонт, модернизацию производимой продукции, с последующим её испытанием и принятием заказчиком. Также для привлечения партнёров и покупателей «необходимо предусмотреть испытательный участок» [7]. Такой подход даст значительный положительный экономический результат.

«Поэтому помимо основных цехов производства, описанных выше, на территории производства и ремонта механического оборудования автозавода, согласно исходным данным, расположены следующие вспомогательные цеха и участки завода, которые, собственно, и относятся к системе электроснабжения» [3] производства ремонта механического оборудования автозавода:

- приёмный участок» [7];
- участок обслуживания техники» [7];
- участок ремонта техники» [7];
- «административное здание» [7];
- «испытательный участок» [7];
- «склады» [7];
- «компрессорная с оборудованием» [7];
- «насосная с оборудованием (высоковольтные двигатели напряжением 10 кВ)» [7].

Таким образом, необходимо проверить питание всех указанных объектов автозавода и, на основе анализа оборудования, предложить комплексные решения по улучшению системы электроснабжения, повысив основные технические показатели.

Исходные технические данные приведённых производственных и вспомогательных цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода

Наименование цеха (участка)в	Вид нагрузки	Назначение цеха (участка)	Мощность, Р, кВт
Производственный комплекс №1 (печи – плавильные газовые стационарные)	Активно-индуктивная	Основной производственный	900
Производственный комплекс №2	Активно-индуктивная	Основной производственный	520
Производственный комплекс №3	Активно-индуктивная	Основной производственный	590
Производственный комплекс №4	Активно-индуктивная	Основной производственный	1000
Производственный комплекс №5	Активно-индуктивная	Основной производственный	390
Компрессорная	Активно-индуктивная	Основной вспомогательный	190
Приёмный участок	Активно-индуктивная	Основной вспомогательный	660
Участок обслуживания техники	Активно-индуктивная	Основной вспомогательный	930
Участок ремонта техники	Активно-индуктивная	Основной вспомогательный	200
Административное здание	Активная	Неосновной вспомогательный	150
Испытательный участок	Активно-индуктивная	Неосновной вспомогательный	83
Склады	Активная	Неосновной вспомогательный	70
Насосная: а) 0,4 кВ б) АД 10 кВ	Активно-индуктивная	Основной вспомогательный	40 2×400=800
Итого по автозаводу			6523

«Исходный план расположения приведённых в таблице 1 производственных и вспомогательных цехов и участков» [4] реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода – на рисунке 1.

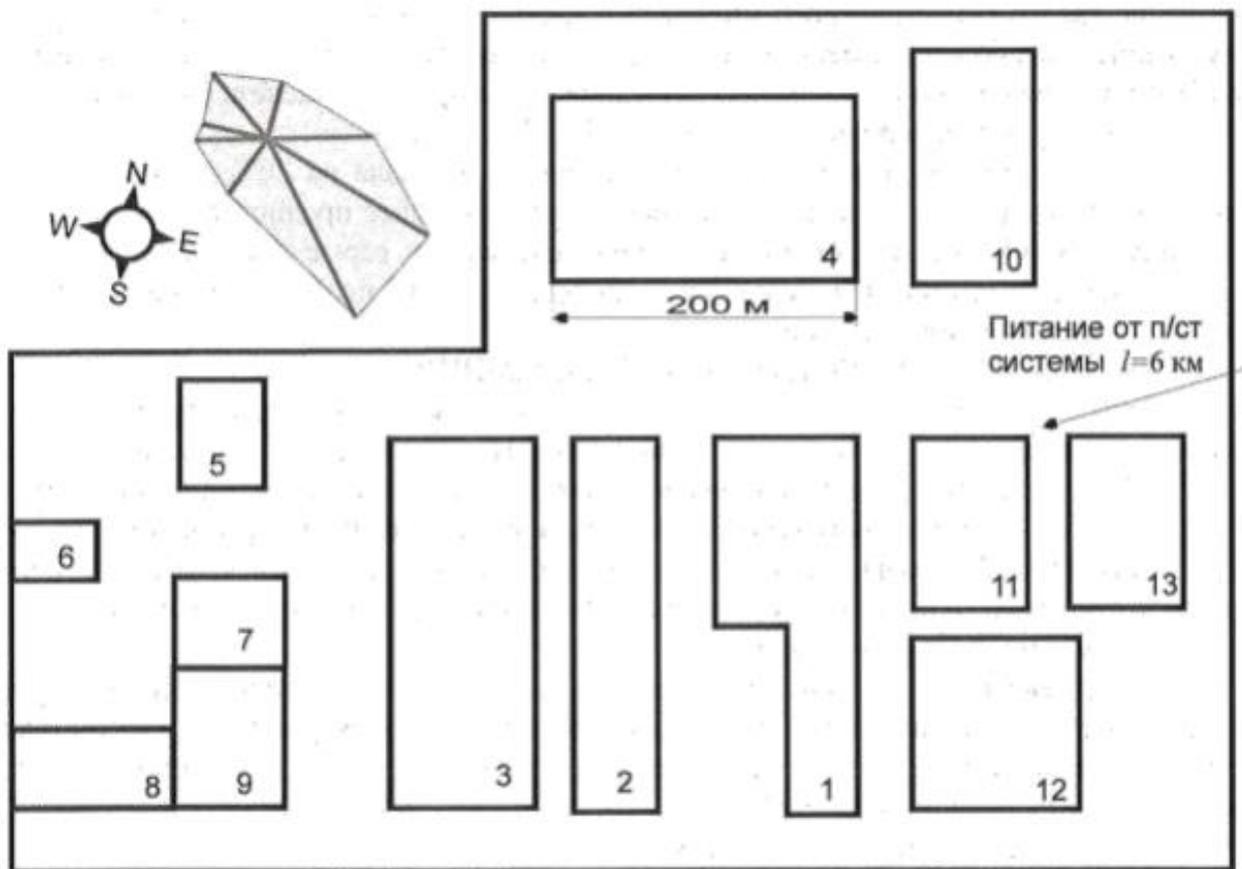


Рисунок 1 – Исходный план расположения производственных и вспомогательных цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода в принятом масштабе с указанием направления источника питания

«На основании приведенных исходных данных производственных и вспомогательных цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода, а также исходного плана расположения цехов и участков объекта исследования, далее в работе проводится решение основных поставленных задач проектирования» [3].

«Также в таблице 1 показано, что суммарная установленная мощность всех цехов и участков завода составляет 6523 кВт» [5].

«Далее в работе по соответствующим категориям проводится классификация основных цехов и участков автозавода» [4].

«К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные цеха и участки» [6] производства ремонта механического оборудования автозавода, а именно:

- производственный комплекс №1;
- производственный комплекс №4;
- производственный комплекс №3;
- производственный комплекс №2;
- производственный комплекс №5;
- компрессорная;
- насосная.

«К потребителям II категории относятся» [3]:

- приёмный участок;
- участок обслуживания техники;
- участок ремонта техники.

«К потребителям III категории относятся» [3]:

- «административное здание» [3];
- «испытательный участок» [3];
- «склады» [3].

Таким образом, на территории автозавода в его системе электроснабжения, находятся потребители как разных классов напряжения (0,4 кВ, 10 кВ), так и различных категорий надёжности (I, II, III).

С учётом этого, далее в работе проводится необходимая систематизация цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода по категориям надёжности.

«Результаты проведённого анализа и систематизация цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода по категориям надёжности их потребителей (в процентном отношении) сведены в таблицу 2» [8].

«По процентному соотношению приёмников соответствующей категории можно сделать общий вывод о том, к какой категории относится весь рассматриваемый цех (участок)» [19] реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода.

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода по категориям надёжности

Наименование цеха (участка)	Вид нагрузки	Категория надёжности потребителей
Производственный комплекс №1	Активно-индуктивная	I
Производственный комплекс №2	Активно-индуктивная	I
Производственный комплекс №3	Активно-индуктивная	I
Производственный комплекс №4	Активно-индуктивная	I
Производственный комплекс №5	Активно-индуктивная	I
Компрессорная	Активно-индуктивная	I
Приёмный участок	Активно-индуктивная	II
Участок обслуживания техники	Активно-индуктивная	II
Участок ремонта техники	Активно-индуктивная	II
Административное здание	Активная	III
Испытательный участок	Активно-индуктивная	III
Склады	Активная	III
Насосная	Активно-индуктивная	I

Далее в работе необходимо охарактеризовать каждый цех (участок) реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода по среде.

От характера производственной среды, как известно, зависит выбор степени защиты оборудования, сетей и электроустановок в целом.

Таким образом, данный фактор является обязательным к учёту в работе. Влияние данного аспекта на показатели изоляции оборудования, является доказанной [14].

«Характеристика производственной среды помещений цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода приведена в таблице 3» [9].

Таблица 3 – «Характеристика производственной среды помещений цехов и участков реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода» [9]

Наименование цеха (участка)	Вид нагрузки	Характеристика производственной среды цеха (участка)
Производственный комплекс №1	Активно-индуктивная	Хим. активная, жаркая
Производственный комплекс №2	Активно-индуктивная	Хим. активная, жаркая
Производственный комплекс №3	Активно-индуктивная	Хим. активная, жаркая
Производственный комплекс №4	Активно-индуктивная	Хим. активная, жаркая
Производственный комплекс №5	Активно-индуктивная	Хим. активная, агрессивная
Компрессорная	Активно-индуктивная	Жаркая, сухая
Приёмный участок	Активно-индуктивная	Нормальная
Участок обслуживания техники	Активно-индуктивная	Пыльная, сухая
Участок ремонта техники	Активно-индуктивная	Нормальная
Административное здание	Активная	Нормальная
Испытательный участок	Активно-индуктивная	Нормальная
Склады	Активная	Нормальная
Насосная	Активно-индуктивная	Влажная

«На основании приведённых данных по характеристике производственной среды цехов и участков на реконструируемой СЭС производства ремонта механического оборудования автозавода, можно сделать вывод, что подавляющее большинство цехов и участков (в частности, все производственные цеха производства ремонта механического оборудования автозавода) относятся к объектам с повышенной степенью опасности, что необходимо учесть при выборе марки кабелей и электрических аппаратов в работе далее» [10].

«На основании приведённых исходных данных, с учётом полученных результатов проведённого анализа, далее в работе непосредственно разрабатывается проект реконструкции питающих и распределительных

электрических сетей с последовательными выбором и проверкой силовых трансформаторов на всех уровнях и этапах» [3] производства ремонта механического оборудования автозавода.

### **1.3 Характеристика существующей системы электроснабжения**

«Рассматриваемая в работе существующая система электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода состоит из следующих элементов (графический лист 1)» [13], которые описывается ниже.

Как указывалось ранее, в схеме внешнего электроснабжения автозавода основным и единственным источником переменного напряжения является понизительная ГПП в виде ТП-35/10 кВ, в которой есть следующие основные элементы, описанные в работе далее согласно структурной схеме.

Все приведённые выше составляющие структурной схемы внешнего и внутреннего электроснабжения автозавода, составляют единое целое и рассматриваются как одна общая система.

В схеме внешнего электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода основным и единственным источником переменного напряжения является понизительная ГПП в виде ТП-35/10 кВ, в которой есть следующие основные элементы:

- распределительное устройство 35 кВ (далее – ОРУ 35 кВ). В РУ-35 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода применяется отдельный режим питания по радиальной схеме, при наличии отдельной цепи питающей воздушной линии 35 кВ для обеспечения электроснабжения каждого силового трансформатора. Однако в схеме РУ-35 кВ на ГПП отсутствует резервирование, что создаёт ряд проблем и неудобств, так как переключения схемы и вывод её в ремонт проводится на питающей подстанции энергосистемы 220/110/35 кВ. Данный аспект необходимо учесть при проведении

реконструкции схемы системы электроснабжения автозавода [11]. Кроме того, многие коммутационные и защитные аппараты ОРУ-35 кВ давно устарели и нуждаются в замене;

- «силовые трансформаторы ТМН-10000/35, обеспечивающие понижение напряжения с 35 кВ до 10 кВ с последующим его распределением в РУ-10 кВ. Оба силовых трансформатора в исходной схеме нормального режима на рассматриваемой в работе ТП-35/10 кВ находятся в работе» [3];
- ещё одним элементом структурной схемы главной понизительной подстанция переменного напряжения внешнего электроснабжения автозавода выступает распределительное устройство 10 кВ (РУ-10 кВ). Конструктивно на ГПП системы электроснабжения автозавода РУ-10 кВ выполнено наружным с применением ячеек 10 кВ типа КРУН. Схема РУ-10 кВ ГПП – двухлучевая радиальная с применением резервирования с помощью секционного выключателя. Однако в схеме главных электрических соединений РУ-10 кВ секционный выключатель в нормальном режиме включён, обеспечивая, таким образом, параллельный режим работы секций шин. Кроме того, многие коммутационные и защитные аппараты ОРУ-35 кВ давно устарели и нуждаются в замене. Данный аспект необходимо учесть при проведении реконструкции схемы системы электроснабжения автозавода [11].

Как было установлено при проведении анализа, на объекте есть устаревшие электрические аппараты.

Их дальнейшее применение влечёт потерю надёжности и экономичности системы электроснабжения автозавода.

К основным потребителям собственных нужд ГПП системы электроснабжения автозавода относится освещение, обогрев оборудования в зимнее время, релейная защита, автоматика и сигнализация, а также цепи

измерения и видеосвязи [12]. Все они планомерно и постепенно были введены в работу и эксплуатацию на подстанции в 1976-2002 гг.

Оперативный ток на ГПП – переменный, напряжением 220 В. Защита силового трансформатора Т1 расположена на ОРУ-35 кВ в шкафу защиты трансформатора ШЗТ-Т1 расположенного рядом с Т1, защита ввода 10 кВ расположена в релейном отсеке ввода 10 кВ Т1. По аналогичной схеме расположена защита трансформатора Т2 ГПП системы электроснабжения автозавода.

Также приводится краткая техническая характеристика секций сборных шин ГПП:

- присоединение секция шин 35 кВ, тип оборудования – АС-185/24, год выпуска 1976 г., год ввода в эксплуатацию – 1977 г.;
- присоединение секция шин 10 кВ, тип оборудования – шины алюминиевые 100x8; год выпуска – 1977 г., год ввода в эксплуатацию – 1978 г.

«Далее от шин 10 кВ ГПП получают питание понизительные цеховые подстанции системы внутреннего электроснабжения автозавода напряжением 10/0,4 кВ, питающие соответствующие потребители цехов и участков электроснабжения объекта» [4].

«Все потребительские подстанции ТП-10/0,4 кВ, питающиеся от ГПП автозавода, выполнены комплектными, их питание на стороне 10 кВ осуществляется кабельными линиями электропередачи по радиальной схеме от шин напряжением 10 кВ понизительной подстанции 35/10 кВ» [11]. В исходной схеме электрических соединений для этой цели применяются силовые алюминиевые кабели высокого напряжения марки АСБ-10.

При этом для питания каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ от шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП используется однолучевая радиальная схема без резервирования, т.е. каждая двухтрансформаторная ТП-10/0,4 кВ питается только одним кабелем 10 кВ (графический лист 1).

При этом на секциях шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП:

- на первой секции сборных шин 10 кВ три ячейки не находятся в работе – отключены (резерв);
- на второй секции сборных шин 10 кВ четыре ячейки не находятся в работе – отключены (резерв).

Выводы по разделу 1.

В разделе детально рассмотрен источник автозавода, в качестве которого выступает ГПП.

Рассмотрена и описана система электроснабжения объекта реконструкции.

Систематизированы основные участки и цеха по категории надёжности, потребляемой мощности, условиям производственной среды.

Установлено, что объект нуждается в реконструкции.

Показано, что такая реконструкция обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

В результате проведённого анализа, в работе установлено, что данная реконструкция объекта включает в себя два основных технических направления.

Первое направление подразумевает модернизацию устаревших электрических аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода, осуществляемую путём их замены на современные модели и марки, которые характеризуются улучшенными техническими и экономическими характеристиками.

Второе направление предусматривает качественные технические изменения в схеме главных электрических соединений системы электроснабжения автозавода.

Учитывая приведённую детальную характеристику элементов и оборудования схемы внутренней и внешней системы электроснабжения автозавода, далее в работе проводится решение поставленных задач.

## **2 Реконструкция системы электроснабжения объекта**

### **2.1 Реконструкция схемы электроснабжения объекта**

Мероприятия по приведённым этапам реконструкции объекта детально рассматриваются в работе далее. Известно, что основные нормы и требования при проектировании питающих схем главных понизительных подстанций и систем электроснабжения в целом, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [1,4,10,11]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ на подстанции и в системе электроснабжения;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанции;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования главных понизительных подстанций и систем электроснабжения в целом;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования для применения на главных понизительных подстанциях и в системах электроснабжения в целом;
- использование передовых и экономичных схемных решений в системах электроснабжения в целом;
- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования и сетей;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов;
- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям на всех уровнях;

- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы системы электроснабжения;
- обеспечение ограничения ненормальных режимов всех звеньев цепи.

Далее в работе необходимо привести основные нормы и требования к проектированию систем электроснабжения металлургических предприятий, к которым относится и система электроснабжения автомобильного производства, являющейся объектом исследования в данной работе.

По специфике и составу, системы электроснабжения металлургических и машиностроительных предприятий относятся к системам промышленного электроснабжения классического типа [8].

Следовательно, данному типу системы электроснабжения характерны следующие основные принципы построения:

- наличие понизительной подстанции, получающей питание от энергосистемы;
- наличие трансформаторных цеховых подстанций, которые питают потребители цехов предприятия;
- резервное питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности;
- применение радиальных схем в питающей системе электроснабжения объекта;
- применение смешанных схем в распределительной системе электроснабжения объекта;
- установка коммутационных и защитных аппаратов от внешних и внутренних повреждений;
- минимум промежуточных звеньев при передаче электроэнергии;
- применение автоматики для обеспечения резерва в сети;
- разделение секций на две и более для резерва сети (резервирование и секционирование системы).

В результате анализа исходных данных и схемы электроснабжения, проведённого в первом разделе работы, установлено, что схема электрических соединений системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода нуждается в проведении мероприятий по качественной реконструкции.

На основе указанных требований, с учётом проведённого анализа и систематизации проблемных узлов и вопросов, требующих решений, в системе электроснабжения автозавода предлагается внедрить следующие практические мероприятия по реконструкции:

- в результате проведения анализа исходных данных установлено, что для питания каждой «цеховой ТП-10/0,4 кВ от шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП используется однолучевая радиальная» [15] схема без резервирования, то есть каждая двухтрансформаторная ТП-10/0,4 кВ питается только одним кабелем 10 кВ. Данный аспект является недопустимым согласно требованиям ПУЭ [14], так как среди потребителей объекта есть приёмники первой и второй категории надёжности, которые требуют двух источников питания. В связи с этим, предполагается каждый силовой трансформатор цеховых ТП-10/0,4 кВ запитать от разных шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП. Следовательно, в реконструированной схеме системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода применяется рекомендованная двухлучевая радиальная схема с резервированием на стороне 10 кВ с соответствующим уровнем резервирования (АВР) и секционирования (СШ) схемы [14]. При этом новые кабели к силовым трансформаторам напряжением 10 кВ планируется подключить к незанятым ячейкам «Резерв» секций сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП: на первой секции сборных шин 10 кВ три ячейки не находятся в работе – отключены (резерв), на второй секции сборных шин 10 кВ четыре ячейки не находятся в работе –

отключены (резерв). Эти ячейки используются в реконструированной схеме электрических соединений для подключения кабелей 10 кВ с целью питания силовых трансформаторов двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ. Исходя из этого, в работе необходимо проверить нагрузочную способность всей системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода с учётом внесённых изменений;

- как было указано при проведении анализа системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода, в ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП установлены устаревшие электрические аппараты. Исходя из этого, предлагается и внедряется модернизация устаревших электрических аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками, что позволит значительно повысить показатели надёжности, электробезопасности и экономичности на объекте, а также во всей системе электроснабжения автозавода в целом. При этом значительно снизятся сопутствующие затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования. Данная возможность учитывается в реконструированной схеме электрических соединений системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода и проверяется в работе далее.

Таким образом, установлено, что реконструкция системы электроснабжения объекта проектирования, сводится к практическому внедрению двух аспектов: модернизации аппаратуры РУ на ГПП, а также внесения изменений в схему электрических соединений.

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по усовершенствованию исходной существующей схемы электрических соединений электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода, осуществляемую путём реконструкции схемы электрических соединений и модернизации электрических аппаратов, в работе при расчёте электрических нагрузок используется реконструированная схема, описанная в первом разделе.

Кроме того, в связи с применением новой схемы электрических соединений электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода, необходимо также учитывать новые условия резервирования на стороне 10 кВ, которые осуществлены путём подключения кабельных линий 10 кВ от ячеек «Резерв» (всего – семь присоединений в схеме РУ-10 кВ ГПП).

Как было указано ранее, внедрение практических мероприятий в системе электроснабжения автозавода, принесёт значительный эффект как с экономической, так и с технической точек зрения.

«Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по усовершенствованию исходной существующей схемы электрических соединений электроснабжения автозавода, осуществляемую путём реконструкции схемы электрических соединений и модернизации электрических аппаратов, в работе при расчёте электрических нагрузок» [6] используется реконструированная схема, описанная в первом разделе.

В связи с применением новой схемы электрических соединений электроснабжения автозавода в результате внедрения мероприятий по реконструкции, «необходимо также учитывать новые условия резервирования на стороне 10 кВ, которые осуществлены путём подключения кабельных линий 10 кВ» [6] от ячеек «Резерв» (всего – семь присоединений в схеме РУ-10 кВ ГПП).

Поэтому их нагрузка также должна быть учтена в работе.

В сети переменного тока расчёту подлежат активная, реактивная и полная расчётные электрические нагрузки.

Численное значение «расчётной активной нагрузки силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков реконструируемого автозавода, кВт» [8]:

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

где  $P_n$  – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) реконструируемого автозавода машиностроительного предприятия, кВт» [8];

$K_c$  – «справочное значение коэффициента спроса цеха (участка) реконструируемого автозавода» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) реконструируемого автозавода, квар» [6]:

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

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

«В работе, помимо силовой расчётной нагрузки» [6] объекта, также необходимо провести расчёты осветительной нагрузки автозавода, исходя из площади, которая подлежит освещению.

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) реконструируемого автозавода, кВт» [6]:

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

где « $K_{c.o}$  – коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) реконструируемого автозавода»

[4];

« $P_{н.о}$  – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) реконструируемого автозавода, кВт» [6].

«При этом значение последней составляющей осветительной нагрузки рассчитывается таким образом» [6]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (4)$$

где « $P_{уд.о}$  – удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) реконструируемого автозавода машиностроительного предприятия, кВт/м<sup>2</sup>» [4];

« $F$  – площадь соответствующего цеха (участка) реконструируемого автозавода согласно генплану, м<sup>2</sup>» [6].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) реконструируемого автозавода» [6]:

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

«Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ соответствующего цеха (участка) реконструируемой системе электроснабжения автозавода рассчитываются по условиям (1) и (2), а полная расчётная силовая нагрузка определяется так» [6]:

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

«Расчетная полная нагрузка реконструируемого в работе автозавода определяется по суммарным расчетным нагрузкам, включающим расчётные силовые и осветительные нагрузки, с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП» [8].

Расчёт нагрузок в работе проводится с учётом потерь в элементах сети. Как правило, максимальные потери, которыми нельзя пренебречь, являются потери «в трансформаторах ГПП и цеховых ТП» [17].

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения автозавода на этапе проверки можно рассчитать таким образом» [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 в силовых трансформаторах ГПП системы электроснабжения автозавода на этапе проверки можно рассчитать таким образом» [16]:

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

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

«По приведённым выше условиям (1) – (10) проводится расчёт нагрузок цехов и участков реконструируемого» [6] автозавода.

Основой для дальнейших расчётов и выбора оборудования и сетей является суммарная расчётная «нагрузка цехов (участков) и автозавода в целом» [5].

«Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения автозавода сведены в таблицу 4» [6].

Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода

Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка					Суммарная расчётная нагрузка		
	$F$ , м <sup>2</sup>	$P_{уд.о.}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$P_{н.о.}$ , кВт	$K_{с.о}$	$P_{р.о.}$ , кВт	$P_{р.+}$ $P_{р.о.}$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ								
Производственный комплекс №1	16000	20	45	0,95	42,75	762,75	633,6	991,6
Производственный комплекс №2	10000	20	200	0,95	190	606	312	606,0
Производственный комплекс №3	20000	20	400	0,95	380	793	363,44	872,3
Производственный комплекс №4	20000	20	400	0,95	380	1180	704	1374,1
Производственный комплекс №5	2200	20	44	0,95	41,8	169,78	163,3	235,6
Компрессорная	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,6
Приёмный участок	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,3
Участок обслуживания техники	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,8
Участок ремонта техники	4000	17	68	0,95	64,6	144,6	60	166,64
Административное здание	5000	18	90	0,95	85,5	160,5	76,5	177,8
Испытательный участок	4000	18	72	0,95	39,9	89,7	37,35	89,7
Склады	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,4
Насосная	4000	18	72	0,95	39,9	71,9	19,84	74,6
Итого 0,4 кВ	-	-	-	-	1423,58	4647,88	2668,07	5359,2
Потребители 10 кВ								
Насосная	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3
Итого 10 кВ	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3

«Численное значение полной расчётной нагрузки  $S_p$  с учётом всех расчётных нагрузок реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода» [16]:

$$S_p = \sqrt{(P_{p,0,4} + P_{p,10})^2 + (Q_{p,0,4} + Q_{p,10})^2}, \quad (11)$$

$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680)^2 + (2668,07 + 326,4)^2} = 8541,4 \text{ кВА.}$$

«Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{р.н}, \text{ кВт}, \quad (12)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{р.н}, \text{ квар}. \quad (13)$$

«Для реконструированной схемы ТП-10/0,4 кВ автозаводской электрической сети» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 \cdot 8541,4 = 170,8 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 8541,4 = 854,1 \text{ квар}.$$

«На этапе реконструкции необходимо рассчитать величину компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП по условию» [19]:

$$Q_{KV} = P_m(\text{tg}\varphi_O - \text{tg}\varphi_M). \quad (14)$$

«Для условий ГПП после реконструкции с учётом определённых ранее нагрузок» [16]:

$$Q_{KV} = 8024,65(0,4 - 0,36) \approx 321 \text{ квар}.$$

«Как видно из результатов расчёта, на ГПП автозавода необходима компенсация реактивной мощности» [16].

«Поэтому в работе выбраны для этой цели две конденсаторные установки марки УКРМ-10,5-160-50 (100р+60р) номинальной реактивной мощностью 160 квар каждая» [12].

«Значение суммарной расчетной реактивной нагрузки реконструируемой схемы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода после компенсации реактивной мощности и выбранных регулируемых батарей конденсаторов» [19]:

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p.n} + Q_{p.в}) \cdot K_{pm} + Q_{ТЦ} - Q_{КУ}, \text{ квар}, \quad (15)$$

где  $K_{pm}$  – «коэффициент разновременности максимумов нагрузки на шинах 10 кВ ГПП» [12].

«Для реконструированной схемы ГПП, исходя из расчётных данных нагрузок, полученных ранее» [16]:

$$Q_{p\Sigma} = (2925,7 + 326,4) \cdot 0,95 + 854,1 - 320 \approx 3622,6 \text{ квар.}$$

«Суммарная расчетная активная нагрузка реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода» [12]:

$$P_{p\Sigma} = (P_{p.n} + P_{p.в}) \cdot K_{pm} + P_{ТЦ} + P_{p.o}, \text{ кВт}, \quad (16)$$

$$P_{p\Sigma} = (6601,04 + 680 + 708,7) \cdot 0,95 + 170,8 + 1423,58 \approx 9184,6 \text{ кВт.}$$

«Суммарная расчетная полная нагрузка реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода» [12]:

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{(P_{p.\Sigma})^2 + (Q_{p.\Sigma})^2}, \quad (17)$$

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{9184,6^2 + 3622,6^2} \approx 9873,2 \text{ кВА.}$$

Полученные значения расчётных нагрузок объекта используются далее.

«Для реконструированной схемы ГПП, исходя из расчётных данных нагрузок, полученных ранее, потери в трансформаторах ГПП будут составлять» [16]:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 \cdot 9873,2 = 197,5 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{TC} = 0,1 \cdot 9873,2 = 987,3 \text{ квар}.$$

«Полная расчётная нагрузка ГПП реконструируемого производства ремонта механического оборудования автозавода с учётом предварительных потерь активной и реактивной мощности в трансформаторах» [12]:

$$S_p = \sqrt{(P_{p.\Sigma} + \Delta P_{T.ГПП})^2 + (Q_{p.\Sigma} + \Delta Q_{T.ГПП})^2}, \text{ кВА.} \quad (18)$$

«Значит» [16]:

$$S_p = \sqrt{(9184,6 + 197,5)^2 + (3622,6 + 987,3)^2} = 10453,5 \text{ кВА}.$$

«Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода используются в работе далее при проверке силовых трансформаторов ГПП, цеховых ТП на допустимую загрузку, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников реконструированной системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода» [8].

Указанные мероприятия по выбору оборудования в системе электроснабжения автозавода проводятся в работе далее.

Дальнейший расчёт, выбор оборудования и его проверка, проводится в работе для условий реконструированной схемы электроснабжения и схемы соединений объекта.

### 2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода до проведения реконструкции были установлены два силовые трансформатора марки ТМН-10000/35.

После внедрения мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения объекта, в работу была введена дополнительная нагрузка в РУ-10 кВ ГПП, оказывающая влияние на потребляемую нагрузку трансформаторов ГПП автозавода.

Поэтому в работе необходимо проверить данные трансформаторы на допустимую загрузку потребляемой мощностью и, в случае необходимости, заменить их на актуальные.

Выбор и проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта в работе проводится по следующему алгоритму:

- выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимым коэффициентам загрузки с предварительной проверкой по допустимой расчётной нагрузке;
- проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме;
- «проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимой нагрузке в послеаварийном режиме работы» [19].

Условие выбора трансформатора на ГПП [6]:

$$S_{ном} \geq \frac{S_P}{n \cdot K_3}, \quad (19)$$

где  $n$  – «число трансформаторов, шт.» [11];

$K_3$  – «коэффициент загрузки трансформатора ГПП, о.е.» [11].

По (19):

$$S_{ном} \geq \frac{10453,5}{2 \cdot 0,65} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

Предварительный проверочный расчёт силового трансформатора по расчётной нагрузке заключается в том, что номинальная мощность трансформатора должна быть не меньше расчётной мощности [7]:

$$S_{ном.т}, \text{кВА} \geq S_{ном.т.р}, \text{кВА.} \quad (20)$$

Из результатов расчёта можно сделать вывод, что номинальная мощность силовых трансформаторов, установленных на главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода, превышает расчётное значение, полученное по условию (20):

$$S_{ном.т} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

Предварительные условия проверки трансформаторов по расчётной мощности и потребляемой нагрузке соответствуют требуемым.

Исходя из полученных результатов расчёта, предварительно выбирается для установки на главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода после проведения реконструкции, «два силовых трансформатора марки ТМН-10000/35» [15].

Производится указанный трансформатор в компании «Тольяттинский трансформатор» [14].

Конструкция данного трансформатора марки ТМН-10000/35, принятого для установки на главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода после проведения реконструкции, представлена на рисунке 2.

Трансформатор ТМН-10000/35 состоит из следующих основных конструктивных частей и элементов (рисунок 2):

- 1 – бак;
- 2 – расширитель;
- 3 – ввод ВН;
- 4 – ввод НН;
- 5 – реле Бухгольца;
- 6 – радиатор;
- 7 – шкаф релейной защиты;
- 8 – фильтр термосифонный.

В работе все основные конструктивные части и элементы выбранного типа силовых трансформаторов для установки на ГПП объекта также показаны на рисунке 2.

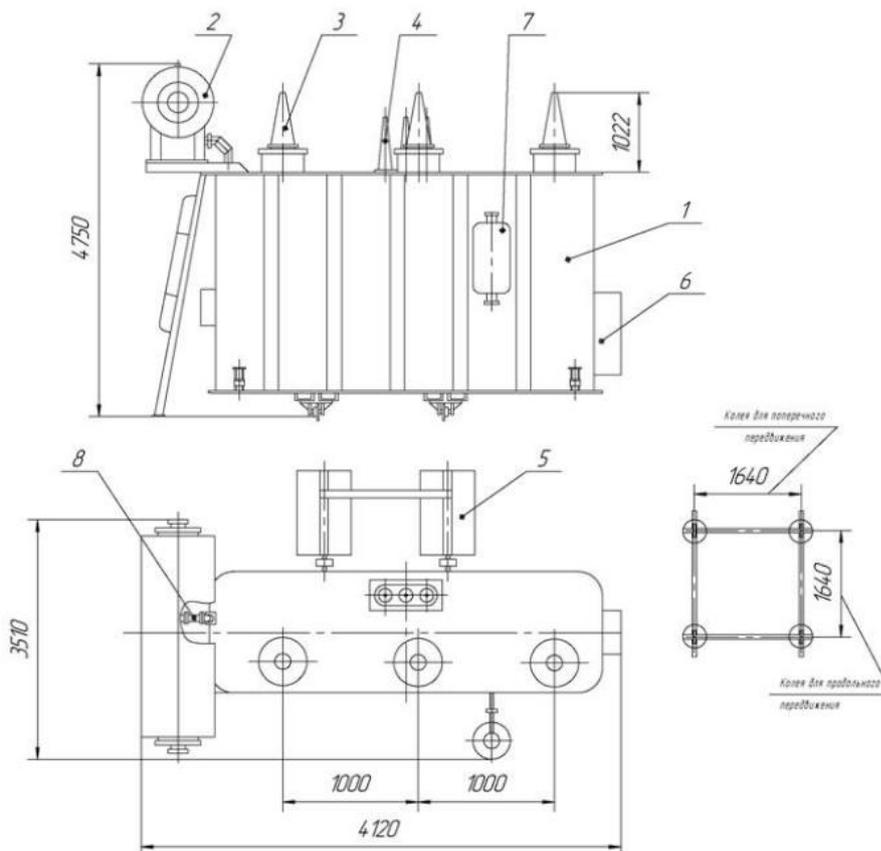


Рисунок 2 – Конструкция силового трансформатора марки ТМН-10000/35, принятого для установки на главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода после проведения реконструкции

Однако правилами и требованиями [10] дополнительно необходимо также дополнительно проверить выбранные трансформаторы по допустимой нагрузке и перегрузочной способности, исходя из принятых значений коэффициента загрузки выбранных трансформаторов на понизительной подстанции.

При этом коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме на главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода не должен превышать нормируемого значения 0,7 [7]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (21)$$

Коэффициент загрузки трансформатора главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода в послеаварийном режиме не должен превышать значения 1,4 [7]:

$$K_{з.п} = \frac{S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (22)$$

Проводится проверка трансформаторов главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода по условиям загрузки каждого трансформатора в нормальном режиме.

Условно принимается, что на каждый из двух силовых трансформаторов подстанции нагрузка потребителей распределяется равномерно.

Проверка по условию (21) выполняется:

$$K_{з.н} = \frac{10453,5}{2 \cdot 10000} = 0,52 \leq 0,7.$$

В послеаварийном режиме один силовой трансформатор главной понизительной подстанции принимает «на себя нагрузку всей ГПП (с учётом отключения потребителей III категории надёжности)» [13].

Исходя из этого требования, проверка по условию (22) для трансформаторов главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода, будет иметь следующий вид:

$$K_{з.н} = \frac{10453,5}{10000} = 1,045 \leq 1,4.$$

Условие всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35, установленные на главной понизительной подстанции системы электроснабжения автозавода в исходной схеме электрических соединений объекта, после проведения реконструкции выдержат допустимую перегрузку на данной подстанции в нормальном и послеаварийном режимах работы, с учётом ввода в эксплуатацию нагрузки дополнительных ячеек потребителей в РУ-10 кВ ГПП.

## 2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП

«Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов» [11] цеховых трансформаторных подстанций системы электроснабжения автозавода с учётом изменений, внесённых в схему электрических соединений объекта реконструкции, а также подключения дополнительной нагрузки в питающей сети 10 кВ [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (23)$$

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

« $\sum P_{\text{р.}}$  – 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 (23)» [6]

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{762,75}{2 \cdot 0,8} = 476,7 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 приняты два силовых трансформатора марки ТМ-630/10» [12]. «На других цеховых ТП» [17] выбор силовых трансформаторов аналогичен. Полученные данные сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

ТП	№ цеха	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности	$P_p$ , кВт	$S_{\text{ном.т.р.}}$ , кВ·А	$n \times S_{\text{ном.т.}}$ , кВ·А
ТП-1	1	Производственный комплекс №1	I	762,75	476,7	2×630
ТП-2	2	Производственный комплекс №2	I	606	378,8	2×400
ТП-3	3	Производственный комплекс №3	I	793	495,6	2×630
ТП-4	4	Производственный комплекс №4	I	1180	842,8	2×1000
ТП-5	5	Производственный комплекс №5	I	708,7	591,9	2×630
	7	Приёмный участок	II	238,38		
	Всего по ТП-5		I, II	947,08		
ТП-6	6	Компрессорная	I	172,52	370,2	2×400
	8	Участок обслуживания техники	II	275,25		
	9	Участок ремонта техники	II	144,6		
	Всего по ТП-6		II	592,37		
ТП-7	13	Насосная	I	71,9	339,6	2×400
	10	Административное здание	III	160,5		
	11	Испытательный участок	III	89,7		
	12	Склады	III	153,28		
	Всего по ТП-7		II, III	475,38		

Результаты нагрузки учитывается в работе далее.

## 2.5 Выбор сечения проводников

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения автозавода.

В работе в системе электроснабжения автозавода, выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к силовым трансформаторам ГПП) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП к цеховым ТП-10/0,4 кВ).

«Известно, что выбор сечений кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока по выражению» [8]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{э}}}, \quad (24)$$

где  $I_{\text{н}}$  – «рабочий ток нормального режима кабельной линии электропередачи, А» [11];

$j_{\text{э}}$  – «экономически выгодная плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [11].

«Рабочий ток нормального режима линии электропередач определяется, исходя из рассчитанной ранее в работе нагрузки» [8]:

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (25)$$

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]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н}}, \quad (26)$$

где  $I_{don}$  – «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]:

$$I_{don} \geq I_a. \quad (27)$$

Следовательно, для корректного выбора сечения проводников линий электропередач системы электроснабжения автозавода, необходимо предварительно провести расчёт максимальных токов послеаварийного режима присоединений 35 кВ и 10 кВ (соответственно, питающей и распределительной сетей системы внешнего и внутреннего электроснабжения объекта).

Расчёт максимальных рабочих токов послеаварийного режима проводится с учётом резервирования в схеме электроснабжения с учётом мероприятий, внедрённых после проведения реконструкции.

Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима для линии с учётом резервирования:

$$I_a = 1,4 \cdot I_n. \quad (28)$$

Расчитанные значения максимальных токов послеаварийного режима для сети 35 кВ и 10 кВ используются далее для выбора сечения соответствующих проводников линий.

Также эти расчётные данные используются при выборе и проверке электрических аппаратов в работе далее.

Необходима также проверка сечений проводников линий «по условию допустимой потери напряжения» [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_{л} + QX_{л}}{U_{н}^2} \cdot 100, \% \quad (29)$$

Далее в работе проводится детальный выбор и проверка сечения проводника воздушной линии 35 кВ, которая осуществляет питание трансформаторов ГПП системы электроснабжения автозавода от энергосистемы (ПС-220/110/35 кВ).

Расчётный ток нормального режима и максимальный рабочий ток ВЛ-35 кВ:

$$I_p = \frac{10453,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 86,2 \text{ А},$$

$$I_{p.\max} = \frac{10453,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 172,4 \text{ А}.$$

«Сечение провода питающей ВЛ-35 кВ» [8]:

$$F_{\vartheta} = \frac{86,2}{1,1} = 78,3 \text{ мм}^2.$$

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

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [4]:

$$265 \text{ А} \geq 86,2 \text{ А}.$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]:

$$265 \text{ A} \geq 172,4 \text{ A}.$$

Известно, что по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения, чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также назначения линии.

Математически это условие выражается так [12]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (30)$$

Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов АС для линий 35 кВ находятся на уровне не менее 35 мм<sup>2</sup> [9].

Проверка предварительного выбранного сечения провода ВЛ-35 кВ по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется:

$$70 \text{ мм}^2 \geq 35 \text{ мм}^2.$$

Условия проверок выполняются, следовательно, данный провод марки АС-70/11 полностью удовлетворяет всем условиям выбора и проверки, и подходит в качестве провода для питающей линии 35 кВ к трансформаторам главной понизительной подстанции после её реконструкции.

«По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, питающих ТП-10/0,4 кВ» [8] с приведением результатов выбора в форме таблицы 6.

В работе питающая сеть напряжением 10 кВ выполняется силовыми кабелями при прокладке в траншеях.

При этом резервирование линий 10 кВ, отходящих к потребителям, также должны быть учтены при расчёте.

Данное резервирование осуществляется через секционный выключатель в РУ-10 кВ подстанции.

Также скрытые кабельные линии, в отличие от воздушных, не подлежат проверке по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам.

Для ТСН и вводов силовых трансформаторов ГПП на стороне 10 кВ провода воздушных линий не используются (для этой цели на подстанции применяется жёсткий шинопровод).

Поэтому для данных присоединений выбор проводников линий 10 кВ в работе не проводится.

Таблица 6 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода

№ ТП	Марка силового кабеля	<i>n</i> , шт.	Схема питания линии	<i>I</i> <sub>доп</sub> , А
ТП-1	АСБ–10 (3х25)	2	Радиальная с резервированием	90
ТП-2	АСБ–10 (3х16)	2	Радиальная с резервированием	75
ТП-3	АСБ–10 (3х16)	2	Радиальная с резервированием	75
ТП-4	АСБ–10 (3х25)	2	Радиальная с резервированием	90
ТП-5	АСБ–10 (3х25)	2	Радиальная с резервированием	90
ТП-6	АСБ–10 (3х16)	2	Радиальная с резервированием	75
ТП-7	АСБ–10 (3х16)	2	Радиальная с резервированием	75
Насосная (АД 10 кВ)	АСБ–10 (3х16)	2	Радиальная с резервированием	75

«Все выбранные в работе проводники (воздушная линия 35 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети» [8] внутреннего электроснабжения автозавода удовлетворяют всем условиям выбора и проверки.

Таким образом, путём правильного выбора проводников в реконструированной системе электроснабжения автозавода, будут значительно повышены условия надёжности, экономичности и безопасности.

## 2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Проводится расчёт токов короткого замыкания (КЗ) в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ).

Так как на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения объекта, в результате проведения её реконструкции, установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 10 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на главной понизительной подстанции остаётся один силовой трансформатор, на который также приходится нагрузка второго трансформатора, отключённый в максимальном режиме устройствами релейной защиты.

Расчетная схема представлена на рисунке 3, схема замещения – на рисунке 4.

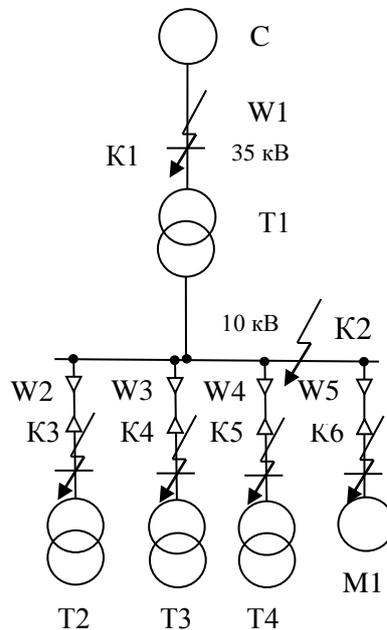


Рисунок 3 – Расчетная схема

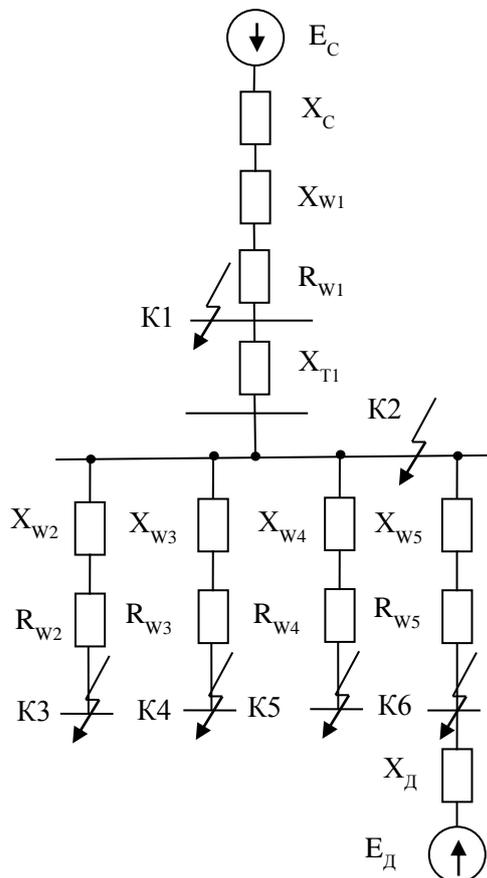


Рисунок 4 – Схема замещения

После составления схемы замещения, далее в работе принимаются базисные условия при расчёте в относительных единицах при последующем приведении к принятым базисным условиям в именованных единицах.

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности, поступающей с энергосистемы на ГПП-35/10 кВ с учётом перетоков мощностей:

$$S_{\sigma} = 100 \text{ МВА.}$$

Базисное напряжение схемы определяется так [6]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (31)$$

По условию (31):

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ},$$

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

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

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (32)$$

Базисный ток на стороне ВН (35 кВ) схемы (численное значение):

$$I_{B.ВН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 36,75} = 1,57 \text{ кА}.$$

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

$$I_{B.НН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Далее в работе поочередно определяется значение сопротивлений схемы замещения.

«Индуктивное сопротивление линии» [7]:

$$X_{w1} = \frac{1}{n} \cdot X_0 \cdot L_{w1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}, \quad (33)$$

где « $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км» [12];

« $L$  – суммарная длина питающей линии, км» [12];

« $n$  – число цепей линии, шт.» [12]

Для ВЛ-35 кВ, питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения автозавода:

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление линии» [12]:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{y0.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_B^2}, \quad (34)$$

где  $R_0$  – «удельное активное сопротивление линии» [4].

Для ВЛ-35 кВ, питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения автозавода:

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [12] при приведении к базисным условиям:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{K.3.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T.}}. \quad (35)$$

Численное значение индуктивного сопротивления трансформатора, установленного на ГПП системы электроснабжения автозавода:

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,59 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины при приведении к базисным условиям» [12]:

$$X_{W2} = 0,09 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,02 \text{ о.е.},$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,016 \text{ о.е.},$$

$$X_{W4} = 0,09 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,04 \text{ о.е.},$$

$$X_{W5} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины» [12] при приведении к базисным условиям:

$$R_{W2} = 0,62 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,17 \text{ о.е.},$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,11 \text{ о.е.},$$

$$R_{W4} = 0,62 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,28 \text{ о.е.},$$

$$R_{W5} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,08 \text{ о.е.}$$

Известно, что при наличии в системе электроснабжения высоковольтных электродвигателей большой мощности, в результате электромагнитных и электродинамических процессов, они существенно влияют на величину токов короткого замыкания за счёт токов подпитки и сверхпереходных сопротивлений.

Таким образом, в схеме должны быть учтены высоковольтные асинхронные двигатели (далее – АД) мощностью 400 кВт каждый, установленных в насосной объекта проектирования.

«С учётом сопротивлений» [18]:

$$x_d'' = 0,2;$$

$$E_D = E'' = 0,9.$$

«Согласно техническим данным» [13]:

$$P_H = 400 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,92; \eta = 85,0 \%$$

«С учётом технических условий» [15]:

$$S_H = \frac{P_H}{\cos \varphi \cdot \eta}, \text{ кВА.} \quad (36)$$

«Для высоковольтного двигателя 10 кВ насосной по условию (36)» [12]:

$$S_H = \frac{400}{0,92 \cdot 0,85} = 511,5 \text{ кВА.}$$

«Величина фактического сопротивления высоковольтного двигателя с учётом сверхпереходного сопротивления» [12]:

$$x_D = x_d'' \cdot \frac{S_B}{n \cdot S_H}, \text{ о.е.}, \quad (37)$$

$$x_D = 0,2 \cdot \frac{100}{1 \cdot 511,5} = 0,196 \text{ о.е.}$$

«Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1» [12].

«Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1» с учётом схемы цепи [12]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}, \quad (38)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,02)^2 + 0,02^2} = 0,073 \text{ о.е.}$$

«Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётной точке К1» [12]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_{\sigma}, \quad (39)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 1,57 = 6,98 \text{ кА.}$$

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 без учёта подпитки от АД» [12]:

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{w1}^2}, \quad (40)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59)^2 + 0,02^2} = 0,66 \text{ о.е.,}$$

$$I_{\kappa 2 \text{ БП}}^{(3)} = \frac{1}{0,66} \cdot 5,5 = 8,33 \text{ кА.}$$

«Начальное значение периодической составляющей трехфазного тока подпитки при КЗ от АД в точке К2» [12]:

$$I_D^{(3)} = \frac{E''}{Z'_{\Sigma k2}} \cdot I_{\sigma}, \quad (41)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(X_{w5} + X_D)^2 + R_{w5}^2}}, \quad (42)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(0,01 + 0,196)^2 + 0,08^2}} = 4,76 \text{ о.е.,}$$

$$I_D^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2» [12]:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = I_{\kappa 2 \text{БП}}^{(3)} + I_D^{(3)}, \text{ кА,}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = 8,33 + 1,04 = 9,37 \text{ кА.}$$

Аналогично проводится расчёт результирующего сопротивления и трёхфазных токов КЗ в остальных точках схемы с учётом расположения отдельных элементов с схеме при определённом их соединении:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w2})^2 + (R_{w1} + R_{w2})^2}, \quad (43)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,02)^2 + (0,02 + 0,17)^2} = 0,71 \text{ о.е.,}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,71} \cdot 5,5 = 7,75 \text{ кА,}$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}, \quad (44)$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,016)^2 + (0,02 + 0,11)^2} = 0,69 \text{ о.е.,}$$

$$I_{\kappa 4}^{(3)} = \frac{1}{0,69} \cdot 5,5 = 7,97 \text{ кА,}$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w4})^2 + (R_{w1} + R_{w4})^2}, \quad (45)$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,04)^2 + (0,02 + 0,28)^2} = 0,76 \text{ о.е.,}$$

$$I_{\kappa 5}^{(3)} = \frac{1}{0,76} \cdot 5,5 = 7,24 \text{ кА.}$$

В расчётной точке К6 необходимо учесть подпитку от высоковольтных АД, находящихся в последовательном соединении с линией [12]:

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w5} + X_D)^2 + (R_{w1} + R_{w5})^2}, \quad (46)$$

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,01 + 0,196)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,87 \text{ о.е.},$$

$$I_{к6БП}^{(3)} = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,32 \text{ кА},$$

$$I_D^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА}.$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в расчётной точке К6» [12]:

$$I_{к6}^{(3)} = I_{к6БП}^{(3)} + I_D^{(3)}, \text{ кА},$$

$$I_{к6}^{(3)} = 6,32 + 1,04 = 7,36 \text{ кА}.$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [9]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{к}^{(3)}, \quad (47)$$

где  $K_{y\partial}$  – «значение ударного коэффициента» [7].

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К1» [12]:

$$I_{y\partial.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА}.$$

Остальные значения ударного тока для всех остальных точек КЗ схемы получены аналогично и приведены в таблице 7.

«Ток двухфазного короткого замыкания» [12]:

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)}. \quad (48)$$

«В расчётной точке К1» [12]:

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА.}$$

Остальные значения двухфазного тока для всех остальных точек КЗ схемы получены аналогично и приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчётов токов КЗ

Точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{\kappa}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{\text{уд}}, \text{кА}$
К1	6,98	6,04	15,71
К2	9,37	8,11	18,55
К3	7,75	6,71	15,02
К4	7,97	6,90	15,44
К5	7,24	6,27	14,03
К6	7,36	6,37	14,26

Проверка оборудования должна быть проведена с учётом результатов, приведённых в таблице 7.

В связи с этим, далее в работе используются полученные результаты расчёта.

## 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Как было определено в работе ранее, одним из этапов предложенных мероприятий по реконструкции рассматриваемой в работе системы электроснабжения автозавода, является модернизация оборудования РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП объекта исследования.

Поэтому далее в работе проводится анализ и выбор современных технических решений по модернизации оборудования системы электроснабжения автозавода, с последующим выбором типов современных марок и типономиналов электрических аппаратов.

Современные технические решения по модернизации оборудования системы электроснабжения автозавода, включают применение нового современного оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования;
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем;
- стабильное отключение больших токов;
- применение современных способов гашения электрической дуги;
- повышенная электробезопасность;
- экологическая безопасность;
- пожаробезопасность;
- взрывобезопасность;
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт;
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений;
- возможность дальнейшей модернизации;
- безотказность;
- быстроедействие;
- возможность расширения и ввода новых устройств.

Исходя из данных критериев, в результате проведения анализа разработок и типов инновационного оборудования установлено, что для применения в системе электроснабжения автозавода, рекомендовано использовать следующие современные типы оборудования:

- выключатели высокого напряжения – вакуумный, электромагнитный, элегазовый;
- разъединители – современные модификации разъединителей горизонтально-поворотного и вертикально-поворотного типа;

– ограничители перенапряжения современных марок и типов.

Выбор конкретных марок данных аппаратов для их непосредственной установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ главной понизительной подстанции 35/10 кВ «системы электроснабжения автозавода проводится в работе далее при выборе и проверке электрических аппаратов» [12].

На основании обзора современных типов оборудования, проведён предварительный выбор марок (типономиналов) электрических аппаратов, которые рекомендуется установить в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ автозавода вместо устаревшего оборудования (таблица 8).

Таблица 8 – Предварительный выбор марок (типономиналов) электрических аппаратов, которые рекомендуется установить в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода

Тип аппарата	Марка (типономинал) аппарата	Производитель
ОРУ-35 кВ		
Выключатель высокого напряжения	ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1	ООО «НТЭАЗ Электрик»
Разъединитель	РДЗ – 35/1000 У1	ТМ «Энергия»
Ограничитель перенапряжения	ОПН –35 УХЛ1	ООО «Разряд»
Трансформатор тока	ТГФМ-35-У3	ООО «Екатеринбург Энерго»
РУ-10 кВ		
Выключатель высокого напряжения	ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48	ООО «Таврида Электрик»
Ограничитель перенапряжения	ОПНп-10	ООО «Разряд»

Трансформаторы тока ТПК-10-У3, трансформаторы напряжения марки НТМИ-10-66, а также предохранители ПКН-10, не нуждаются в замене, так как их техническое состояние удовлетворительное, поэтому в работе они проверяются на соответствие установки параметрам сети.

Далее в работе, на основании расчётов, необходимо проверить предварительно выбранное оборудование для установки РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода, а также проверить «остальные электрические аппараты» [12]. Выбираются аппараты без

встроенных устройств РЗА (релейной защиты и автоматики), а также сигнализации и управления.

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

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (49)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (50)$$

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

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (51)$$

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

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (52)$$

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]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}, \quad (53)$$

$$i_y \leq i_{дин}. \quad (54)$$

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

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (55)$$

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

Результаты выбора и проверки аппаратов для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора аппаратов 35 кВ и 10 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Аппараты напряжением 35 кВ			
Выключатель ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1600$ А	$I_{р.ав} = 172,4$ А
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 40$ кА	$I_{п.о.}^{(3)} = 6,98$ кА
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 22,6$ кА	$i_{ат}^{(3)} = 6,98$ кА
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52$ кА	$i_{уд} = 15,71$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_k = 9,26$ кА <sup>2</sup> ·с
Разъединитель РДЗ – 35/1000 У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 600$ А	$I_{р.ав} = 172,4$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100$ кА	$i_{уд} = 15,71$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 0,3 = 4800$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_k = 9,26$ кА <sup>2</sup> ·с
Ограничитель перенапряжения ОПН-35 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
Трансформатор тока ТГФМ-35-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35$ кВ	$U_{сети} = 35$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1600$ А	$I_{р.ав} = 172,4$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52$ кА	$i_{уд} = 15,71$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_k = 9,26$ кА <sup>2</sup> ·с
Аппараты напряжением 10 кВ			
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1000$ А	$I_{р.ав} = 809,2$ А
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 20$ кА	$I_{п.о.}^{(3)} = 9,37$ кА
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 20$ кА	$i_{ат}^{(3)} = 9,37$ кА
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80$ кА	$i_{уд} = 18,55$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 0,3 = 297,8$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_k = 15,9$ кА <sup>2</sup> ·с
Трансформатор тока ТПК-10-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1000$ А	$I_{р.ав} = 809,2$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80$ кА	$i_{уд} = 18,55$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 50^2 \cdot 1 = 2500$ кА <sup>2</sup> ·с	$B_k = 15,9$ кА <sup>2</sup> ·с
Ограничитель перенапряжения ОПН-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
ТН марки НТМИ-10-66	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ
Предохранитель ПКН-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 10$ кВ

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.

Следовательно, установлено, что в результате проведения проверочных расчётов по выбору электрических аппаратов для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения автозавода с целью её модернизации, показано, что все выбранные аппараты отвечают условиям всех требуемых проверок.

Модернизация системы электроснабжения автозавода в работе осуществлена с применением перспективных технических решений и современных расчётных методик. Внедрение принятых решений по модернизации оборудования подстанции повысит показатели энергоэффективности и является одной из ключевых тенденций управления развитием системы электроснабжения. Разработанные и внедрённые мероприятия по модернизации оборудования позволят значительно повысить надёжность схемы электрических соединений системы электроснабжения автозавода и потребителей предприятия в целом.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по реконструкции электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые практические мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений и модернизации оборудования РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода.

Внесены изменения в исходную схему электроснабжения автозавода, предусматривающие реконструкцию ОРУ-35 кВ ГПП путём установки ремонтной перемычки, реконструкцию схемы РУ-10 кВ с изменением параллельного режима работы на отдельный, а также ввода дополнительных ячеек «Резерв», на которые присоединяются кабельные вводы вторых силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей ГПП системы электроснабжения объекта исследования в целом с учётом реконструкции схемы электрических соединений;
- выбор силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ с учётом предложенных мероприятий по реконструкции в РУ-35 кВ системы электроснабжения автозавода;
- выбор и проверка проводников системы электроснабжения автозавода;
- определение токов короткого замыкания в сетях напряжением 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения автозавода;
- выбор новых электрических аппаратов и проверка электрических аппаратов, не требующих замены: в ОРУ-35 кВ: выключатель высокого напряжения ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1 (изготовитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), разъединители РДЗ – 35/1000 У1 (ТМ «Энергия»), ограничители перенапряжения ОПН-35 УХЛ1 (ООО «Разряд»), трансформатор тока ТГФМ-35-У3 (ООО «Екатеринбург Энерго»), в РУ-10 кВ: выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48 (ООО «Таврида Электрик»), ограничитель перенапряжения ОПНп-10 (ООО «Разряд»).

Расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения автозавода позволяют значительно повысить надёжность, экономичность и безопасность схемы электрических соединений объекта проектирования в целом.

С точки зрения эксплуатационной и ремонтной составляющих, внедрение практических мероприятий по реконструкции объекта проектирования, позволит значительно снизить сопутствующие затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

### **3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда**

Обеспечение безопасности персонала при выполнении работ в системе внешнего электроснабжения автомобильного завода является приоритетной задачей, решать которую должны как руководители высшего звена (директор и его заместители, а также главные инженер, энергетик и механик), так и руководители среднего звена, к которым относятся начальники и мастера смен и участков [9].

В силу различных обстоятельств и производственных факторов, при эксплуатации и ремонте оборудования ГПП системы внешнего электроснабжения автомобильного завода, существуют следующие виды опасностей:

- производственные опасности, которые заключаются в нарушении режима и технологии производства, а также установленных правил по технике безопасности. Такие виды опасности приводят к различным видам производственных травм вплоть до летального исхода;
- опасность поражения электрическим током – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий, позволяющих обезопасить обслуживающий персонал от поражения электрическим током в электроустановках;
- пожарная опасность – заключается в соблюдении профилактических, организационных и технических мероприятий по недопущению возгорания материалов, зданий и сооружений;
- экологическая опасность – состоит в недопущении или устранении вредного и опасного воздействия на окружающую среду.

Охрана труда является приоритетным направлением на любом производстве.

Поэтому на объекте исследования вопросам по охране труда уделяется особое внимание.

Выполнение поставленных задач необходимо строго регламентировать с нарядами и распоряжениями, в которых прописываются основные мероприятия при выполнении работ на объекте.

Известно, что все мероприятия по охране труда при работе на электрооборудовании делятся на организационные и технические.

Известно, что мероприятия, которые должны проводиться для обеспечения безопасности персонала при выполнении работ на ГПП системы внешнего электроснабжения автомобильного завода, сводятся к организационным и техническим.

Организационные показывают, насколько хорошо налажена организация выполнения работ на объекте и предусматривает проведение инструктажей, выдачу нарядов и распоряжений, а также контроль за проведением работ.

Мероприятия по всем видам опасностей, перечисленных выше, имеют цель не допустить появления этих опасностей, а в случае их возникновения – быстро ликвидировать их очаг (очаги).

Организационные мероприятия предусматривают проведение инструктажей по технике безопасности (вводного, на рабочем месте и специальных), назначение и распределение должностных обязанностей и лиц, ответственных за безопасность проведения работ в электроустановках, выполнение оперативного надзора и организацию охраны труда на предприятиях, составление и внедрение должностных инструкций и документов по безопасности проведения работ, ответственность за нарушения и поощрения в случаях выполнения указаний.

Технические мероприятия нужны для того, чтобы предотвратить техническое поражение током обслуживающего персонала.

К ним относятся мероприятия по проверке отсутствия напряжения, оперативные переключения, вывод оборудования в ремонт, вывешивание плакатов, установка ограждений и многие другие.

Технические мероприятия по безопасному выполнению работ предусматривают множество соответствующих мероприятий, целью которых является совершенствование и предупреждение аварийных ситуаций техническим путём.

К техническим мероприятиям относятся: заземление всех металлических конструкций электроустановок, электрических машин, воздушных и кабельных линий, установка переносного контура заземления при непосредственном выполнении работ, вывешивание предупреждающих плакатов по технике безопасности, оперативные переключения в электроустановках, ограждение рабочего места и прочие мероприятия, направленные на техническое ограничение аварийных ситуаций в электроустановках.

Известно, что все инструменты, которые используются при выполнении электромонтажных работ и работ по ремонту и обслуживанию электрооборудования ГПП объекта, должны быть поверены в электротехнической лаборатории.

Просроченные инструменты и оборудование категорически не допускается к применению обслуживающим персоналом системы внешнего электроснабжения автомобильного завода.

Перед началом работ обязательно должен быть проведён первичный инструктаж, а при непосредственном начале работ – инструктаж на рабочем месте. Инструктажи проводятся старшими инженерами (начальниками) служб и подразделений с обязательной фиксацией в журнале инструктажей. Лица, которые не прошли инструктаж, к работе не допускаются.

Все электроустановки системы внешнего и внутреннего электроснабжения автомобильного завода должны быть оборудованы средствами обеспечения защиты персонала [9].

К таким средствам относятся:

- устройства релейной защиты (особенно, защита от коротких замыканий на землю);
- защитная автоматика;
- защитная сигнализация;
- телемеханика и видеонаблюдение;
- защитное заземление (включая переносное);
- защитное зануление (в сети 0,38/0,22 кВ);
- защитное отключение (на коммутационных аппаратах);
- система блокировок различных уровней и видов.

Все перечисленные мероприятия должны применяться для обеспечения безопасности обслуживающего персонала в системе внешнего электроснабжения автомобильного завода.

Также при работах в электроустановках обязательно следует проверять целостность и срок испытаний диэлектрической защиты, к которой относятся коврики, подставки, прокладки, очки, штанги и многие другие приспособления для безопасного проведения работ.

Также были изучены должностные инструкции электротехнического персонала на предприятии.

Известно, что электрики выполняют широкий спектр задач, включая чтение технических чертежей электрических систем, использование различных типов ручных и электроинструментов, таких как трубогибы, инструменты для зачистки проводов и вольтметры, а также поиск и устранение неисправностей, чтобы обеспечить идеальную работу всех компонентов электрической системы.

Обязанности электрика на предприятии с учётом норм документов по охране труда:

- установка, техническое обслуживание и ремонт электрооборудования, электропроводки и систем освещения;
- чтение технические схемы и чертежи;

- выполнение общего технического обслуживания электрооборудования;
- осмотр: трансформаторы, автоматические выключатели и другие электрические компоненты;
- устранение неполадок с электричеством с помощью соответствующих тестовых устройств;
- ремонт и замена оборудования, электропроводки или светильников;
- соблюдение: государственные и местные строительные нормы и правила национального электротехнического кодекса;
- ремонт автоматического выключателя;
- хорошее знание систем отопления и кондиционирования;
- хорошее знание различного контрольно-измерительного оборудования.

Хорошее знание своих обязанностей в совокупности со строгим соблюдением нормативов по охране труда приносит ощутимый результат и способно сохранить здоровье и жизнь персоналу.

Также на объекте практики необходимо внедрять мероприятия по экологии и предотвращению аварийных ситуаций.

«Анализ воздействия объекта на окружающую среду заключается в проявлении следующих факторов» [20]:

- «возможность утечки масла в грунт из силовых трансформаторов подстанции» [20];
- «возможное попадание на объект животных и их поражение электрическим током и дугой» [20];
- «загрязнение грунта отходами тяжёлых металлов при технологическом процессе на объекте» [20];
- «загрязнение воздуха выбросами производственной деятельности объекта» [20];
- «утечка в грунт септиков и стоков в результате непроизводственной деятельности на объекте» [20].

«Аварийные ситуации на объекте могут возникнуть в таких случаях» [20]:

- «повреждение изоляции оборудования и сетей» [20];
- «несрабатывание либо позднее срабатывание устройств релейной защиты» [20];
- «грубое нарушение установленных правил и норм технологического процесса» [20];
- «неправильные оперативные переключения в цепях электроустановок и сетей объекта» [20];
- «ввод в эксплуатацию просроченного и непроверенного оборудования и сетей» [20];
- «использование технологического оборудования и сетей не по назначению» [20];
- «нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности на объекте» [20];
- «прочие производственные и непроизводственные факторы» [20].

Значит, все перечисленные требования необходимо выполнять на объекте исследования.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности, пожарной безопасности при выполнении работ на электрооборудовании, а также мероприятий по охране природы и экологии в электрических сетях системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода.

«Путём проведения анализа, установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности» [14].

## Заключение

В результате выполнения работы проведена реконструкция системы электроснабжения автозавода НП «Центр Освоения Арктики», осуществляемая с целью повышения энергетических и экономических показателей на объекте.

На основе указанных требований, с учётом проведённого анализа и систематизации проблемных узлов и вопросов, требующих решений, в системе электроснабжения автозавода предлагается внедрить следующие практические мероприятия по реконструкции:

- в результате проведения анализа исходных данных установлено, что для питания каждой «цеховой ТП-10/0,4 кВ от шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП используется однолучевая радиальная» [15] схема без резервирования, то есть каждая двухтрансформаторная ТП-10/0,4 кВ питается только одним кабелем 10 кВ. Данный аспект является недопустимым согласно требованиям ПУЭ [14], так как среди потребителей объекта есть приёмники первой и второй категории надёжности, которые требуют двух источников питания. В связи с этим, предполагается каждый силовой трансформатор цеховых ТП-10/0,4 кВ запитать от разных шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП. Следовательно, в реконструированной схеме системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода применяется рекомендованная двухлучевая радиальная схема с резервированием на стороне 10 кВ с соответствующим уровнем резервирования (АВР) и секционирования (СШ) схемы [14]. При этом новые кабели к силовым трансформаторам напряжением 10 кВ планируется подключить к незанятым ячейкам «Резерв» секций сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП: на первой секции сборных шин 10 кВ три ячейки не находятся в работе – отключены (резерв), на второй секции

сборных шин 10 кВ четыре ячейки не находятся в работе – отключены (резерв). Эти ячейки используются в реконструированной схеме электрических соединений для подключения кабелей 10 кВ с целью питания силовых трансформаторов двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ. Исходя из этого, в работе необходимо проверить нагрузочную способность всей системы электроснабжения автозавода с учётом внесённых изменений;

– как было указано при проведении анализа системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода, в ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП установлены устаревшие электрические аппараты. Исходя из этого, предлагается и внедряется модернизация устаревших электрических аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода, которая реализуется путём замены их на современные модели и марки, отличающиеся улучшенными техническими и экономическими характеристиками, что позволит значительно повысить показатели надёжности, электробезопасности и экономичности на объекте, а также во всей системе электроснабжения автозавода в целом. При этом значительно снизятся сопутствующие затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

Таким образом, установлено, что реконструкция системы электроснабжения объекта проектирования, сводится к практическому внедрению двух аспектов: модернизации аппаратуры РУ на ГПП, а также внесения изменений в схему электрических соединений.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач, решённых по следующему плану (с приведением полученных результатов):

- расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей ГПП системы электроснабжения объекта исследования в целом, с учётом реконструкции схемы электрических соединений;
- выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ (трансформатор ТМН-10000/35) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (трансформаторы марки ТМ разных типонаминалов) с учётом предложенных мероприятий по реконструкции в РУ-35 кВ системы электроснабжения автозавода;
- выбор и проверка проводников питающей воздушной линии (провод марки АС-70/11) и отходящих кабельных линий (кабели марки АСБ-10 разных сечений) системы электроснабжения автозавода;
- определение токов короткого замыкания в сетях напряжением 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения автозавода;
- выбор новых электрических аппаратов и проверка электрических аппаратов, не требующих замены, в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения автозавода. Выбраны и проверены следующие современные марки аппаратов: РУ-35 кВ: выключатель высокого напряжения ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1 (изготовитель – ООО «НТЭАЗ Электрик»), разъединители РДЗ – 35/1000 У1 (ТМ «Энергия»), ограничители перенапряжения ОПН-35 УХЛ1 (ООО «Разряд»), трансформатор тока ТГФМ-35-У3 (ООО «Екатеринбург Энерго»); РУ-10 кВ: выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48 (ООО «Таврида Электрик»), ограничитель перенапряжения ОПНп-10 (ООО «Разряд»);
- разработка мероприятий по технике безопасности, пожарной безопасности при выполнении работ на электрооборудовании, а также мероприятий по охране природы и экологии в электрических сетях системы электроснабжения производства ремонта механического оборудования автозавода.

Принятые решения по выбору и внедрению мероприятий по реконструкции системы электроснабжения автозавода основываются на результатах сравнительного анализа перспективных разработок новейшего современного оборудования, инновационных схемных решений, нормативно-правовых документах, современных типовых проектах в данной отрасли.

В работе расчётным путём показано, что внедрённые практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения автозавода, с модернизацией оборудования распределительных устройств на ГПП-35/10 кВ, позволят значительно повысить надёжность, экономичность и безопасность схемы электрических соединений объекта исследования в целом.

С точки зрения эксплуатационной и ремонтной составляющих, внедрение практических мероприятий по реконструкции объекта проектирования, позволит значительно снизить сопутствующие затраты времени и финансовой составляющей на монтаж, обслуживание и ремонт данного оборудования.

## Список используемых источников

1. Будзко И.А., Зуль Н. М. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: Агропромиздат, 2018. 496 с.
2. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. М.: Колос, 2018. 263 с.
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
4. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
5. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 2018. 356 с.
6. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
7. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
9. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
10. Рогалев Н.Д. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М.: «МЭИ», 2019. 288 с.
11. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.
12. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
13. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт

электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

15. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 258 с.

16. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина. М.: Энергоатомиздат, 2019. 576 с.

17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 03.09.2022).

18. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. М.: Лань, 2018. 480 с.

20. Шкрабак В.С., Луковников А.В., Тургиев А.К. Безопасность жизнедеятельности на производстве. М.: Колос, 2019. 360 с.