

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 Электроснабжение ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ»

Обучающийся

М. С. Парамонов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., проф. П. А. Николаев

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

Тольятти 2024

Аннотация

В работе выполнено проектирование системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти. Основное внимание уделено обеспечению надёжного, качественного и экономически эффективного электроснабжения, соответствующего современным требованиям. В рамках работы проведён подробный анализ исходных данных, который включал изучение технологического процесса новой ремонтной автобазы и рассмотрение основных нормативных документов, регулирующих проектирование систем электроснабжения промышленных объектов. На основе данного анализа, сформулированы технические и технологические условия, необходимые для эффективного проектирования.

Осуществлён выбор основных технических решений в электрической части новой ремонтной автобазы, включая силовые трансформаторы питающей главной понизительной подстанции и цеховых трансформаторных подстанций. Уделено особое внимание выбору оптимальных мощностей силовых трансформаторов, обеспечивающих минимальные потери и высокую энергоэффективность системы.

Произведён также выбор и проверка электрических аппаратов, включая коммутационное оборудование, которое должно обеспечивать безопасную и стабильную работу системы. Расчёт сечения электрических сетей всех классов напряжения выполнялся с учётом пропускной способности, требований по безопасности и надёжности эксплуатации.

Анализ токов короткого замыкания и выбор соответствующих устройств релейной защиты позволили обеспечить надлежащую защиту системы и предотвратить возможные аварийные ситуации. Кроме того, выполнены выбор устройств релейной защиты, направленной на обеспечение максимальной селективности и быстрого реагирования на возможные повреждения. Работа представлена расчётно-пояснительной запиской, оформленной в приложении Microsoft Word, объёмом 65 страниц.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая часть	8
1.1 Характеристика технологического процесса и объектов новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти	8
1.2 Основные требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий	12
2 Проектирование системы электроснабжения ремонтной автобазы	17
2.1 Выбор рациональной схемы электроснабжения.....	17
2.2 Расчёт электрических нагрузок	21
2.3 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	26
2.4 Выбор и проверка проводников	29
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	35
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов для установки на питающем РП-10 кВ.....	42
3 Выбор устройств вторичных цепей коммутации.....	50
3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики.....	50
3.2 Расчёт уставок релейной защиты линий.....	54
3.3 Выбор автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией	56
Заключение	60
Список используемых источников.....	64

Введение

Перспективы развития автомобилестроения в Российской Федерации определяются несколькими ключевыми факторами.

Во-первых, глобализация автомобильной отрасли и увеличение конкуренции способствуют интеграции российских предприятий в мировую экономику. Данный аспект может привести к активизации технологического обмена, привлечению иностранных инвестиций и расширению рынков сбыта для российских автопроизводителей.

Во-вторых, экологические инициативы и мировые тренды в области снижения выбросов углекислого газа могут стимулировать разработку и производство электромобилей и гибридных автомобилей на территории России. В связи с этим возрастает значимость научных исследований в области новых источников энергии, батарейного хранения и технологий быстрой зарядки.

В-третьих, санкционная политика должна мотивировать на поиск и внедрение собственных технических и научных разработок, способных создать достойную конкуренцию зарубежным производителям автомобильной техники.

Также в перспективе следует учесть изменение потребительских предпочтений и транспортных потребностей. В последние годы население многих крупных городов Российской Федерации в большей степени ориентируется на услуги краткосрочной аренды транспортных средств, что может стать стимулом для разработки новых моделей автомобилей, адаптированных под условия каршеринга, а также новых бизнес-моделей в автомобильной отрасли. Таким образом, российская автомобильная промышленность стоит перед рядом вызовов и возможностей, которые могут определить ее будущее развитие в контексте мировых тенденций и изменяющихся экономических и политических условий. В связи с расширением производства вследствие увеличения внутреннего спроса и

продаж на автомобильном рынке Российской Федерации, а также с целью улучшения процесса ремонта автомобильной техники, возникла острая необходимость в сооружении и внедрении в эксплуатацию новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

Основной целью работы является проектирование системы электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти. Установлено, что проектирование такой системы электроснабжения представляет собой сложную инженерную задачу, требующую учёта специфики технологического процесса и особенностей объектов предприятия. При этом установлено, что объект проектирования оснащён современным оборудованием и высокотехнологичными системами обслуживания автомобильной техники, что обуславливает высокие требования к качеству и надёжности электроснабжения.

Актуальность проектирования системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти обусловлена необходимостью обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения современного промышленного предприятия. Рост требований к качеству и непрерывности электроснабжения, вызванный внедрением высокотехнологичного оборудования и автоматизированных систем, диктует потребность в разработке оптимальных инженерных решений в области энергетической инфраструктуры. Создание эффективной системы электроснабжения способствует повышению производительности, снижению эксплуатационных затрат и обеспечивает устойчивость технологических процессов.

Объектом исследования является система электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ».

Предметом исследования выступают технические и организационные аспекты проектирования данной системы, включая выбор схемных решений, расчёт электрических нагрузок, выбор оборудования и устройств релейной защиты.

Методы исследования основаны на теоретическом анализе нормативно-технической документации, математических расчётах электрических параметров, а также использовании современных программных средств для моделирования и оптимизации электрических сетей. Применение данных методов позволяет обеспечить точность и надёжность проектных решений, соответствующих современным стандартам и требованиям энергетической отрасли.

При разработке системы электроснабжения учитываются основные требования, предъявляемые к промышленным предприятиям, такие как обеспечение непрерывности электроснабжения, соответствие нормативным документам, энергоэффективность и безопасность эксплуатации.

Особое внимание уделяется выбору рациональной схемы электроснабжения, которая оптимизирует распределение электрической энергии и снижает потери в сети. Расчёт электрических нагрузок выполняется с учётом технологических процессов ремонтной автобазы, прогнозируемых максимальных и средних значений потребления электроэнергии. Наличие данного аспекта позволяет определить необходимую мощность трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций, обеспечить их надёжную работу и предотвратить возможные перегрузки.

При выборе трансформаторов проводится их проверка на соответствие техническим параметрам и условиям эксплуатации.

Выбор проводников осуществляется на основе расчёта токовых нагрузок и требований по безопасности. Проводники проверяются на термическую и электродинамическую стойкость при возможных коротких замыканиях, что обеспечивает надёжность и долговечность работы электрической сети. Расчёт токов короткого замыкания является важным этапом, позволяющим подобрать соответствующие защитные устройства и настроить систему релейной защиты.

Для установки на питающем распределительном пункте напряжением 10 кВ выбираются и проверяются электрические аппараты, соответствующие

требованиям по коммутационной способности, надёжности и безопасности. Выбор аппаратов основан на результатах расчётов и анализе рабочих режимов сети, что гарантирует стабильную и эффективную работу системы электроснабжения.

Важным аспектом проектирования является выбор устройств вторичных цепей коммутации. Определяются основные типы релейной защиты и автоматики, которые обеспечат своевременное обнаружение и отключение повреждённых участков сети. Расчёт уставок релейной защиты линий производится с целью обеспечения селективности и надёжности работы системы. Наличие надёжной релейной защиты предотвращает распространение аварий и минимизирует время восстановления электроснабжения.

Для повышения эффективности управления электроэнергией внедряется автоматизированная система контроля и управления. Такая система позволяет осуществлять мониторинг параметров сети в режиме реального времени, анализировать потребление электроэнергии и оптимизировать работу оборудования. Данный аспект способствует снижению эксплуатационных затрат и повышению энергоэффективности предприятия.

Таким образом, проектирование системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» направлено на создание надёжной и эффективной энергетической инфраструктуры, обеспечивающей бесперебойную работу технологических процессов.

Комплексный подход к выбору оборудования, расчёту нагрузок и настройке защитных устройств обеспечивает соответствие системы современным требованиям и стандартам, что способствует успешному функционированию предприятия и его развитию.

1 Общая часть

1.1 Характеристика технологического процесса и объектов новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти

В связи с расширением производства вследствие увеличения внутреннего спроса и продаж на автомобильном рынке Российской Федерации, а также с целью улучшения процесса ремонта автомобильной техники, возникла острая необходимость в сооружении и внедрении в эксплуатацию новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

На данной новой ремонтной автобазе АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти планируется внедрить современный цикл ремонта автомобильной техники, используя современные конвейеры, схемы и прочие механизмы.

Таким образом, проектируемая автобаза АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти будет включать мощную производственную базу, «необходимую для обеспечения производственного цикла.

Проектируемая ремонтная автобаза представляет собой совокупность стационарного оборудования, расположенного в помещениях и предназначенного для технического обслуживания, ремонта» [8] и восстановления автомобилей и другой техники производства АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

Основное назначение ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти заключается в проведении комплексного вида работ по следующим основным направлениям:

- техническое обслуживание автомобильной техники – профилактические работы, направленные на поддержание техники в рабочем состоянии;
- ремонт автомобильной техники – устранение различных неисправностей, возникших в результате эксплуатации или аварийных ситуаций;

– диагностика автомобильной техники – выявление и определение причин поломок и неисправностей.

Для ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти предлагается внедрить современный процесс производственного цикла, который позволит значительно ускорить процесс ремонта, диагностики или обслуживания автомобильной техники, а также удешевить весь производственный цикл.

При данном подходе применяется как комплексная, так и индивидуальная методики, включающие применение индивидуального и агрегатного методов ремонта автомобильной техники.

Основной предлагаемый алгоритм производственного цикла для применения на новой ремонтной автобазе АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основной предлагаемый алгоритм производственного цикла для применения на новой ремонтной автобазе АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти

Проведённый анализ алгоритма производственного цикла для внедрения на рассматриваемом объекте показал, что в производственном процессе новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти ключевую роль играют три основных технологических комплекса.

Первым является технический комплекс ремонта автомобильной техники, где осуществляются восстановительные работы и замена изношенных узлов и агрегатов.

Второй представляет собой технический комплекс обслуживания автомобильной техники, обеспечивающий регулярное техническое обслуживание, профилактику и поддержание работоспособности транспортных средств.

Третий – технический комплекс диагностики автомобильной техники, специализирующийся на выявлении неисправностей и оценке технического состояния автомобилей с использованием современного диагностического оборудования.

Все указанные производственные комплексы характеризуются высокой степенью надёжности и относятся к первой категории, что соответствует строгим требованиям к качеству и безопасности выполняемых работ.

«К вспомогательным объектам относятся:

- административное здание;
- бойлерная;
- котельная;
- ремонтно-механический участок;
- торгово-выставочный комплекс;
- склад комплектующих;
- электроцех и служба главного энергетика;
- гараж и служба главного механика;
- склад» [6] запчастей;
- склад материалов.

Электрооборудование всех производственных и вспомогательных объектов работает на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Высоковольтных потребителей в проектируемой системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти не предусматривается.

Технические данные объектов новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти с учётом производственных и вспомогательных объектов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные объектов новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти с учётом производственных и вспомогательных объектов

Номер объекта на плане	Наименование объекта	Номинальное напряжение потребителей, кВ	P_m , кВт	Категория надёжности потребителей
1	Административное здание	0,38/0,22	140	3
2	Технический комплекс ремонта автомобильной техники	0,38/0,22	480	1
3	Технический комплекс обслуживания автомобильной техники	0,38/0,22	260	1
4	Бойлерная	0,38/0,22	180	2
5	Насосная	0,38/0,22	150	
6	Котельная	0,38/0,22	270	2
7	Ремонтно-механический участок	0,38/0,22	290	3
8	Компрессорная	0,38/0,22	210	
9	Торгово-выставочный комплекс	0,38/0,22	34	3
10	Склад комплектующих	0,38/0,22	17	3
11	Электроцех и служба главного энергетика	0,38/0,22	50	3
12	Технический комплекс диагностики автомобильной техники	0,38/0,22	1920	1
13	Гараж и служба главного механика	0,38/0,22	50	3
14	Склад запчастей	0,38/0,22	620	3
15	Склад материалов	0,38/0,22	110	3
Всего по ремонтной автобазе АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти		0,38/0,22	4781,0	1,2,3

В результате анализа алгоритма производственного цикла для применения на объекте исследования установлено, что основными технологическими цехами (единицами) в производственном цикле новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти являются три основных комплекса:

- технический комплекс ремонта автомобильной техники;
- технический комплекс обслуживания автомобильной техники;
- технический комплекс диагностики автомобильной техники.

Все перечисленные производственные комплексы по надёжности относятся к I категории.

Определено, что основное электрооборудование всех производственных и вспомогательных объектов работает на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Высоковольтных потребителей в проектируемой системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти не предусматривается.

1.2 Основные требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий

«Далее в работе, исходя из сравнительного результата проведённого анализа, представлены основные требования, которые должны быть применимы к системам электроснабжения промышленных предприятий:

- высокая надёжность и безотказность передачи электроэнергии: включает в себя обеспечение надёжного и гарантированного электроснабжения, при этом система электроснабжения должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечивать непрерывное питание важных производственных объектов и технологических процессов (исходя из категории надёжности и резервирования)» [11];

- «надёжная система резервирования: обеспечение условий аварийного электроснабжения важнейших объектов согласно их категории надёжности. Для потребителей 1 и 2 категории при этом необходимо применение двух независимых источников питания от энергосистемы. Помимо них, потребители особой группы надёжности требуют также наличие резервных источников питания (дизель-генераторы, батареи) для обеспечения электроэнергией в случае отключения основного и резервного источника энергосистемы» [8];
- «соблюдение требований по электробезопасности: применение соответствующих защитных устройств, маркировок и обучение персонала по правилам работы с электрооборудованием с последующей периодической проверкой знаний» [4];
- «рациональная и надёжная защита от перегрузок и коротких замыканий, а также от прочих ненормальных режимов: системы электроснабжения требуют применения современных средств защиты для предотвращения повреждения оборудования и минимизации времени простоя в случае аварийных ситуаций» [2];
- «оптимизация нагрузки: проектирование системы электроснабжения промышленных предприятий необходимо проводить с учетом эффективного распределения нагрузки с целью рационального распределения мощностей на объектах, а также минимизации потерь электроэнергии. Также требуется учёт распределения и балансировки нагрузки, так как равномерное распределение нагрузки между различными фазами и оборудованием приводит к значительному уменьшению аварий и минимизации искажений параметров электроэнергии в системе электроснабжения предприятия» [15];
- «использование энергосберегающего оборудования: применение оборудования с высокой энергоэффективностью для снижения потребления электроэнергии способно значительно снизить

энергопотребление и привести к значительной экономии ресурсов на всех уровнях производственного цикла» [18];

- «применение автоматического управления и мониторинга параметров электрической сети: применение систем автоматизации для контроля и управления работой системы электроснабжения может мгновенно локализовать аварии в системе, повысить точность учёта потребления электроэнергии с её мониторингом, а также снизить потери электроэнергии в сетях и оборудовании» [5];
- «внедрение параметров оборудования, обладающих гибкостью и масштабируемостью: данный аспект состоит в проектировании системы электроснабжения таким образом, чтобы она могла быть легко модернизирована или расширена в будущем. Включает применение современных решений по модульным подстанциям, элегазовому оборудованию и комплектным устройствам распределения электроэнергии» [19];
- «использование системы защиты персонала и оборудования от повреждений (заземление, экранирование, зануление, защитное отключение): такие системы должны быть организованы согласно нормативам для обеспечения безопасности персонала» [7].

«Также для систем электроснабжения промышленных предприятий требуется учесть особенности производства, проводя проектирование с учетом конкретных потребностей и характеристик предприятия, а также особенностей его технологического процесса.

Кроме того, данные требования могут варьироваться в зависимости от типа промышленности, категории надёжности предприятия, мощности потребителей электроснабжения, расположения объектов и других факторов» [7].

Важнейшими из них являются требования, предъявляемые к категории надёжности потребителей, представленные в виде блочной схемы на рисунке 2.

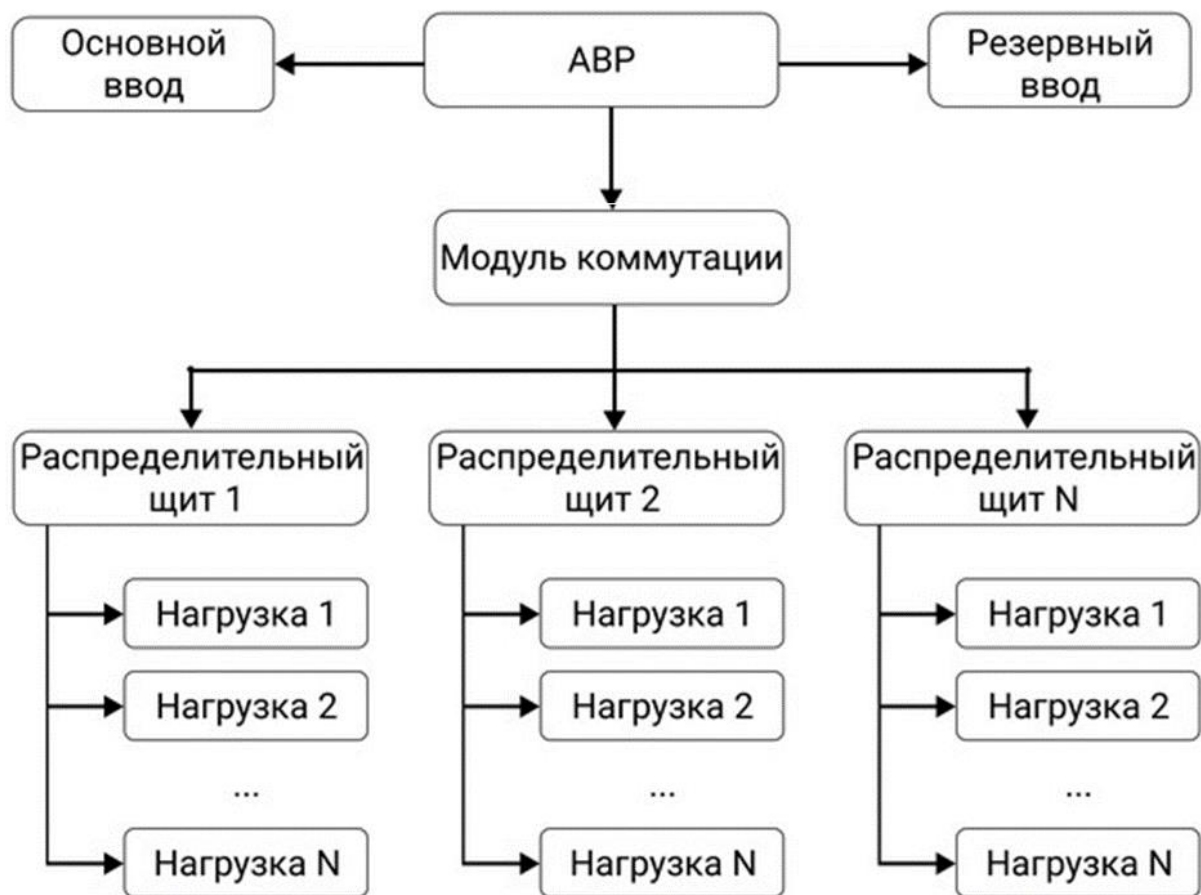


Рисунок 2 – Проектирование систем электроснабжения с учётом требований, предъявляемых к категории надёжности потребителей

Таким образом, система электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти после внедрения мероприятий по проектированию, должна соответствовать требованиям и другим принятым стандартам, основные из которых приведены в работе.

Выводы по разделу.

Установлено, что актуальность проектирования системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти обусловлена необходимостью обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения современного промышленного предприятия.

Рост требований к качеству и непрерывности электроснабжения, вызванный внедрением высокотехнологичного оборудования и автоматизированных систем, диктует потребность в разработке оптимальных инженерных решений в области энергетической инфраструктуры.

Создание эффективной системы электроснабжения способствует повышению производительности, снижению эксплуатационных затрат и обеспечивает устойчивость технологических процессов.

В результате анализа алгоритма производственного цикла для применения на объекте исследования установлено, что основными технологическими цехами (единицами) в производственном цикле новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти являются три основных комплекса:

- технический комплекс ремонта автомобильной техники;
- технический комплекс обслуживания автомобильной техники;
- технический комплекс диагностики автомобильной техники.

Все перечисленные производственные комплексы по надёжности относятся к I категории.

Определено, что основное электрооборудование всех производственных и вспомогательных объектов работает на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Высоковольтных потребителей в проектируемой системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти не предусматривается.

Установлено, что при разработке системы электроснабжения учитываются основные требования, предъявляемые к промышленным предприятиям, такие как обеспечение непрерывности электроснабжения, соответствие нормативным документам, энергоэффективность и безопасность эксплуатации.

2 Проектирование системы электроснабжения ремонтной автобазы

2.1 Выбор рациональной схемы электроснабжения

«При выборе схемы новой внешнего электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, крайне важно выбрать источник питания и величину номинального напряжения.

Так как большинство потребителей новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти относится к 1 и 2 категории надёжности, следовательно, они требуют резервирования в виде двух независимых линий от источников питания.

В качестве источника питания» [11] для системы внешнего электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, «предлагается выбрать распределительный пункт с напряжением 10 кВ (далее – РП-10 кВ), который будет получать питание от районной понизительной подстанции 110/35/10 кВ двумя кабельными линиями на номинальном напряжении 10 кВ» [11] (с учётом резервирования потребителей 1 и 2 категорий надёжности).

Для проверки величины внешнего номинального напряжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, «предлагается использовать известную формулу Стилла, дающей не более 10% суммарной погрешности» [8]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 16 \cdot P}, \quad (1)$$

«где L – длина питающей линии, км;

P - суммарная передаваемая мощность в сети, МВт» [12].

«Суммарная передаваемая мощность в сеть, которая необходима для полноценного питания проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, с учётом всех её объектов,

определена ранее» [11] и составляет 4781 кВт.

«По условию (1)» [1]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{6 + 16 \cdot 4,781} = 16,1 \text{ кВ.}$$

Следовательно, в проектируемой схеме внешней системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти могут быть приняты две питающие кабельные линии напряжением 10 кВ от районной понизительной подстанции 110/35/10 кВ.

Так как в системы электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти имеется три основных производственных комплекса, относящихся к 1 категории надёжности, с учётом их расположения и взаимного резервирования на шинах 10 кВ питающего РП-10 кВ, предлагается принять в работе три двухтрансформаторные подстанции, получающие питание от разных секций сборных шин 10 кВ.

Выбор трёх двухтрансформаторных подстанций, получающих питание от разных секций сборных шин 10 кВ питающего распределительного пункта РП-10 кВ для системы электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти, обусловлен необходимостью обеспечения высокой надёжности электроснабжения для потребителей первой категории. Три основных производственных комплекса, относящихся к первой категории надёжности, требуют бесперебойного электроснабжения, поскольку остановка их работы может привести к значительным экономическим потерям и нарушению технологического процесса.

Далее проводится аргументация принятых схемных решений на объекте проектирования.

Установлено, что принятое расположение производственных комплексов и их взаимное резервирование на шинах 10 кВ питающего РП-10 кВ позволяет реализовать схему электроснабжения с высокой степенью надёжности.

При этом использование двухтрансформаторных подстанций на объекте проектирования обеспечивает резервирование на уровне питающей сети как напряжением 10 кВ, так и напряжением 0,4 кВ, что позволяет при выходе из строя одного трансформатора продолжить питание нагрузки от второго (который остался в работе). Подключение подстанций к разным секциям сборных шин 10 кВ дополнительно повышает надёжность, поскольку при аварии на одной секции питание сохраняется за счёт другой.

Также выбор трёх распределительных подстанций 10/0,4 кВ на новом объекте позволяет разделить нагрузку между производственными комплексами и обеспечить оптимальное распределение мощности. Данный подход снижает нагрузку на каждый трансформатор, увеличивая их срок службы и повышая общую эффективность системы электроснабжения. Кроме того, такое решение упрощает организацию системы релейной защиты и автоматики, обеспечивая селективность и быстродействие в случае аварийных ситуаций.

Питание подстанций 10/0,4 кВ от разных секций сборных шин 10 кВ позволяет обеспечить независимость электроснабжения каждого производственного комплекса. В случае повреждения на одной из секций или линий, другие комплексы продолжают работать без перебоев. Такая схема соответствует требованиям нормативных документов по электроснабжению потребителей первой категории, предусматривающих наличие двух независимых источников питания.

Взаимное резервирование на шинах 10 кВ повышает устойчивость системы к внешним воздействиям и снижает риск полного отключения электроснабжения. Реализация такой схемы позволяет проводить плановые ремонтные работы и обслуживание оборудования без остановки производственных процессов, что является критически важным для предприятия.

Техническое исполнение двухтрансформаторных подстанций с подключением к разным секциям сборных шин 10 кВ обеспечивает гибкость

управления энергопотреблением и возможность расширения системы в будущем.

При дальнейшем увеличении нагрузок вследствие модернизации производственных комплексов, в такой схеме можно добавить дополнительные трансформаторы или линии без существенной перестройки существующей системы.

Следовательно, данная схема предполагает возможные условия расширения.

Экономическая эффективность данного решения проявляется в снижении вероятности аварий и связанных с ними финансовых потерь. Повышенная надёжность электроснабжения сокращает затраты на ремонт и обслуживание оборудования, а также уменьшает время простоя производственных линий.

Учитывая все перечисленные факторы окончательно установлено, что выбор трёх двухтрансформаторных подстанций, получающих питание от разных секций сборных шин 10 кВ, является оптимальным решением для обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ».

Такое решение соответствует современным требованиям энергетической отрасли и способствует стабильной работе предприятия.

Остальные объекты ремонтной автобазы предлагается подключить с учётом их расположения и величины нагрузки на шины низкого напряжения (0,4 кВ) данных трёх цеховых подстанций 10/0,4 кВ.

При питании кабельными линиями от секций сборных шин 0,4 кВ, все потребители будут иметь резервирование, таким образом отвечая основным требованиям и нормам [13].

Таким образом, основные схемные решения в проектируемой системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти представлены на структурной схеме, показанной на рисунке 3.

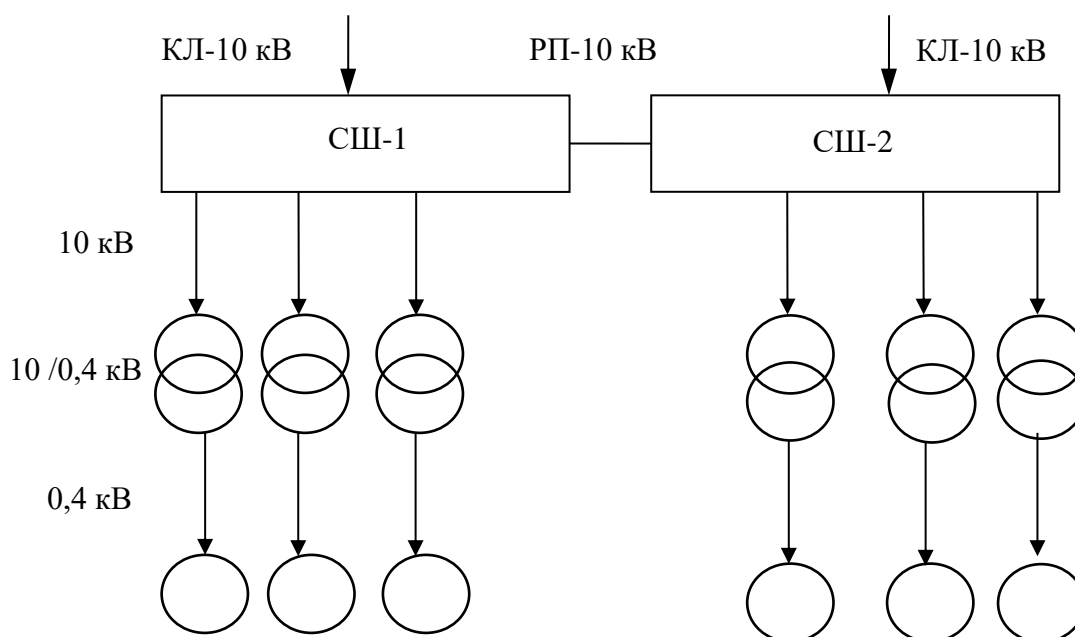


Рисунок 3 – Структурная схема проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти

«В результате проведения исследования по данному вопросу, на основании исходных технических условий на проектирование, выбрана наиболее рациональная схема системы электроснабжения» [11] новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

Установлено, что принятая схема обладает следующими достоинствами: надёжность, резервирование на всех звеньях цепи, экономичность, безопасность.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

«Задачи расчёта проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти включают следующие аспекты:

- сбор исходных данных о всех потребителях, получающих питание от проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, с целью определить их

энергопотребление, включая как текущее потребление, так и прогнозируемый рост нагрузок;

- определение характера нагрузок: на данном этапе проводится систематизация собранного материала. Известно, что электрические нагрузки могут быть различными по характеру: активными (потребление активной мощности), реактивными (потребление реактивной мощности) и комбинированными (смешанными). Известно также, что определение характера нагрузок важно для правильного расчёта;
- непосредственное определение максимальной мощности нагрузки проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти: с учётом текущих и будущих нагрузок, а также с учётом моментов пикового спроса, необходимо расчётным путём определить максимальную активную и реактивную мощность, которая может быть передана через систему электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти;
- проверочный расчёт допустимых перегрузок: известно, что электрическое оборудование и сети проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти могут работать в режиме перегрузки определённое время, но данный процесс должен быть ограничен и контролируем. В связи с этим, проверочный расчёт должен определить, насколько допустимы послеаварийные перегрузки (с учётом резервирования) и как долго они могут продолжаться» [8].

«Активная нагрузка объектов проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, кВт» [8]:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (2)$$

«где P_n – суммарная номинальная активная мощность нагрузки объекта ремонтной автобазы, кВт;

K_c – справочное значение коэффициента спроса» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка» [2]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

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

«В работе принимается нормируемое предельное значение коэффициента реактивной мощности системы электроснабжения, обеспечивающее передачу и приём электроэнергии без превышения компенсации реактивной мощности в энергосистеме. Таким образом, в работе принято значение $\operatorname{tg}\varphi = 0,4$ » [5].

«Расчетная полная нагрузка» [6]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (4)$$

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников» [1]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (5)$$

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса освещения;

$P_{n.o}$ – суммарная мощность приемников освещения» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (6)$$

где $P_{уд.o}$ – «нормируемая удельная мощность освещения, кВт/м²» [4];

F – «площадь, м²» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников» [1]:

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

«Предварительные потери мощности в трансформаторах питающей ПС-110/35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.н}, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.н}, \text{ квар}. \quad (9)$$

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.Σ}, \text{ квар}. \quad (11)$$

«Расчёт электрических нагрузок проводится на примере технического комплекса ремонта автомобильной техники (объект 1 категории надёжности) системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [8]:

$$P_p. = 480 \cdot 0,4 = 192 \text{ кВт}.$$

$$Q_p. = 192 \cdot 1,17 = 224,64 \text{ квар}.$$

$$S_{p.} = \sqrt{(192 + 224,64)^2} = 295,51 \text{ кВА}.$$

«По полученным значениям нагрузки, далее в работе будут выбраны защитные аппараты и сечения кабельных линий, а также уставки РЗиА.

Результаты расчёта электрических нагрузок представлены» [16] в таблице 2.

Таблица 2 – «Результаты расчёта электрических нагрузок» [16]

Наименование цеха	$P_{p.н}$ кВт	$P_{p.о}$ кВт	$Q_{p.н}$ квар	$Q_{p.о}$ квар	P_p кВт	Q_p квар	S_p кВА	ΔP_m кВт	ΔQ_m квар
Административное здание	49	3,79	65,17	1,63	52,79	66,80	85,14	1,70	8,51
Технический комплекс ремонта автомобильной техники	192	7,58	224,64	3,27	199,58	227,91	302,94	3,99	19,96
Технический комплекс обслуживания автомобильной техники	104	17,96	121,68	7,74	121,96	129,42	177,83	3,56	17,78
Бойлерная	117	28,73	136,89	12,38	145,73	149,27	208,61	4,17	20,86
Насосная	120	2,84	90,00	1,23	122,84	91,23	153,01	3,06	15,30
Котельная	175,5	1,80	205,34	0,77	177,30	206,11	271,87	5,44	27,19
Ремонтно-механический участок	232	2,15	174,00	0,93	234,15	174,93	292,28	4,68	23,42
Компрессорная	136,5	1,92	159,71	0,83	138,42	160,53	211,96	4,24	21,20
Торгово-выставочный комплекс	27,2	4,26	20,40	1,84	31,46	22,24	38,53	0,77	3,85
Склад комплектующих	11,05	4,49	12,93	1,94	15,54	14,86	21,50	0,43	2,15
Электrocех и служба главного энергетика	40	2,15	30,00	0,93	42,15	30,93	52,28	0,84	4,22
Технический комплекс диагностики автомобильной техники	1248	14,96	1460,16	6,45	1262,96	1466,61	1935,46	38,71	193,55
Гараж и служба главного механика	40	4,99	30,00	2,15	44,99	32,15	55,29	1,11	5,53
Склад готовой продукции	403	4,49	471,51	1,94	407,49	473,45	624,66	12,49	62,47
Склад материалов	88	1,80	66,00	0,77	89,80	66,77	111,90	1,80	8,98
Наружное освещение	-	239,4	-	103,2	239,4	103,2	260,7	5,21	26,07
Всего (без учёта потерь)	2983,2	343,30	3268,42	147,99	3326,55	3416,4	4803,9	92,21	461,03
Потери в трансформаторах	-	-	-	-	158,74	1144,3	1174,9	23,1	115,53
Итого по ремонтной автобазе	-	-	-	-	3485,2	2272,1	4160,5	-	-

Полученные результаты используются в работе далее.

2.3 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

«Установлено, что в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти имеется 15 объектов, а также присутствуют потребители всех категорий надёжности (1,2 и 3), поэтому подтверждён аргумент, что все цеховые ТП-10/0,4 кВ должны быть двухтрансформаторными и размещаться на объектах 1 категории надёжности с наибольшей нагрузкой.

Таким образом, схема электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти будет надёжной и экономичной» [11].

«Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (12)$$

«Где $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА;

$\sum P_{\text{р.}}$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт;

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

«Расчёт мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [8]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{919,49}{2 \cdot 0,7} = 656,78 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, предварительно приняты два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10» [12].

Проверка выбранных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ по условиям допустимой нормативной загрузки и аварийной перегрузки проводится по следующим условиям (соответственно, в нормальном и послеаварийном режимах), с учётом питания потребителей 1 категории надёжности [13]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot \Sigma S_{р.}}{S_{ном.т}} \geq K_{з.факт} = 0,8, \quad (13)$$

$$K_{з.н} = \frac{\Sigma S_{р.}}{S_{ном.т}} \geq K_{з.факт} = 1,6. \quad (14)$$

«Значит, нормативная загрузка силовых трансформаторов, установленных на ЦТП-1 новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным» [13]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 919,49}{1000} \approx 0,46 \leq 0,8.$$

«Таким образом, перегрузка силовых трансформаторов, установленных на ЦТП-1 новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, в послеаварийном режиме работы, не превышает предельно допустимых нормативных данных, следовательно, марка и тип трансформаторов выбраны правильно» [13]:

$$K_{з.н} = \frac{919,49}{1000} \approx 0,92 \leq 1,6.$$

«В результате проведения проверки силовых трансформаторов на ЦТП-1 новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти было установлено,

что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМГ-1000/10, которые были предварительно выбраны по результатам расчёта фактических нагрузок объектов новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, подходят для установки на данном объекте» [13].

«Выбор остальных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ проведён аналогично и результаты приведены в таблице 3» [16].

Таблица 3 – «Выбор числа и мощности трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [16]

Номер цеховой ТП	Наименование цеха (участка)	S_p , кВт	$S_{p.ТП}$, кВт	Категория надёжности	Количество × марка силовых трансформаторов
ЦТП-1	Технический комплекс ремонта автомобильной техники	302,94	919,49	1	2×ТМГ-1000/10У1
	Ремонтно-механический участок	292,28		2	
	Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	211,96		2	
	Торгово-выставочный комплекс	38,53		3	
	Склад комплектующих	21,50		3	
	Электроцех и служба главного энергетика	52,28		2	
ЦТП-2	Технический комплекс обслуживания автомобильной техники	177,83	1447,88	1	2×ТМГ-1000/10У1
	Бойлерная	208,61		2	
	Насосная (0,38/0,22 кВ)	153,01		2	
	Котельная	271,87		2	
	Склад готовой продукции	624,66		3	
	Склад материалов	111,90		2	
ЦТП-3	Технический комплекс диагностики автомобильной техники	1935,46	2075,89	1	2×ТМГ-1600/10У1
	Гараж и служба главного механика	55,29		3	
	Административное здание	85,14		3	

«Таким образом, в работе расчётным путём выбраны и подтверждены мощности, количество и место установки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ» [8].

2.4 Выбор и проверка проводников

«В работе для установки в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти в результате проведения мероприятий по проектированию, проводится:

- выбор и проверка новой питающей линии 10 кВ для питания двух секций сборных шин 10 кВ от энергосистемы (кабельная линия электропередачи 10 кВ);
- выбор и проверка новых кабельных линий распределительной сети 10 кВ, необходимых для обеспечения питания трёх ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ РП-10 кВ» [8].

Применение силовых кабелей марки АСБ-10 в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» обосновано их техническими преимуществами и соответствием требованиям современного промышленного объекта.

Кабели АСБ-10 предназначены для передачи и распределения электрической энергии в сетях с номинальным напряжением 10 кВ, что идеально соответствует параметрам электроснабжения ремонтной автобазы.

Основным преимуществом кабелей АСБ-10 является их конструкция, обеспечивающая высокую надёжность и долговечность. Алюминиевые жилы, используемые в данных кабелях, обладает отличной электропроводностью при меньшей массе по сравнению с медными аналогами. Данный аспект способствует снижению нагрузок на опорные конструкции и облегчает монтажные работы, что особенно актуально при масштабном строительстве инфраструктуры предприятия.

Изоляция из пропитанной бумаги, применяемая в кабелях АСБ-10, обеспечивает высокие диэлектрические свойства и стойкость к электрическим перегрузкам. Свинцовая оболочка, окружающая изоляцию, выполняет функцию надёжного барьера против влаги и агрессивных сред, что существенно продлевает срок службы кабеля в условиях подземной

прокладки. Бронирование стальными лентами повышает механическую прочность и устойчивость к внешним воздействиям, включая давление грунта и возможные механические повреждения при земляных работах.

Экономическая эффективность применения кабелей АСБ-10 обусловлена оптимальным соотношением стоимости и эксплуатационных характеристик. Алюминиевая жила является более доступной по цене, чем медная, что снижает первоначальные затраты на приобретение материалов без ущерба для качества и надёжности системы электроснабжения. Кроме того, меньшая масса алюминиевых кабелей уменьшает транспортные расходы и упрощает процесс установки.

Свинцовая оболочка кабелей АСБ-10 обеспечивает дополнительную защиту от электромагнитных помех, что важно для стабильной работы чувствительного оборудования, используемого на ремонтной автобазе, что способствует повышению качества электроснабжения и снижению рисков сбоев в работе технологических линий и систем управления.

Применение кабелей АСБ-10 также соответствует требованиям пожарной безопасности и экологическим стандартам.

Свинцовая оболочка кабелей АСБ-10 препятствует распространению горения, а отсутствие полимерных материалов в изоляции снижает выделение токсичных веществ при возможных возгораниях, что особенно важно для объектов с повышенными требованиями к безопасности, таких как ремонтная автобаза.

Технические характеристики кабелей АСБ-10 обеспечивают стабильную работу в широком диапазоне температур, что актуально для климатических условий региона расположения предприятия. Устойчивость к температурным колебаниям и воздействию влажности гарантирует надёжность электроснабжения в течение всего срока эксплуатации без необходимости частого обслуживания или замены кабельных линий.

Совместимость кабелей АСБ-10 с существующими системами и оборудованием облегчает интеграцию в общую инфраструктуру предприятия.

Стандартизированные размеры и технические параметры упрощают процесс проектирования и монтажа, что сокращает сроки реализации проекта и снижает вероятность ошибок при установке.

Таким образом, выбор кабелей АСБ-10 для системы электроснабжения новой ремонтной автобазы обоснован с технической, экономической и эксплуатационной точек зрения.

Показано, что их использование позволяет создать надёжную и долговечную энергетическую инфраструктуру, соответствующую современным стандартам и требованиям промышленного предприятия, что способствует успешному функционированию и развитию АО «АВТОВАЗ».

Проводится выбор сечений кабельных линий марки АСБ-10 для применения на объекте проектирования.

«Выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, осуществляется по условию экономической плотности тока» [11]:

$$S_j = \frac{I_p}{j_j}, \quad (15)$$

где « j_j – экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

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

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном.}}, \quad (16)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВ;

n – число цепей питающей линии, по которым передаётся мощность, шт.» [19].

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

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (17)$$

«Проверка проводников кабельных линий в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (18)$$

«Где $I_{доп}$ – предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [10].

«Проверка проводников кабельных линий системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (19)$$

«Где $I_{p.max}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А» [16].

«Проверка проводников по условиям механической прочности» [11]:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (20)$$

«Принимаются к установке на новой питающей линии 10 кВ (КЛ-10 кВ), необходимой для питания РП-10 кВ системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти от энергосистемы в результате проведения мероприятий по проектированию, стандартные проводники кабельной линии электропередачи марки АСБ-10 (кабель силовой

изолированный с алюминиевыми жилами, в свинцовой оболочке, бронированный, напряжение – 10 кВ)» [5].

«Ток нормального режима питающей КЛ-10 кВ РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [20]:

$$I_p = \frac{4160,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} \approx 120 \text{ A.}$$

«Ток послеаварийного режима питающей КЛ-10 кВ РП-10 кВ» [20]:

$$I_{p,\max} = 1,4 \cdot 120 = 168,1 \text{ A.}$$

«Расчётное сечение питающей КЛ-10 кВ РП-10 кВ» [20]:

$$S_3 = \frac{120}{1,6} = 75 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается ближайшее стандартное сечение кабеля $F_{cm} = 70 \text{ мм}^2$ марки АСБ-10 (3×70) с $I_{don} = 265 \text{ A}$ » [4].

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [19]:

$$265 \text{ A} \geq 120 \text{ A.}$$

«Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного кабеля марки АСБ-10 (3×70) по максимальному рабочему току» [5]:

$$265 \text{ A} \geq 168,1 \text{ A.}$$

«Проверка предварительно выбранного кабеля марки АСБ-10 (3×70) по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется» [18]:

$$70 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2.$$

«Окончательно для применения на питающей КЛ-10 кВ РП-10 кВ, в работе выбраны два современных кабеля марки АСБ-10 (3×70) с сечением токоведущей жилы – 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [5].

«Проверка кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти по условиям допустимого падения напряжения» [11]:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{n} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{n}}{U^2} \leq 5\%, \quad (21)$$

«где P, Q – соответственно активная и индуктивная нагрузка линий, кВт, квар;

r_0, x_0 – удельные сопротивления линии, Ом/км [13].

Таким образом, можно сделать вывод, что силовой кабель марки АСБ-10 (3×70) удовлетворяет условиям:

- выбора по экономической плотности тока;
- проверке по «условиям допустимого нагрева в нормальном режиме;
- проверке по условиям допустимого перегрева в послеаварийном режиме;
- проверке по условиям механической прочности;
- проверке по допустимой потере напряжения.

Результаты выбора и проверки кабелей питающей и распределительной сети 10 кВ представлены в работе» [13] в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты выбора и проверки кабелей питающей и распределительной сети 10 кВ

Линия	Длина, м	Расчётные значения			Результаты выбора кабельной линии		ΔU , %
		$I_{p \text{ норм}}$, А	F_{Σ} , мм ²	$F_{ст.}$, мм ²	Марка	$I_{дд}$, А	
Питающая сеть 10 кВ							
ПС-РП-10 (1 секция шин)	6000,0	120,00	75,0	70	АСБ-10(3×70)	265,0	1,47
ПС-РП-10 (1 секция шин)	6000,0	120,00	75,0	70	АСБ-10(3×70)	265,0	1,47
Распределительная сеть 10 кВ							
РП-10-ЦТП- 1	170,0	35,12	21,9	25	АСБ-10(3×25)	94,0	1,52
РП-10-ЦТП- 2	180,0	34,63	21,6	25	АСБ-10(3×25)	94,0	1,67
РП-10-ЦТП- 3	150,0	68,60	42,8	50	АСБ-10(3×50)	132,0	0,96

Следовательно, все выбранные проводники кабельных линий 10 кВ питающей и распределительной сети системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, принимаются к установке на объекте проектирования.

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

В условиях современной промышленности, где требования к безопасности и надёжности электроснабжения постоянно повышаются, расчёт токов короткого замыкания становится неотъемлемой частью проектирования энергетических систем.

Особенно важно это для предприятий, таких как АО «АВТОВАЗ», где бесперебойная работа производственных комплексов напрямую влияет на экономические показатели и конкурентоспособность на рынке.

Таким образом, проведение расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» является необходимым и обоснованным шагом, направленным на обеспечение

безопасности, надёжности и эффективности работы энергетической инфраструктуры предприятия.

В исходной схеме представлены два класса напряжения, которые применяются в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти: 110 кВ и 10 кВ. Класс напряжения 110 кВ в расчётной схеме представляет [14] собой класс высшего напряжения на питающей районной ПС-110/35/10 кВ.

При этом класс напряжения 35 кВ на данной питающей ПС-110/35/10 кВ не учитывается, так как обмотки напряжением 35 кВ силовых трансформаторов данной подстанции не связаны с обмотками 10 кВ трансформаторов, от которой получает питание РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти (рисунок 4).

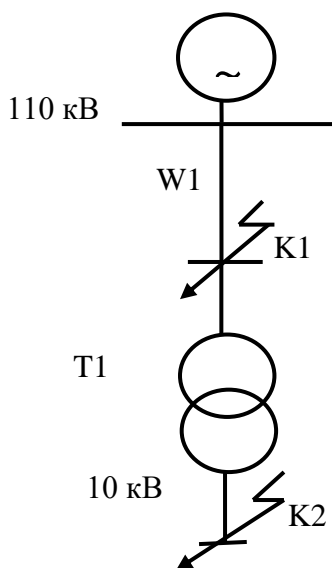


Рисунок 4 – «Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ» [14]

«Составляется схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти (рисунок 5)» [14].

«В схему замещения вносятся активные и индуктивные сопротивления основных элементов расчётной схемы системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [14].

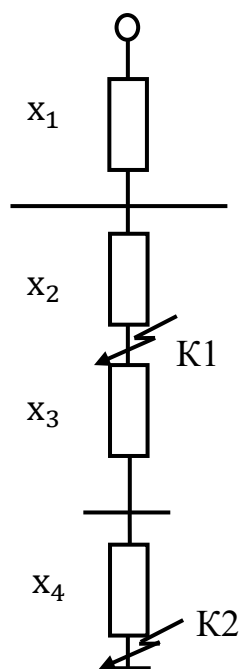


Рисунок 5 – «Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [14]

Необходимо учесть также сопротивления всей цепи тока КЗ, включая районную питающую подстанцию 110/35/10 кВ.

«Базисные напряжения принимаются с учётом повышенного напряжения на шинах новой питающей районной ПС-110/35/10 кВ [14]:

$$U_{\text{б.}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{кВ.} \quad (22)$$

«Для напряжений на районной ПС-110/35/10 кВ» [2]:

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

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

«Значение базисного тока принимается с учётом базисного напряжения и мощности» [8]:

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (23)$$

«Базисный ток на стороне 110 кВ» [14]:

$$I_{B.BH} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 115} \approx 2 \text{ кА.}$$

«Базисный ток на стороне 10 кВ» [14]:

$$I_{B.HH} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ кА.}$$

«Индуктивное сопротивление энергосистемы при приведении к базисным условиям» [14]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\sigma c}}. \quad (24)$$

$$X_1 = 1,6 \cdot \frac{400}{400} = 1,6 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление питающей кабельной линии 10 кВ при приведении к базисным условиям» [14]:

$$X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (25)$$

«где X_0, L – удельное индуктивное сопротивление и длина линии» [14].

$$X_2 = 0,4 \cdot 7,5 \cdot \frac{400}{115^2} \approx 0,09 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки ВН трансформатора районной ПС-110/35/10 кВ» [14]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (26)$$

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 6,3} \approx 0,83 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление обмотки НН трансформатора районной ПС-110/35/10 кВ» [14]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (27)$$

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 6,3} \approx 11,67 \text{ Ом.}$$

«Схема замещения для точки К1» [14], представлена на рисунке 6.

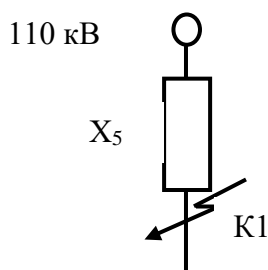


Рисунок 6 – «Схема замещения, преобразованная для точки К1» [14]

«Результирующее сопротивление до расчётной точки К1» [14]:

$$X_5 = X_1 + X_2 \quad (28)$$

$$X_5 = 1,6 + 0,09 = 1,69 \text{ Ом.}$$

«Ток трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1» [14]:

$$I_{\text{по1}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\sigma}, \quad (29)$$

«где E_c - сверхпереходная ЭДС энергосистемы, $E_c=1$ » [14].

$$I_{\text{по1}} = \frac{1}{1,69} \cdot 2 = 1,18 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2» [14], представлена на рисунке 7.

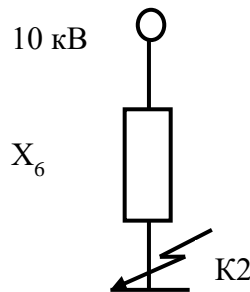


Рисунок 7 – «Схема замещения для расчетов в точке К2» [14]

«Расчёт для точки К2 аналогичен расчёту для точки К1» [14]:

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5. \quad (30)$$

$$X_6 = 1,69 + 0,83 + 11,67 = 14,19 \text{ Ом.}$$

«Ток трёхфазного короткого замыкания в точке К2» [14]:

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_6} \cdot I_{\sigma}. \quad (31)$$

$$I_{\text{по2}} = \frac{1}{14,19} \cdot 22 = 1,55 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы» [14]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_K'', \text{ кА}, \quad (32)$$

«где $k_{уд}$ – ударный коэффициент, о.е.» [14].

«Для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов» [14]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 1,18 = 2,84 \text{ кА}.$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,55 = 3,07 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока КЗ» [14]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K'', \text{ кА}. \quad (33)$$

«Значение двухфазного тока КЗ в расчётных точках схемы» [14]:

$$I_{no(\min)к1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,18 = 1,02 \text{ кА}.$$

$$I_{no(\min)к2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,55 = 1,34 \text{ кА}.$$

«Результаты расчёта токов КЗ» [14] представлены в таблице 5.

Таблица 5 – «Результаты расчёта токов короткого замыкания» [14]

Расчётная точка КЗ	$I_K^{(3)}, \text{ кА}$	$I_K^{(2)}, \text{ кА}$	$i_{уд}, \text{ кА}$
К1	1,18	1,02	2,84
К2	1,55	1,34	3,07

«Полученные результаты расчёта токов КЗ используются для проверок современного оборудования системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [13].

2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов для установки на питающем РП-10 кВ

«Для установки в РП-10 кВ ремонтной автобазы предварительно выбраны выключатели марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48» [6].

Их применение в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» обусловлено их техническими преимуществами и соответствием современным требованиям промышленной энергетики.

Вакуумные выключатели данного типа обеспечивают высокую коммутационную способность

Высокая механическая износостойкость и долговечность вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 снижают эксплуатационные затраты за счёт уменьшения частоты обслуживания и ремонта.

Компактные габариты и возможность простой интеграции в распределительные устройства позволяют оптимизировать пространство распределительного пункта.

Кроме того, данные выключатели обладают высокой скоростью срабатывания, что обеспечивает оперативное отключение аварийных участков и минимизирует риски повреждения оборудования и простоя производственных процессов на автобазе.

Таким образом, выбор данной модели для применения на объекте исследования, полностью обоснован.

«Выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий:

– по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n \quad (34)$$

где « $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя» [18];

– «по максимальному рабочему току» [16]:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n. \quad (35)$$

где « $I_{\text{раб.макс}}$, I_n – соответственно, максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя» [16];

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [18]:

$$I_{\text{н}\tau} \leq I_{\text{откн}}. \quad (36)$$

где « $I_{\text{н}\tau}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов;

$I_{\text{откн.н}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА» [18];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\text{н}\tau} + i_{\text{а}\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{откн.н}} (1 + \beta_n), \quad (37)$$

где « $i_{\text{а}\tau}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов;

β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;

τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [7]:

$$t = t_{\text{з.мин}} + t_{\text{с.в}}, \quad (38)$$

где « $t_{\text{з.мин}}$ – минимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{\text{с.в}}$ – собственное время отключения выключателя, с» [7];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (39)$$

где « $i_{np.c}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ;

i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [18];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (40)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$;

I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$;

t_T – длительность протекания тока устойчивости, c » [18].

«При этом тепловой импульс с учётом токов короткого замыкания и отключения цепи» [18]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (41)$$

В работе выключатели устанавливаются в ячейках питающего РП-10 кВ на секционных, вводных и линейных присоединениях, обеспечивая их защиту и коммутацию.

В дальнейших исследованиях, на данных выключателях планируется установить современные устройства релейной защиты и автоматики, защитив таким образом, электрическую сеть.

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели вакуумные 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (вводные присоединения РП-10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 168,1 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,55 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Выключатели вакуумные 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (секционное присоединение РП-10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 120,1 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,55 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Выключатели вакуумные 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (линейные присоединения РП-10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 68,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,55 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-У3 применяются для точного измерения токов в высоковольтных цепях и обеспечения корректной работы систем релейной защиты и автоматики.

Высокая точность измерений и устойчивость к перегрузкам трансформаторов ТЛО-10-У3 гарантируют своевременное обнаружение аномальных режимов работы сети, что способствует предотвращению аварийных ситуаций.

Конструктивные особенности данных трансформаторов обеспечивают надёжную изоляцию и длительный срок службы, что важно для бесперебойной работы системы электроснабжения ремонтной автобазы.

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока представлены в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-УЗ	$U_{сети} \leq U_{ном}$.	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$.	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$.
	$I_{max} \leq I_{ном}$.	$I_{max} = 168,1 \text{ А}$.	$I_{ном} = 630 \text{ А}$.
	$i_y \leq i_{дин}$.	$i_y = 3,07 \text{ кА}$.	$i_{дин} = 20 \text{ кА}$.
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$.	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с}$.	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$.

Использование трансформаторов напряжения 10 кВ марки НАМИ-10 обосновано необходимостью точного контроля параметров напряжения в сети и обеспечения работы устройств релейной защиты, автоматики и средств учёта электроэнергии.

Трансформаторы напряжения НАМИ-10 характеризуются высокой стабильностью коэффициента трансформации и низким уровнем собственных потерь, что повышает общую энергоэффективность системы.

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения для установки на объекте проектирования представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы напряжения 10 кВ марки НАМИ-10	$U_{сети} \leq U_{ном}$.	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$.	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$.
	$I_{max} \leq I_{ном}$.	$I_{max} = 168,1 \text{ А}$.	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$.
	$i_y \leq i_{дин}$.	$i_y = 3,07 \text{ кА}$.	$i_{дин} = 40 \text{ кА}$.
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$.	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с}$.	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с}$.

Надёжная изоляция и защита от перенапряжений делают данные трансформаторы устойчивыми к внешним воздействиям и обеспечивают долгосрочную эксплуатацию без снижения точности измерений.

Выбор указанного оборудования обусловлен не только его техническими характеристиками, но и соответствием требованиям нормативных документов и стандартов в области энергетики.

Применение вакуумных выключателей, трансформаторов тока и напряжения современных моделей способствует повышению надёжности и безопасности системы электроснабжения, что особенно важно для предприятия такого масштаба, как АО «АВТОВАЗ».

Высокий уровень автоматизации и точности контроля электрических параметров обеспечивает эффективное управление энергопотреблением и оптимизацию расходов на электроэнергию.

Кроме того, использование данного оборудования позволяет учитывать перспективы развития предприятия и возможные увеличения нагрузок на систему электроснабжения.

Модульность и масштабируемость вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, а также совместимость трансформаторов ТЛО-10-У3 и НАМИ-10 с различными системами релейной защиты и автоматики облегчают модернизацию и расширение энергетической инфраструктуры в будущем.

Внедрение современных высоковольтных устройств на питающем РП-10 кВ способствует повышению общей эффективности работы ремонтной автобазы. Надёжное электроснабжение является критически важным для бесперебойного функционирования оборудования, соблюдения технологических процессов и обеспечения высокого качества оказываемых услуг. Таким образом, применение высоковольтных вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, трансформаторов тока ТЛО-10-У3 и трансформаторов напряжения НАМИ-10 является технически и экономически обоснованным решением, соответствующим современным требованиям и способствующим успешному развитию предприятия.

Выводы по разделу.

Установлено, в проектируемой схеме внешней системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти могут быть приняты две питающие кабельные линии напряжением 10 кВ для питания РП-10 кВ от районной понизительной подстанции 110/35/10 кВ.

Так как в системе электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти имеется три основных производственных комплекса, относящихся к 1 категории надёжности, с учётом их расположения и взаимного резервирования на шинах 10 кВ питающего РП-10 кВ, предлагается принять в работе три двухтрансформаторные подстанции, получающие питание от разных секций сборных шин 10 кВ.

Учитывая все перечисленные факторы окончательно установлено, что выбор трёх двухтрансформаторных подстанций, получающих питание от разных секций сборных шин 10 кВ, является оптимальным решением для обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ».

Показано, что такое решение соответствует современным требованиям энергетической отрасли и способствует стабильной работе предприятия.

Остальные объекты ремонтной автобазы предлагается подключить с учётом их расположения и величины нагрузки на шины низкого напряжения (0,4 кВ) данных трёх цеховых подстанций 10/0,4 кВ.

Проведён расчёт нагрузок проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

В работе расчётным путём выбраны и подтверждены мощности, количество и место установки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ.

Сделан вывод, что силовой кабель марки АСБ-10 (3×70) питающей линии 10 кВ РП-10 кВ, а также кабели всех распределительных линий сети 10 кВ, удовлетворяют условиям выбора по экономической плотности тока и всем проверкам.

Выбраны рациональные современные электрические аппараты объекта проектирования.

Установлено, что применение вакуумных выключателей, трансформаторов тока и напряжения современных моделей способствует повышению надёжности и безопасности системы электроснабжения, что особенно важно для предприятия такого масштаба, как АО «АВТОВАЗ».

Показано, что использование данного оборудования позволяет учитывать перспективы развития предприятия и возможные увеличения нагрузок на систему электроснабжения.

Модульность и масштабируемость вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, а также совместимость трансформаторов ТЛО-10-У3 и НАМИ-10 с различными системами релейной защиты и автоматики облегчают модернизацию и расширение энергетической инфраструктуры в будущем.

Внедрение современных высоковольтных устройств на питающем РП-10 кВ способствует повышению общей эффективности работы ремонтной автобазы.

Надёжное электроснабжение является критически важным для бесперебойного функционирования оборудования, соблюдения технологических процессов и обеспечения высокого качества оказываемых услуг.

Таким образом, принятые решения являются технически и экономически обоснованным решением, соответствующим современным требованиям и способствующим успешному развитию предприятия.

3 Выбор устройств вторичных цепей коммутации

3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики

На питающем РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти «защите подлежат отходящие, питающие и секционные присоединения сетей напряжением 110 кВ и 10 кВ.

На выключателях РП-10 кВ на вводных, линейных и секционных присоединениях систем электроснабжения предприятий, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита линий (ДЗЛ) – является основной РЗиА линий и присоединений от внешних токов короткого замыкания, образует двухступенчатую защиту (вместе с МТЗ), устанавливается на всех присоединениях (вводных, линейных и секционных);
- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой линий и присоединений от внутренних и внешних коротких замыканий, является вместе с ДЗЛ основной двухступенчатой защитой, перекрывая «мёртвую зону» ДЗЛ;
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает линии и присоединения от коротких замыканий на землю» [17].

«Помимо релейной защиты, в схеме питающего РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти необходимо предусмотреть также устройства автоматики и сигнализацию.

Из устройств автоматики для секционных присоединений РП-10 кВ предусматривается устройство автоматического включения резерва (далее – АВР).

Все принятые в работе дополнительные виды РЗиА при их внедрении способны значительно повысить надёжность релейной защиты, её быстродействие, селективность (избирательность), что в конечном итоге позволит значительно снизить риск аварий в схеме главных электрических

соединений всей питающем РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [17].

«Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов питающем РП-10 кВ, а также всех линий новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, предлагается принять микропроцессорный блок релейной защиты серии УСО-І» [19] (рисунок 8).



Рисунок 8 – «Внешний вид и функционал микропроцессорных блоков серии УСО-І-11» [19]

Применение микропроцессорного блока релейной защиты серии УСО-І на питающем распределительном пункте РП-10 кВ системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти обосновано необходимостью обеспечения надёжной и эффективной защиты силовых трансформаторов и электрических линий предприятия.

Микропроцессорные устройства серии УСО-І представляют собой современные решения в области релейной защиты и автоматики, сочетающие высокую функциональность с возможностями адаптации к специфическим требованиям объекта.

Одним из ключевых преимуществ применения блока УСО-I является его многофункциональность и возможность реализации комплексной защиты силовых трансформаторов и линий электропередачи.

Устройство обеспечивает широкий спектр защитных функций, включая максимальную токовую защиту, дифференциальную защиту, защиту от перенапряжений и других ненормальных режимов работы сети.

Наличие указанных функций позволяет обеспечить своевременное обнаружение и отключение повреждённых участков, минимизируя риски аварий и сокращая время простоя оборудования.

Высокая точность и быстроедействие микропроцессорного блока УСО-I достигаются за счёт использования современных алгоритмов обработки сигнала и цифровой технологии измерения электрических параметров. Устройство способно анализировать токи и напряжения в режиме реального времени, что обеспечивает оперативное реагирование на изменения в сети и повышает общую надёжность системы электроснабжения. Такая оперативность особенно важна для предприятия с высоким уровнем автоматизации и непрерывным технологическим процессом, каким является ремонтная автобаза АО «АВТОВАЗ».

Гибкость настройки и возможности программирования блока УСО-I позволяют адаптировать его функции под конкретные условия эксплуатации и требования объекта.

Инженеры и технический персонал могут настроить параметры защит в соответствии с характеристиками оборудования и особенностями сети, что обеспечивает оптимальную работу устройства и предотвращает ложные срабатывания. Данный аспект способствует повышению эффективности эксплуатации и снижению эксплуатационных расходов.

Микропроцессорный блок УСО-I оснащён коммуникационными интерфейсами, обеспечивающими интеграцию в системы автоматизированного управления и диспетчеризации.

Возможность удалённого мониторинга и управления позволяет оперативно отслеживать состояние оборудования, проводить диагностику и принимать решения по управлению сетью.

Надёжность и долговечность устройства подтверждаются его конструктивными особенностями и использованием качественных компонентов.

Устойчивость к внешним воздействиям, таким как перепады температуры, влажность и электромагнитные помехи, обеспечивает стабильную работу в условиях промышленного предприятия, что особенно актуально для ремонтной автобазы, где могут присутствовать различные факторы, влияющие на работу электрического оборудования.

Экономическая эффективность применения микропроцессорного блока УСО-I выражается в снижении затрат на эксплуатацию и обслуживание системы релейной защиты.

Объединение нескольких функций в одном устройстве сокращает количество необходимого оборудования и упрощает его обслуживание. Кроме того, повышение надёжности электроснабжения уменьшает риски простоев и связанных с ними финансовых потерь. Соответствие устройства современным стандартам и нормативным требованиям в области электроэнергетики, гарантирует его безопасную и эффективную эксплуатацию.

Применение микропроцессорной релейной защиты соответствует стратегическим целям предприятия по внедрению передовых технологий и повышению уровня автоматизации производственных процессов.

Таким образом, внедрение микропроцессорного блока релейной защиты серии УСО-I на питающем распределительном пункте РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» является технически обоснованным и стратегически важным решением. Данный выбор способствует повышению надёжности и безопасности системы электроснабжения, оптимизации эксплуатационных процессов и поддерживает высокие стандарты качества и эффективности, установленные на предприятии.

3.2 Расчёт уставок релейной защиты линий

«Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты линейных присоединений (вводных, секционных и линейных), установленных на питающем РП-10 кВ проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

Ток срабатывания ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.з} \geq K_o \cdot I_{\text{раб.макс.}} \quad (42)$$

где K_o – «коэффициент отстройки ДЗЛ» [13].

«Коэффициент чувствительности ДЗЛ» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{c.з}} \geq 1,5. \quad (43)$$

«Для питающей кабельной линии 10 кВ к питающему РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, токовая уставка ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 23,17 = 30,1 \text{ A.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{30,1} = 39,2 \geq 1,5.$$

«Выражение для выбора уставок МТЗ линий» [13]:

$$I_{c.з} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс.}} \quad (44)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [13]:

$$K_{\psi} = \frac{K_{cx}^{(\kappa)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\kappa.МИИ}^{(\kappa)}}{I_{c.з}} \geq 1,2, \quad (45)$$

«Уставка МТЗ питающей кабельной линии 10 кВ к питающему РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [13]:

$$I_{c.з} \geq 1,05 \cdot 1,1 \cdot 23,17 = 26,8 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ питающей кабельной линии 10 кВ к питающему РП-10 кВ» [13]:

$$K_{\psi} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{26,8} = 44,1 \geq 1,2.$$

«Аналогично рассчитаны уставки РЗиА остальных линейных присоединений на питающем РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти» [13], результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений

Наименование линии	Тип РЗиА	$I_{c.з.}, \text{ А}$	$t_{c.з.}, \text{ с}$	Работа РЗиА
Питающая КЛ-10 кВ РП-10 кВ (ввод 10 кВ)	ДЗ	662,7	-	отключение
	МТЗ	611,8	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
Секционное присоединение 10 кВ	ДЗ	927,5	-	отключение
	МТЗ	856,5	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АВР	-	2,0	включение
РП-10-ЦТП-1	ДЗ	105,2	-	отключение
	МТЗ	97,1	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
РП-10-ЦТП-2	ДЗ	105,2	-	отключение
	МТЗ	97,1	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
РП-10-ЦТП-3	ДЗ	168,4	-	отключение
	МТЗ	155,4	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение

Таким образом, все отходящие и питающие линии на питающем РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, будут надёжно защищены от всех ненормальных и аварийных режимов.

При этом, основными видами защит будут ДЗ и МТЗ (соответственно – для защиты от внешних и внутренних токов короткого замыкания в сети 10 кВ).

Схема релейной защиты кабельных линий 10 кВ представлена в графической части работы.

3.3 Выбор автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией

«На основе анализа ведущих мировых и отечественных разработок в данном направлении, для учёта и контроля параметров электроэнергии, а также автоматизированного управления энергосистемой новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, в работе предложено применить АСКУЭ на основе современных трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки EM720 SATEC» [1].

Применение автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией (АСКУЭ), основанной на современных трёхфазных программируемых электронных счётчиках марки EM720 SATEC, в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти является технически и экономически обоснованным решением.

Внедрение такой современной системы способствует повышению эффективности энергопотребления, оптимизации расходов на электроэнергию и улучшению надёжности функционирования энергетической инфраструктуры предприятия.

Трёхфазные программируемые электронные счётчики EM720 SATEC обладают высокой точностью измерений и широким функционалом, что

позволяет осуществлять детальный мониторинг потребления электроэнергии в реальном времени.

Возможность программирования и настройки параметров измерений обеспечивает гибкость в адаптации системы под специфические требования предприятия. Данный аспект позволяет выявлять неэффективные участки энергопотребления и принимать оперативные меры по их оптимизации.

«Конструктивное выполнение современных программируемых электронных счётчиков марки EM720 SATEC» [1] представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – «Конструктивное выполнение современных программируемых электронных счётчиков марки EM720 SATEC» [1]

Внедрение АСКУЭ на основе EM720 SATEC способствует автоматизации процессов учёта и управления электроэнергией, что снижает влияние человеческого фактора и уменьшает вероятность ошибок при сборе данных.

Система обеспечивает централизованный сбор и анализ информации, что упрощает процесс принятия решений по оптимизации режимов работы оборудования и снижению энергозатрат.

Кроме того, наличие функции дистанционного мониторинга и управления позволяет оперативно реагировать на отклонения в работе энергосистемы и предотвращать возможные аварийные ситуации.

Данный фактор создаёт дополнительную защиту оборудования и сетей на объекте проектирования, выполняя частичную функцию РЗА.

Использование современных счётчиков EM720 SATEC обеспечивает соответствие системы электроснабжения предприятия современным стандартам и требованиям нормативных документов в области энергетики.

Высокая надёжность и долговечность оборудования снижают эксплуатационные расходы и обеспечивают долгосрочную устойчивость системы электроснабжения.

Применение АСКУЭ на основе EM720 SATEC также способствует улучшению качества электроэнергии за счёт контроля параметров сети и выявления отклонений, таких как несбалансированные нагрузки или гармонические искажения.

Таким образом, применение автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией на основе трёхфазных программируемых электронных счётчиков EM720 SATEC в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» является стратегически важным шагом, направленным на повышение эффективности, надёжности и устойчивости энергетической инфраструктуры предприятия.

Выводы по разделу.

Установлено, что внедрение микропроцессорного блока релейной защиты серии УСО-I на питающем распределительном пункте РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» является технически обоснованным и стратегически важным решением.

Данный выбор способствует повышению надёжности и безопасности системы электроснабжения, оптимизации эксплуатационных процессов и поддерживает высокие стандарты качества и эффективности, установленные на объекте проектирования.

При этом, основными видами защит будут ДЗ и МТЗ (соответственно – для защиты от внешних и внутренних токов короткого замыкания в сети 10 кВ).

Таким образом, все отходящие и питающие линии на питающем РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, будут надёжно защищены от всех ненормальных и аварийных режимов.

Установлено, что применение автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией на основе трёхфазных программируемых электронных счётчиков EM720 SATEC в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» является стратегически важным шагом, направленным на повышение эффективности, надёжности и устойчивости энергетической инфраструктуры предприятия.

Схема АСКУЭ на базе трёхфазных программируемых электронных счётчиков марки EM720 SATEC, применяемая на объекте проектирования, показана в графической части работы.

Заключение

В результате выполнения работы, осуществлено проектирование системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти с учётом специфики технологического процесса и особенностей объектов предприятия.

Установлено, что актуальность проектирования системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» в городе Тольятти обусловлена необходимостью обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения современного промышленного предприятия. Рост требований к качеству и непрерывности электроснабжения, вызванный внедрением высокотехнологичного оборудования и автоматизированных систем, диктует потребность в разработке оптимальных инженерных решений в области энергетической инфраструктуры. Создание эффективной системы электроснабжения способствует повышению производительности, снижению эксплуатационных затрат и обеспечивает устойчивость технологических процессов.

В результате анализа алгоритма производственного цикла для применения на объекте исследования установлено, что основными технологическими цехами (единицами) в производственном цикле новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти являются три основных комплекса:

- технический комплекс ремонта автомобильной техники;
- технический комплекс обслуживания автомобильной техники;
- технический комплекс диагностики автомобильной техники.

Все перечисленные производственные комплексы по надёжности относятся к I категории.

Определено, что основное электрооборудование всех производственных и вспомогательных объектов работает на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Высоковольтных потребителей в проектируемой системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти не предусматривается.

Установлено, что при разработке системы электроснабжения учитываются основные требования, предъявляемые к промышленным предприятиям, такие как обеспечение непрерывности электроснабжения, соответствие нормативным документам, энергоэффективность и безопасность эксплуатации.

Установлено, в проектируемой схеме внешней системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти могут быть приняты две питающие кабельные линии напряжением 10 кВ для питания РП-10 кВ от районной понизительной подстанции 110/35/10 кВ.

Так как в системе электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти имеется три основных производственных комплекса, относящихся к 1 категории надёжности, с учётом их расположения и взаимного резервирования на шинах 10 кВ питающего РП-10 кВ, предлагается принять в работе три двухтрансформаторные подстанции, получающие питание от разных секций сборных шин 10 кВ.

Учитывая все перечисленные факторы окончательно установлено, что выбор трёх двухтрансформаторных подстанций, получающих питание от разных секций сборных шин 10 кВ, является оптимальным решением для обеспечения надёжного и эффективного электроснабжения ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ».

Показано, что такое решение соответствует современным требованиям энергетической отрасли и способствует стабильной работе предприятия.

Остальные объекты ремонтной автобазы предлагается подключить с учётом их расположения и величины нагрузки на шины низкого напряжения (0,4 кВ) данных трёх цеховых подстанций 10/0,4 кВ.

Проведён расчёт нагрузок проектируемой системы электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти.

В работе расчётным путём выбраны и подтверждены мощности, количество и место установки трансформаторов ЦТП-10/0,4 кВ.

Сделан вывод, что силовой кабель марки АСБ-10 (3×70) питающей линии 10 кВ РП-10 кВ, а также кабели всех распределительных линий сети 10 кВ, удовлетворяют условиям выбора по экономической плотности тока и всем проверкам.

Выбраны рациональные современные электрические аппараты объекта проектирования.

Установлено, что применение вакуумных выключателей, трансформаторов тока и напряжения современных моделей способствует повышению надёжности и безопасности системы электроснабжения, что особенно важно для предприятия такого масштаба, как АО «АВТОВАЗ».

Показано, что использование данного оборудования позволяет учитывать перспективы развития предприятия и возможные увеличения нагрузок на систему электроснабжения.

Модульность и масштабируемость вакуумных выключателей ВВ/TEL-10-20-630-У2-48, а также совместимость трансформаторов ТЛО-10-У3 и НАМИ-10 с различными системами релейной защиты и автоматики облегчают модернизацию и расширение энергетической инфраструктуры в будущем.

Внедрение современных высоковольтных устройств на питающем РП-10 кВ способствует повышению общей эффективности работы ремонтной автобазы.

Надёжное электроснабжение является критически важным для бесперебойного функционирования оборудования, соблюдения технологических процессов и обеспечения высокого качества оказываемых услуг.

Таким образом, принятые решения являются технически и экономически обоснованным решением, соответствующим современным требованиям и способствующим успешному развитию предприятия.

Установлено, что внедрение микропроцессорного блока релейной защиты серии УСО-I на питающем распределительном пункте РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» является технически обоснованным и стратегически важным решением.

Данный выбор способствует повышению надёжности и безопасности системы электроснабжения, оптимизации эксплуатационных процессов и поддерживает высокие стандарты качества и эффективности, установленные на объекте проектирования.

При этом, основными видами защит будут ДЗ и МТЗ (соответственно – для защиты от внешних и внутренних токов короткого замыкания в сети 10 кВ).

Таким образом, все отходящие и питающие линии на питающем РП-10 кВ новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ», г. Тольятти, будут надёжно защищены от всех ненормальных и аварийных режимов.

Установлено, что применение автоматизированной системы контроля и управления электроэнергией на основе трёхфазных программируемых электронных счётчиков EM720 SATEC в системе электроснабжения новой ремонтной автобазы АО «АВТОВАЗ» является стратегически важным шагом, направленным на повышение эффективности, надёжности и устойчивости энергетической инфраструктуры предприятия.

Список используемых источников

1. EM720 - Многотарифный электросчетчик SATEC для коммерческого учета электроэнергии. АСКУЭ. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.energometrika.ru/catalog/askue.html> (дата обращения: 05.11.2024).
2. Ермилов А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Эксмо, 2021. 159 с.
3. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах. УрФУ им. Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд. УрФу, 2019. 104 с.
4. Иванов А.А. Модернизация промышленных предприятий на базе современных систем автоматизации и управления. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.
5. Кабель АСБ длительно допустимый ток [Электронный ресурс]: URL: <https://elmarts.ru/blog/spravochnik/asb-dlitelno-dopustimyy-tok/> (дата обращения: 05.11.2024).
6. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Томск: ТПУ, 2019. 249 с.
7. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
8. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.
9. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
10. Лыкин А.В. Электрические системы и сети: учебник. Москва: Издательство Юрайт, 2023. 362 с.
11. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
13. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.:

Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.

14. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 05.11.2024).

15. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

16. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.

17. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 384 с.

18. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 368 с.

19. УСО-І [Электронный ресурс]: URL: https://www.счетчики66.pф/goods/237500374-ustroystvo_sopryazheniya_uso_i (дата обращения: 05.11.2024).

20. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2018. 596 с.