

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения цеха металлоизделий

Обучающийся

Л. Л. Куликов

(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 представленной работе разработан проект системы электроснабжения цеха металлоизделий на примере ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», учитывающий современные требования к надёжности, энергоэффективности и безопасности.

Определено, что необходимость разработки проекта возникла из-за расширения производства и ввода в эксплуатацию новых производственных потребителей указанного цеха.

Проведён анализ исходных данных, выполнен выбор оптимальной схемы электроснабжения, рассчитаны электрические нагрузки цеха, осуществлён выбор и проверка трансформаторов цеховой подстанции.

Проведены расчёты токов короткого замыкания, выполнен выбор и проверка проводников и электрических аппаратов, а также разработана система релейной защиты и автоматики питающей линии напряжением 10 кВ.

Представленные технические решения направлены на обеспечение стабильной и эффективной работы технологического оборудования, снижение энергетических потерь и повышение общей производительности предприятия.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных на выполнение работы	7
1.1 Общие сведения о предприятии	7
1.2 Анализ исходных технических данных по объекту проектирования....	11
2 Выбор схемы электроснабжения цеха металлоизделий.....	18
3 Расчет электрических нагрузок цеха металлоизделий	22
4 Выбор и проверка трансформаторов цеховой подстанции	29
5 Расчет токов короткого замыкания	32
6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов	40
6.1 Выбор проводников системы электроснабжения цеха металлоизделий	40
6.2 Выбор электрических аппаратов	47
7 Выбор системы релейной защиты и автоматики питающей линии 10 кВ цеха	60
Заключение	65
Список используемой литературы и используемых источников	70

Введение

Современное промышленное производство предъявляет высокие требования к системам электроснабжения, обеспечивающим бесперебойную и надёжную работу технологического оборудования.

Проектирование системы электроснабжения для нового производственного цеха металлоизделий представляет собой комплексную инженерную задачу, требующую учёта множества факторов: характеристик технологических процессов, специфики используемого оборудования, режимов его работы, а также нормативных требований в области энергетики и промышленной безопасности.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания эффективной и надёжной системы электроснабжения, способной обеспечить стабильную работу цеха металлоизделий при минимальных энергетических потерях и эксплуатационных затратах [20].

Технологии металлообработки характеризуются высокой энергоёмкостью и чувствительностью к качеству электроснабжения, что делает задачу проектирования особенно значимой.

Основная цель работы заключается в разработке оптимальной системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», отвечающей современным требованиям по надёжности, энергоэффективности и безопасности.

Рассматриваемый и проектируемый в работе цех металлоизделий является важнейшим подразделением ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», в котором реализуется полный цикл производства: от выплавки стали и чёрных металлов, до изготовления и реализации металлоизделий, включая металлические конструкции и детали для различных отраслей промышленности.

Для достижения поставленной цели необходимо провести решение следующих основных задач:

- провести анализ исходных данных;
- выбрать рациональный вариант схемы электроснабжения цеха;
- рассчитаны электрические нагрузки цеха;
- подобрать и проверить трансформаторы цеховой подстанции;
- выполнить расчёты токов короткого замыкания;
- осуществить выбор и проверку проводников и электрических аппаратов;
- разработать систему релейной защиты и автоматики питающей линии напряжением 10 кВ.

Анализ исходных данных включает изучение технологического процесса цеха, характеристик оборудования, графиков нагрузок и требований к качеству электроэнергии.

На основании полученной информации, выбирается оптимальный вариант схемы электроснабжения, обеспечивающий надёжное и экономически эффективное распределение электроэнергии.

Расчёт электрических нагрузок выполняется с учётом максимальных и средних значений потребляемой мощности, коэффициентов мощности и факторов одновременности, применение которых позволит точно определить параметры системы электроснабжения, обеспечить стабильную работу оборудования без перегрузок и снизить риск аварийных ситуаций.

Выбор трансформаторов цеховой подстанции основан на результатах расчёта нагрузок, требованиях по надёжности и энергоэффективности. Проводится проверка выбранных трансформаторов на соответствие техническим характеристикам, условиям эксплуатации и нормативным требованиям, что гарантирует их надёжную работу в течение длительного периода.

Расчёт токов короткого замыкания необходим для корректного выбора проводников и электрических аппаратов, способных выдерживать аварийные режимы работы.

На основании полученных данных, осуществляется выбор сечений

проводников, типов и марок силовых кабелей и коммутационных аппаратов, обеспечивающих безопасность и надёжность системы электроснабжения.

Разработка системы релейной защиты и автоматики питающей линии 10 кВ направлена на обеспечение быстрого и селективного отключения повреждённых участков сети, предотвращение развития аварийных ситуаций и минимизацию последствий для оборудования и персонала.

Применение современных микропроцессорных устройств релейной защиты позволяет повысить точность и скорость реагирования системы, а также интегрировать её в автоматизированные системы управления предприятием.

Таким образом, проведённые исследования и разработанные технические решения способствуют созданию эффективной и надёжной системы электроснабжения цеха металлоизделий, что позволяет повысить общую производительность предприятия, снизить эксплуатационные затраты и обеспечить соответствие современным стандартам в области энергетики и промышленной безопасности.

Реализация проекта внесёт вклад в устойчивое развитие предприятия ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» и укрепление его позиций на рынке.

1 Анализ исходных данных на выполнение работы

1.1 Общие сведения о предприятии

Как было установлено ранее, основная цель работы заключается в разработке оптимальной системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», отвечающей современным требованиям по надёжности, энергоэффективности и безопасности [12].

Рассматриваемый и проектируемый в работе цех металлоизделий является важнейшим подразделением ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», в котором реализуется полный цикл производства: от выплавки стали и чёрных металлов, до изготовления и реализации металлоизделий, включая металлические конструкции и детали для различных отраслей промышленности.

ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» расположен в городе Белорецк Республики Башкортостан, на улице Блюхера, 1.

План расположения ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» на карте городе Белорецк Республики Башкортостан, представлен в работе на рисунке 1.

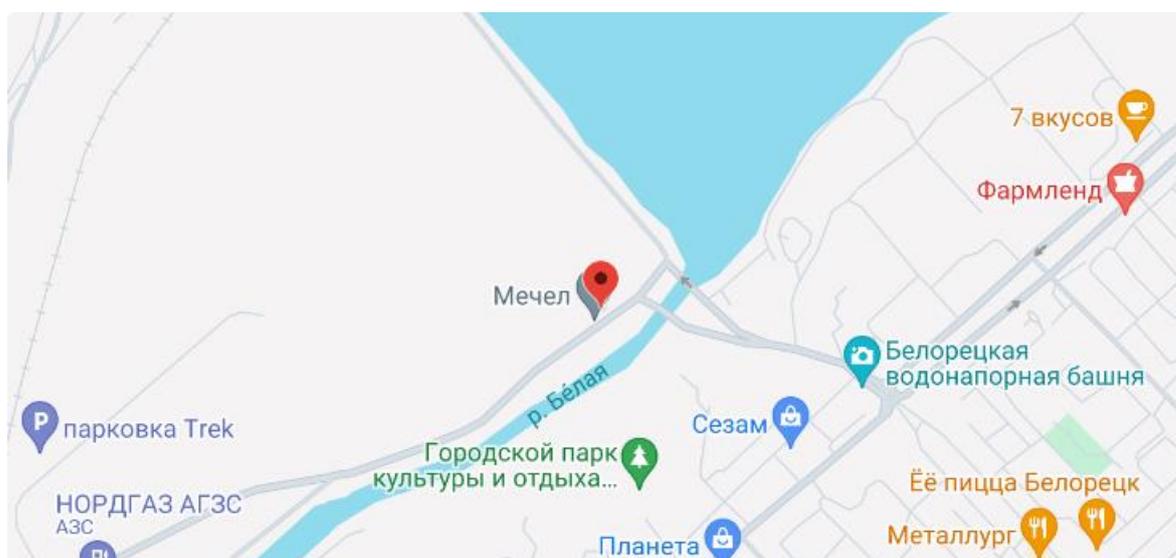


Рисунок 1 – План расположения ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» на карте городе Белорецк Республики Башкортостан

ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» является одним из ведущих предприятий металлургической промышленности Российской Федерации, специализирующимся на производстве высококачественных металлических изделий и материалов.

Комбинат обладает полным циклом металлургического производства, включающим добычу сырья, его переработку и выпуск готовой продукции, что обеспечивает независимость от внешних поставщиков и стабильность производственных процессов.

Предприятие располагает мощной производственной базой, включающей несколько цехов и участков, оснащенных современным оборудованием и технологическими линиями. Комбинат осуществляет полный цикл производства, начиная от проектирования и разработки конструкторской документации до выпуска готовой продукции и её последующего сервисного обслуживания.

Большое внимание уделяется научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности, что позволяет предприятию разрабатывать и внедрять в производство новые модели металлических изделий, соответствующие мировым стандартам.

Продукция предприятия включает широкий спектр металлоизделий, таких как стальные канаты, проволока различных диаметров и назначений, пружинная сталь, арматура и другие специализированные материалы. Высокое качество продукции достигается за счёт применения современных технологий металлургической переработки и строгого контроля на всех этапах производственного процесса. Особое внимание уделяется разработке новых марок стали с улучшенными физико-механическими свойствами, отвечающих требованиям высокотехнологичных отраслей промышленности.

Производственное оборудование комбината представлено современными агрегатами и установками, позволяющими осуществлять полную переработку сырья и получение высококачественной продукции.

В арсенале предприятия находятся электросталеплавильные печи,

прокатные станы, термические установки и оборудование для обработки металла под давлением.

Инвестиции в обновление и модернизацию оборудования позволяют поддерживать высокий уровень технологического процесса и соответствовать мировым стандартам качества.

Основные показатели деятельности комбината демонстрируют устойчивый рост производительности и эффективности.

Увеличение объёмов производства, снижение затрат на единицу продукции и повышение качества изделий свидетельствуют о правильности выбранной стратегии развития. Инвестиции в развитие предприятия направлены на обновление парка оборудования, автоматизацию производственных процессов и внедрение цифровых технологий.

Современные системы управления производством, применение современных программ автоматизации производства и анализ больших данных позволяют оптимизировать производственные процессы, повысить эффективность и снизить финансовые издержки. Особое внимание уделяется развитию человеческого капитала, обучению и повышению квалификации сотрудников, созданию безопасных и комфортных условий труда.

Финансовые показатели отражают стабильное положение предприятия на рынке, а внедрение энергосберегающих технологий способствует снижению производственных издержек и повышению конкурентоспособности продукции.

Торговые связи комбината охватывают как внутренний, так и международный рынки. Продукция предприятия поставляется в различные регионы России и экспортируется в страны ближнего и дальнего зарубежья.

Основными потребителями являются предприятия строительной индустрии, машиностроения, энергетики и других отраслей, требующих высококачественных металлических материалов.

Сотрудничество с крупными международными корпорациями укрепляет позиции комбината на мировом рынке и открывает новые

возможности для развития.

Рынки сбыта продукции характеризуются стабильным спросом и перспективами роста. Развитие инфраструктурных проектов, модернизация промышленных предприятий и увеличение объёмов строительства способствуют увеличению потребления металлических изделий.

Комбинат активно работает над расширением географии поставок, заключает долгосрочные контракты и участвует в международных выставках и форумах, что способствует укреплению его имиджа и привлечению новых партнёров.

Перспективы развития ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» связаны с дальнейшей модернизацией производства, внедрением инновационных технологий и расширением ассортимента продукции.

Стратегические планы включают увеличение доли продукции с высокой добавленной стоимостью, развитие научно-исследовательской базы и повышение квалификации персонала.

Таким образом, ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» представляет собой динамично развивающееся предприятие, успешно интегрированное в мировую металлургическую индустрию.

Сочетание богатого опыта, современных технологий и стратегического подхода к развитию обеспечивает комбинату устойчивое положение на рынке и перспективы дальнейшего роста.

Ориентация на качество, инновации и удовлетворение потребностей клиентов позволяет предприятию сохранять конкурентные преимущества и вносить значимый вклад в развитие металлургической отрасли России.

На предприятии проводится расширение производства с плановым увеличением производственных мощностей основных цехов предприятия, одним из которых является цех металлоизделий, проектированию которого посвящена настоящая работа. В связи с этим, далее в работе проводится анализ исходных данных по проектированию системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат».

1.2 Анализ исходных технических данных по объекту проектирования

Рассматриваемый в работе цех металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» является современным необходимым производственным звеном на данном металлургическом комбинате.

В цеху металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» организован полный цикл производства металлических изделий, включающий современные технологии и высокоточное оборудование [3].

Технологический процесс начинается с приёмки сырья, представленного стальными заготовками различных марок и размеров, которые проходят предварительную обработку для обеспечения качества последующих операций.

Первоначально заготовки подвергаются очистке на дробеструйной установке, где с поверхности удаляются окалина и загрязнения, улучшая адгезию в дальнейших процессах.

Затем материал направляется в индукционные нагревательные печи, где происходит равномерный нагрев до требуемой температуры для обеспечения оптимальных условий пластической деформации.

После нагрева заготовки поступают на ковочные прессы с усилием до 5000 тонн, где осуществляется формирование изделий сложной конфигурации. Применение гидравлических ковочных прессов с цифровым управлением позволяет достичь высокой точности и повторяемости геометрических параметров продукции.

Далее изделия проходят прокатку на реверсивном прокатном стане, оснащённом валками из высокопрочной инструментальной стали. Прокатка позволяет улучшить механические свойства металла и получить заданную форму и размер с минимальными допусками.

Для изготовления тонкостенных труб и профилей используется стан холодной прокатки труб, где заготовки проходят через систему роликов и

формируются в изделия необходимого сечения. Высокая скорость и точность процесса обеспечиваются автоматической системой контроля толщины и диаметра.

Процесс волочения проволоки осуществляется на многостанционных волочильных машинах, оснащённых алмазными волоками, что позволяет получать проволоку малого диаметра с высокой поверхностной чистотой. Применение индукционного отжига между стадиями волочения снижает напряжения в материале и предотвращает образование микротрещин.

Для термической обработки изделий используются вакуумные печи, обеспечивающие процессы закалки и отпуска в контролируемой атмосфере. Это позволяет улучшить твёрдость и прочность металла без риска окисления поверхности.

Механическая обработка деталей производится на токарных и фрезерных обрабатывающих станках с числовым программным управлением (далее – ЧПУ). Такие станки позволяют выполнять сложные операции с высокой точностью, включая сверление, нарезание резьбы и фрезерование сложных поверхностей.

Гибка металла осуществляется на листогибочных прессах с ЧПУ, позволяющих формировать изделия из листового материала под различными углами без потери прочностных характеристик. Управление процессом гибки полностью автоматизировано, что обеспечивает точность и повторяемость операций.

Для резки металлических листов и профилей применяется лазерный раскройный комплекс, позволяющий выполнять высокоточные резы с минимальными потерями материала. Лазерная резка обеспечивает высокую скорость и гибкость производства, что важно при работе с мелкосерийными заказами.

Сварочные работы выполняются на автоматизированных сварочных станциях с использованием технологий MIG/MAG и TIG сварки. Станции оснащены роботизированными манипуляторами, обеспечивающими высокое

качество сварных швов и повышающими производительность труда.

Обработка поверхности изделий проводится на линиях гальванического покрытия, где применяются процессы цинкования, хромирования и никелирования. Гальванические ванны оснащены системами автоматического контроля параметров электролита, что гарантирует равномерность и качество покрытия.

Для нанесения порошковых покрытий используется автоматическая линия порошковой окраски, включающая камеры напыления и полимеризации. Технология порошкового напыления обеспечивает высокую защиту от коррозии и привлекательный внешний вид продукции.

Контроль размеров и геометрии изделий осуществляется на координатно-измерительных машинах (КИМ), позволяющих проводить высокоточные измерения в трёхмерном пространстве. КИМ оснащены программным обеспечением для сравнения результатов измерений с конструкторской документацией.

Испытания на прочность и долговечность проводятся на разрывных машинах и установках для испытания на усталость металла. Внедрение данного процесса проверки позволяет гарантировать соответствие продукции требованиям стандартов и спецификаций заказчиков.

Транспортировка материалов и изделий внутри цеха обеспечивается с помощью мостовых кранов с грузоподъёмностью до 50 тонн и автоматизированных складских систем.

Управление кранами и складскими системами интегрировано в общую систему управления производством.

Система управления производственными процессами основана на программно-аппаратном комплексе MES, который обеспечивает планирование, контроль и оптимизацию всех этапов производства, что позволяет повысить эффективность использования ресурсов и снизить затраты.

Для обеспечения экологической безопасности и соблюдения норм

охраны окружающей среды в цехе установлены системы очистки газовых выбросов и сточных вод.

Фильтры и очистные сооружения предотвращают выброс вредных веществ в атмосферу и водные ресурсы.

Такое разнообразие оборудования позволяет цеху металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» выполнять широкий спектр производственных задач, обеспечивая высокое качество сборочных операций при производстве металлоизделий.

Всё перечисленное оборудование цеха металлоизделий – новое и современное.

Такие современные решения позволят существенно улучшить производительность цеха металлоизделий, обеспечивая высокое качество сварных соединений, оптимизацию производственных процессов и сокращение затрат.

Их практическое внедрение на объекте будет способствовать повышению безопасности на рабочем месте и улучшению условий труда рабочего персонала, минимизируя воздействие вредных факторов и увеличивая степень автоматизации и контроля всех производственных процессов.

Таким образом, технология производства в цехе металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» основана на использовании современного высокотехнологичного оборудования, автоматизации процессов и строгом контроле качества.

Наличие указанных аспектов позволяет выпускать конкурентоспособную продукцию, отвечающую высоким требованиям отечественных и зарубежных потребителей, и обеспечивает устойчивое развитие предприятия в современных условиях рынка.

Исходные данные основных потребителей цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», представлены в форме сводной таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные данные основных потребителей цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат»

Наименование потребителя	Номер потребителя по плану	Максимальная мощность потребителя, $P_{м.}$, кВт	Категория надёжности
Многостанционная волочильная машина №1	1	15,0	2
Система очистки сточных вод	2	11,0	2
Индукционная нагревательная печь №1	3	55,0	2
Стан холодной прокатки труб №1	4	25,0	2
Стан холодной прокатки труб №2	5	25,0	2
Индукционная нагревательная печь №2	6	65,0	1
Индукционная нагревательная печь №3	7	66,0	2
Вакуумная печь	8	230,0	2
Дробеструйная установка №1	9	3,0	1
Лазерный раскройный комплекс №1	10	2,2	1
Система очистки газовых выбросов №1	11	0,25	1
Система очистки газовых выбросов №2	12	0,25	1
Оборудование для ультразвукового контроля изделий	13	1,1	1
Дробеструйная установка №2	14	3,0	1
Реверсивный прокатный стан №1	15	11,0	1
Реверсивный прокатный стан №2	16	11,0	1
Ковочный пресс №1	17	7,5	1
Многостанционная волочильная машина №2	18	15,0	2
Линия гальванического покрытия	19	0,69	2
Автоматическая линия порошковой окраски	20	6,4	2
Автоматизированная сварочная станция №1	21	16,0	2
Автоматизированная сварочная станция №2	22	16,0	2
Автоматизированная сварочная станция №3	23	31,0	2
Стан холодной прокатки труб №3	24	26,3	2
Автоматизированная сварочная станция №4	25	43,3	2
Автоматизированная сварочная станция №5	26	32,6	2
Электродвигатель насоса емкости дренажной	27	1,5	1
Насос производственных стоков №1	28	30,0	2
Листогибочный пресс с ЧПУ №1	29	26,3	2
Многостанционная волочильная машина №3	30	15,0	2
Ковочный пресс №2	31	5,6	2
Насос технической воды №1	32	10,0	2
Насос технической воды №2	33	10,0	2
Установка для испытания на усталость металла	34	10,0	2
Лазерный раскройный комплекс №2	35	6,9	2
Листогибочный пресс с ЧПУ №2	36	34,2	2
Компрессор воздушный производственный №1	37	66,0	1
Компрессор воздушный производственный №2	38	65,0	2
Пескоструйный аппарат и камера	39	25,0	2
Координатно-измерительная машина	40	55,0	1
Реверсивный прокатный стан №3	41	11,0	1
Реверсивный прокатный стан №4	42	11,0	1

Продолжение таблицы 1

Наименование потребителя	Номер потребителя по плану	Максимальная мощность потребителя, $P_{м.э}$, кВт	Категория надёжности
Система очистки газовых выбросов №3	43	0,25	1
Система очистки газовых выбросов №4	44	0,25	1
Разрывная машина	45	2,2	1
Токарный станок с ЧПУ №1	46	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №2	47	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №3	48	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №4	49	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №5	50	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №6	51	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №7	52	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №8	53	11,0	2
Токарный станок с ЧПУ №9	54	11,0	2
Фрезерный станок с ЧПУ №1	55	3,0	2
Фрезерный станок с ЧПУ №2	56	3,0	2
Фрезерный станок с ЧПУ №3	57	3,0	2
Всего нагрузки по цеху	-	1211,79	1,2

Проведённый анализ исходных данных потребителей проектируемой системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» выявил, что объект включает основные производственные комплексы и техническое оборудование в количестве 57 единиц.

Общая установленная мощность нагрузок цеха составляет 1211,79 кВт, что свидетельствует о высоком уровне энергопотребления, характерном для металлургических производств.

Дополнительное изучение характеристик оборудования показало присутствие энергоёмких механизмов, таких как прокатные станы, ковочные прессы, термические печи и высокопроизводительные обрабатывающие центры с числовым программным управлением.

Указанные устройства требуют стабильного и надёжного электроснабжения, а также учёта пиковых нагрузок при пуске и регулировании режимов работы.

Таким образом, детальный анализ и учёт всех факторов, связанных с потребителями электроэнергии в цехе металлоизделий, являются важным условием для разработки эффективной и надёжной системы электроснабжения, соответствующей современным требованиям металлургической промышленности.

Выводы по разделу.

Показано, основная цель работы заключается в разработке оптимальной системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», отвечающей современным требованиям по надёжности, энергоэффективности и безопасности.

Приведена характеристика производственной и финансовой деятельности ОАО «Белорецкий металлургический комбинат».

Показано, что рассматриваемый в работе новый цех металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» является современным необходимым производственным звеном на данном металлургическом комбинате. В данном цеху организован полный цикл производства металлических изделий, включающий современные технологии и высокоточное оборудование.

Анализ исходных данных потребителей проектируемой системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» показал, что потребителями на объекте выступают основные производственные комплексы и техническое оборудование в количестве 57 единиц.

Таким образом установлено, что суммарная установленная мощность нагрузки цеха металлоизделий составляет 1211,79 кВт.

2 Выбор схемы электроснабжения цеха металлоизделий

Известно, что при проектировании системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» важно учитывать не только суммарную установленную мощность, но и особенности технологических процессов, надёжность потребителей, а также режимы работы оборудования и коэффициенты одновременности [17].

Высокая энергоёмкость процессов металлообработки обуславливает необходимость тщательного расчёта электрических нагрузок и выбора оптимальных схем питания, способных обеспечить надёжность и эффективность работы цеха.

Кроме того, перспективы расширения производства и внедрения новых технологических линий требуют закладывать в проект определённый резерв мощности, что позволит в будущем без существенных изменений в инфраструктуре обеспечить дополнительное энергоснабжение для нового оборудования, повышая гибкость и адаптивность системы электроснабжения к изменяющимся производственным потребностям.

Все приведённые условия должны быть реализованы в схеме электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», которая разрабатывается в работе далее.

Так как в цеху металлоизделий присутствуют потребители 1 и 2 категории надёжности, на цеховой ТП-10/0,4 кВ устанавливается два силовых трансформатора марки ТМГ, мощность которых выбирается в работе. Они питают две секции сборных шин 0,38/0,22 кВ на низком напряжении, от которых получают питание потребители цеха по магистральной схеме.

Расположение потребителей в цеху предусмотрено по рядам, поэтому для их питания лучшим вариантом будет использование питающих шинопроводов типа ШМА, от которых будут получать питание потребители цеха кабельными линиями на напряжении 0,38/0,22 кВ.

В работе для данной цели применяется сдвоенный шинопровод стандартного сечения марки АДЗ1 $2 \times (10 \times 100)$.

На цеховой подстанции 10/0,4 кВ применяется схема «Одна, секционированная выключателем, система сборных шин» [19]. Такая конфигурация предусматривает разделение системы сборных шин на секции с использованием шинных мостов для соединения и обеспечения связи между ними.

Резервирование в данной схеме реализовано с помощью секционного автоматического выключателя, который в нормальных условиях находится в отключённом состоянии.

В случае аварии включение резервного питания осуществляется автоматически благодаря установленной на секционном выключателе системе автоматического включения резерва (АВР) [15].

Данная схема электрических соединений обладает множеством значительных преимуществ.

Ключевым достоинством схемы является её высокая надёжность и гибкость.

Секционирование сборных шин посредством выключателя позволяет оптимально управлять потоками электроэнергии и проводить техническое обслуживание без полного отключения цеховой подстанции 10/0,4 кВ.

Наличие данного аспекта особенно важно для поддержания непрерывного электроснабжения: одна секция шин может оставаться в рабочем состоянии, пока другая находится в процессе ремонта или послеаварийном восстановлении.

Благодаря такому подходу, создаются условия для эффективного резервирования электроснабжения, что минимизирует риски отключения потребителей при аварийных ситуациях.

Система АВР обеспечивает быстрое автоматическое восстановление питания в случае аварии, что повышает общую надёжность работы подстанции.

Кроме того, данная схема способствует увеличению эксплуатационной гибкости, так как позволяет оперативно переключать нагрузку между секциями, обеспечивая тем самым стабильную работу всей системы.

Таким образом, выбранная для применения на цеховой подстанции схема секционированной системы сборных шин обеспечивает необходимые и достаточные условия для надёжного резервирования и эффективного управления потоками электроэнергии, что значительно улучшает эксплуатационные характеристики подстанции и повышает надёжность электроснабжения потребителей [15].

На стороне 10 кВ цеховой подстанции ТП-10/0,4 кВ устанавливаются следующие коммутационные и защитные аппараты, выбор которых предполагается в работе далее:

- выключатели нагрузки – 2 единицы;
- предохранители плавкие – 2 единицы.

Кроме того, в двух ячейках на питающей ГПП-110/10 кВ предприятия, откуда получает питание рассматриваемая ТП-10/0,4 кВ, установлены высоковольтные выключатели марки ВБЭ-10-20/1000 УХЛ2, трансформаторы тока ТОЛ-СВЭЛ-10 и ограничители перенапряжения марки ОПНп-10/11,5/10/550 УХЛ1.

На стороне 0,38/0,22 кВ ТП-10/0,4 кВ устанавливаются выключатели автоматические марки ВА различных назначений (вводные, секционный и линейные) и типономиналов.

Выбор всех перечисленных аппаратов проводится в работе далее на основе расчёта нагрузок.

От секций сборных шин 0,4 кВ питающей цеховой ТП-10/0,4 кВ получают питание основное оборудование на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Таким образом, с учётом принятых решений, выбрана и обоснована схема системы электроснабжения цеха металлоизделий, отвечающая нормам и требованиям нормативных документов.

Выводы по разделу.

В цехе металлоизделий присутствуют потребители первой и второй категории надёжности, что требует повышенных мер по обеспечению бесперебойного электроснабжения. Для этого на цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ установлены два силовых трансформатора 10/0,4 кВ, обеспечивающие питание двух секций сборных шин на низком напряжении 0,38/0,22 кВ. От этих секций по радиальной схеме получают питание все потребители цеха, что позволяет обеспечить надёжное и стабильное электроснабжение оборудования, минимизируя риски аварийных ситуаций.

Расположение оборудования и потребителей в цехе организовано по рядам, что делает наиболее подходящим использование питающих шинопроводов типа ШМА, подключение к которым осуществляется с использованием кабельных линий на напряжении 0,38/0,22 кВ, что способствует повышению гибкости системы электроснабжения.

На цеховой подстанции 10/0,4 кВ принята схема с одной, секционированной выключателем системой сборных шин. Такая схема предусматривает разделение сборных шин на две секции с использованием шинных мостов, что позволяет соединять секции и поддерживать связь между ними. Резервирование реализовано с помощью секционного автоматического выключателя, который в нормальных условиях находится в отключённом состоянии. В случае выхода из строя одного из трансформаторов, секционный выключатель автоматически включается, обеспечивая подачу питания от оставшегося трансформатора на обе секции шин, что существенно повышает надёжность электроснабжения.

Принятая схема системы электроснабжения цеха металлоизделий отвечает современным нормативным требованиям и обеспечивает надёжность, гибкость и безопасность электроснабжения. Использование двух трансформаторов, шинопроводов и секционированной системы сборных шин позволяет минимизировать потери электроэнергии, повысить надёжность и обеспечить возможность быстрого восстановления в аварийных ситуациях.

3 Расчет электрических нагрузок цеха металлоизделий

Для цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» точный и обоснованный расчёт электрических нагрузок представляет собой один из ключевых элементов проектирования и модернизации системы электроснабжения.

Расчёт электрических нагрузок имеет решающее значение для оптимизации распределения электроэнергии внутри цехов, что позволяет обеспечить бесперебойную работу технологического оборудования, повысить надёжность производственных процессов и снизить операционные издержки благодаря эффективному управлению энергоресурсами.

Внедрение новых технологий производственных мощностей и оборудования требуют внимательного учёта как текущих, так и прогнозируемых потребностей в энергии. Энергетическая система предприятия должна быть способна адаптироваться к изменениям в производстве, что делает важным проведение всестороннего анализа текущих и будущих нагрузок. Таким образом, расчёт электрических нагрузок позволяет не только оценить текущую ситуацию, но и спланировать развитие энергетической инфраструктуры с учётом перспектив расширения производства и введения новых технологических процессов.

Кроме того, точный расчёт электрических нагрузок способствует улучшению эксплуатационных характеристик системы электроснабжения. На основании этих данных выбираются параметры основного электротехнического оборудования, включая трансформаторы, кабельные линии, коммутационные аппараты и системы защиты.

Правильный выбор и настройка оборудования на этапе проектирования позволяют минимизировать риски аварийных ситуаций и перегрузок, продлить срок службы электрических установок и обеспечить их надёжную работу. Данные аспекты особенно важны для цеха металлоизделий, где даже

кратковременные перебои в электроснабжении могут повлечь за собой значительные потери и сбои в технологическом процессе.

Расчёт электрических нагрузок также оказывает положительное влияние на повышение энергоэффективности производства. Понимание особенностей энергопотребления различных технологических узлов позволяет оптимизировать использование оборудования и сократить издержки на электроэнергию, что положительно сказывается на экономической эффективности всего предприятия. Оптимальное распределение нагрузки и выбор соответствующих параметров коммутационного оборудования способствуют снижению потерь энергии и увеличению рентабельности производственного процесса.

Энергетическая безопасность и эффективность производственного цикла являются ключевыми приоритетами для цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат». Проведение точного расчёта электрических нагрузок позволяет предприятию гибко реагировать на изменения в технологических процессах, адаптировать систему электроснабжения к новым условиям, обеспечивать её устойчивую работу и предотвратить сбои. Учитывая сложные производственные процессы и необходимость их непрерывности, корректное проектирование электроснабжения на основе детальных расчётов становится неотъемлемой частью стратегического планирования и управления ресурсами предприятия.

В данной работе проводится расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей системы электроснабжения цеха металлоизделий. Основной задачей на этом этапе является определение расчётных значений активной, реактивной и полной нагрузок для каждого присоединения потребителей, что позволит сформировать базу для дальнейшего выбора и проверки оборудования, оптимального распределения энергии и обеспечения надёжной и эффективной работы цеха.

«Расчётная активная нагрузка потребителей системы электроснабжения цеха металлоизделий» [8]:

$$P_p = P_m, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где P_m – максимальная мощность потребителя системы электроснабжения цеха металлоизделий, кВт (таблица 1).

«Расчётная реактивная нагрузка» [8] потребителей системы электроснабжения цеха металлоизделий:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где « $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности» [8].

«Расчётная полная нагрузка» [8] потребителей системы электроснабжения цеха металлоизделий:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (3)$$

«Расчётный ток нормального режима» потребителей системы электроснабжения цеха металлоизделий [8]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (4)$$

где S_{np} – полная мощность присоединения потребителя цеха, кВА;

$U_{\text{ном.}}$ – номинальное напряжение присоединения, кВ.

Расчёт нагрузок потребителей системы электроснабжения цеха металлоизделий проводится на примере первого присоединения СШ-1 0,38/0,22 кВ (многостанционная волочильная машина №1):

$$P_p = 15 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 15 \cdot 0,4 = 6,0 \text{ квар},$$

$$S_{np} = \sqrt{15^2 + 6^2} = 16,2 \text{ кВА},$$

$$I_p = \frac{16,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 24,6 \text{ А}.$$

«Суммарная расчётная нагрузка секций сборных шин 0,38/0,22 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий» [8]:

$$P_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{np}, \quad (5)$$

$$Q_{\Sigma} = K_0 \sum_{i=1}^n Q_{np}, \quad (6)$$

где « K_0 – коэффициент одновременности» [8];

$\sum_{i=1}^n P_{np}$ – «суммарная активная нагрузка присоединений, кВт» [8];

$\sum_{i=1}^n Q_{np}$ – «суммарная реактивная нагрузка присоединений, квар» [8].

«Значение полной расчётной нагрузки секций сборных шин 0,38/0,22 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий» [8]:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}. \quad (7)$$

«Значение расчётного рабочего тока нормального режима секций сборных шин 0,38/0,22 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий» [8]:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (8)$$

Итоговые результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения цеха металлоизделий приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Итоговые результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения цеха металлоизделий

Наименование потребителя	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
СШ1-0,38/0,22 кВ				
Многостанционная волочильная машина№1	15,0	6,0	16,2	24,6
Система очистки сточных вод	11,0	4,4	11,8	18,0
Индукционная нагревательная печь№1	55,0	22	59,2	90,0
Стан холодной прокатки труб №1	25,0	10,0	26,9	40,9
Стан холодной прокатки труб №2	25,0	10,0	26,9	40,9
Индукционная нагревательная печь№2	65,0	26,0	70,0	106,4
Индукционная нагревательная печь№3	66,0	26,4	71,1	108,0
Вакуумная печь	230,0	92,0	247,7	376,5
Дробеструйная установка№1	3,0	1,2	3,2	4,9
Лазерный раскройный комплекс №1	2,2	0,88	2,4	3,6
Система очистки газовых выбросов№1	0,25	0,1	0,3	0,4
Система очистки газовых выбросов№2	0,25	0,1	0,3	0,4
Оборудование для ультразвукового контроля изделий	1,1	0,44	1,2	1,8
Дробеструйная установка№2	3,0	1,2	3,2	4,9
Реверсивный прокатный стан №1	11,0	4,4	11,8	18,0
Реверсивный прокатный стан №2	11,0	4,4	11,8	18,0
Ковочный пресс №1	7,5	3,0	8,1	12,3
Многостанционная волочильная машина№2	15,0	6,0	16,2	24,6
Линия гальванического покрытия	0,69	0,276	0,7	1,1
Автоматическая линия порошковой окраски	6,4	2,56	6,9	10,5
Автоматизированная сварочная станция №1	16,0	6,4	17,2	26,2
Автоматизированная сварочная станция №2	16,0	6,4	17,2	26,2
Автоматизированная сварочная станция №3	31,0	12,4	33,4	50,7
Стан холодной прокатки труб №3	26,3	10,52	28,3	43,0
Всего по СШ1-0,38/0,22 кВ ($K_o = 0,8$)	514,2	205,7	553,8	841,6
СШ2-0,38/0,22 кВ				
Автоматизированная сварочная станция №4	43,3	17,3	46,6	70,9
Автоматизированная сварочная станция №5	32,6	13,0	35,1	53,4
Электродвигатель насоса емкости дренажной	1,5	0,6	1,6	2,5
Насос производственных стоков №1	30,0	12,0	32,3	49,1
Листогибочный пресс с ЧПУ №1	26,3	10,52	28,3	43,0
Многостанционная волочильная машина№3	15,0	6,0	16,2	24,6
Ковочный пресс №2	5,6	2,2	6,0	9,2
Насос технической воды №1	10,0	4,0	10,8	16,4
Насос технической воды №2	10,0	4,0	10,8	16,4
Установка для испытания на усталость металла	10,0	4,0	10,8	16,4
Лазерный раскройный комплекс №2	6,9	2,76	7,4	11,3
Листогибочный пресс с ЧПУ №2	34,2	13,68	36,8	56,0
Компрессор воздушный производственный №1	66,0	26,4	71,1	108,0
Компрессор воздушный производственный №2	65,0	26,0	70,0	106,4

Продолжение таблицы 2

Наименование потребителя	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Пескоструйный аппарат и камера	25,0	10,0	26,9	40,9
Координатно-измерительная машина	55,0	22,0	59,2	90,0
Реверсивный прокатный стан №3	11,0	4,4	11,8	18,0
Реверсивный прокатный стан №4	11,0	4,4	11,8	18,0
Система очистки газовых выбросов №3	0,25	0,1	0,3	0,4
Система очистки газовых выбросов №4	0,25	0,1	0,3	0,4
Разрывная машина	2,2	0,9	2,4	3,6
Токарный станок с ЧПУ №1	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №2	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №3	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №4	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №5	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №6	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №7	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №8	11,0	4,4	11,8	18,0
Токарный станок с ЧПУ №9	11,0	4,4	11,8	18,0
Фрезерный станок с ЧПУ №1	3,0	1,2	3,2	4,9
Фрезерный станок с ЧПУ №2	3,0	1,2	3,2	4,9
Фрезерный станок с ЧПУ №3	3,0	1,2	3,2	4,9
Всего по СШ-2-0,4 кВ ($K_o = 0,8$)	455,3	182,1	490,4	745,2
Всего нагрузки по ТП-10/0,4 кВ	969,5	387,8	1044,2	1586,9

Полученные результаты расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения цеха металлоизделий используются в работе далее.

Выводы по разделу.

В результате проведённого расчёта электрических нагрузок для отдельных присоединений потребителей и секций сборных шин напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий были получены следующие ключевые значения.

Для первой секции сборных шин СШ-1 0,38/0,22 кВ подстанции, с учётом коэффициента одновременности, равного 0,8, расчётная активная мощность составила 514,2 кВт, реактивная мощность – 205,7 квар, полная мощность – 553,8 кВА, а ток нагрузки – 841,6 А.

Аналогично для второй секции сборных шин СШ-2 0,38/0,22 кВ подстанции, с учётом того же коэффициента, активная мощность равна 455,3

кВт, реактивная – 182,1 квар, полная мощность – 490,4 кВА, ток нагрузки – 745,2 А.

Суммарная расчётная нагрузка подстанции составила 969,5 кВт активной мощности, 387,8 квар реактивной мощности и 1044,2 кВА полной мощности. Ток нагрузки всей подстанции, исходя из этих значений, равен 1586,9 А.

Полученные результаты позволяют оценить распределение нагрузок на секциях сборных шин, а также определить параметры оборудования, необходимого для надёжной и стабильной работы системы электроснабжения цеха металлоизделий.

Представленные расчётные данные служат основой для дальнейшего проектирования и выбора трансформаторов, коммутационного оборудования и защитных устройств.

Точные значения активных, реактивных и полных мощностей позволяют обеспечить надлежащее распределение нагрузок между секциями шин и оптимально настроить параметры защиты.

Такой подход способствует снижению риска перегрузок и обеспечивает надёжную работу всех потребителей цеха в условиях номинальных и послеаварийных режимов.

4 Выбор и проверка трансформаторов цеховой подстанции

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов цеховой подстанции 10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат».

«Мощность силовых трансформаторов цеховой ТП-10/0,4 кВ определяется с учётом её загрузки активной мощностью» [10]:

$$S_{ном.Т} \geq \frac{P_{р.}}{2 \cdot \beta_m}, \quad (9)$$

где « $\beta_m=0,8$ (для питания потребителей преимущественно II категории надёжности)» [18].

Предварительная проверка трансформаторов цеховой ТП-10/0,4 кВ по номинальной мощности выполняется:

$$S_{ном.Т} \geq \frac{969,5}{2 \cdot 0,75} = 646,3 \text{ кВА}.$$

Выбирается для установки на цеховой подстанции 10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10.

На следующем этапе проводится проверка выбранного типа трансформатора, при этом основное внимание уделяется его перегрузочной способности.

Оценка перегрузочной способности трансформаторов подстанции является важнейшей составляющей процесса эксплуатации и гарантии надёжности работы оборудования.

Данный процесс направлен на определение способности силового

трансформатора выдерживать нагрузки, превышающие номинальные параметры в послеаварийных режимах, при этом сохраняя свои эксплуатационные характеристики и исключая риск повреждений [5].

Особое значение этот аспект приобретает в случае возникновения нештатных ситуаций, когда трансформатор вынужден работать при повышенных нагрузках в течение определённого времени.

Известно, что в процессе эксплуатации силовые трансформаторы подстанций подвергаются значительным электрическим и тепловым нагрузкам, которые могут вызывать перегрев обмоток и других критически важных элементов, что повышает вероятность их повреждений.

Проверка перегрузочной способности позволяет оценить, насколько трансформатор способен выдерживать такие условия без ущерба для своей надёжности и безопасности [14].

Загрузка каждого трансформатора в нормальном режиме [18]:

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,75. \quad (10)$$

Условия данной проверки выполняются:

$$K_3^n = \frac{1044,2}{1000 \cdot 2} = 0,52 \leq 0,75.$$

Проверка в максимальном режиме работы цеховой ТП-10/0,4 кВ [18]:

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,5. \quad (11)$$

Условия этой проверки также выполняются:

$$K_3^{n.av} = \frac{1044,2}{1000} = 1,044 \leq 1,5.$$

Таким образом, исходя из полученного результата установлено, что для системы электроснабжения цеха металлоизделий два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 оптимально подходят для питания нагрузки потребителей.

Выводы по разделу.

На основании проведённого анализа установлено, что два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10, рекомендованные для установки на цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий, оптимально подходят для питания всей производственной нагрузки.

Определено, что данные трансформаторы соответствуют необходимым требованиям по резервированию и экономичности, что подтверждает их высокую эффективность и безопасность в эксплуатации.

5 Расчет токов короткого замыкания

Известно, что цех металлоизделий, являясь одним из энергозатратных подразделений металлургического комбината, предъявляет повышенные требования к качеству электроснабжения.

В связи с этим расчёт токов короткого замыкания (КЗ) становится критически важным этапом в проектировании системы электроснабжения данного объекта.

Целью расчёта токов короткого замыкания является определение максимальных значений токов, которые могут возникнуть в различных точках сети при аварийных режимах работы. Результаты расчёта позволяют минимизировать риски, связанные с повреждением оборудования, предотвратить перегрев кабелей, возгорания, механические разрушения и аварийное отключение электроснабжения.

Расчёт токов короткого замыкания также играет ключевую роль в обеспечении электробезопасности персонала, который обслуживает систему электроснабжения. Определение величин возможных токов КЗ позволяет подобрать соответствующие средства защиты и разработать меры предосторожности, направленные на предотвращение травматизма и минимизацию риска для здоровья работников в случае аварийных ситуаций. В условиях современного производства, где надёжность оборудования и безопасность труда занимают приоритетное место, данные меры приобретают особое значение.

Кроме того, проведение расчёта токов короткого замыкания способствует оптимизации экономических затрат на эксплуатацию системы электроснабжения.

Правильный выбор оборудования, способного выдержать возможные максимальные токи КЗ, позволяет сократить издержки на ремонт и замену повреждённых компонентов, а также увеличивает срок службы электротехнических устройств.

Таким образом, расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения цеха металлоизделий не только повышает надёжность и безопасность работы, но и способствует оптимизации производственных процессов, снижению затрат и увеличению эффективности использования энергетических ресурсов. Данный процесс является важной частью комплексного подхода к управлению и развитию энергетической инфраструктуры промышленных предприятий.

На первом этапе необходимо составить расчётную схему электрической сети, на которой будут определены основные расчётные точки короткого замыкания, где требуется вычислить максимальный ток в послеаварийном режиме.

В данном случае питание цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ будет осуществляться по одной линии напряжением 10 кВ от заводской главной понизительной подстанции 110/10 кВ.

Схема для проведения расчёта токов короткого замыкания на выводах трансформатора цеховой подстанции 10/0,4 кВ представлена в работе на рисунке 2.

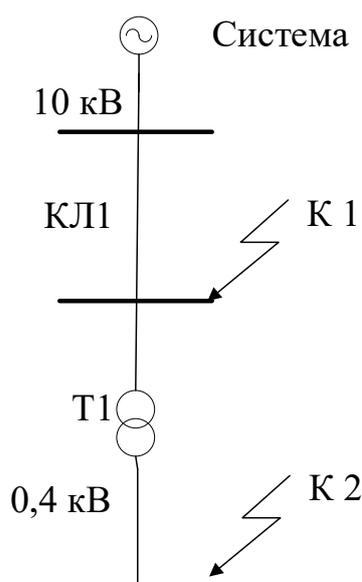


Рисунок 2 – Схема для расчёта токов КЗ на выводах трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий

Эквивалентная схема замещения для расчёта токов КЗ на выводах трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий представлена на рисунке 3.

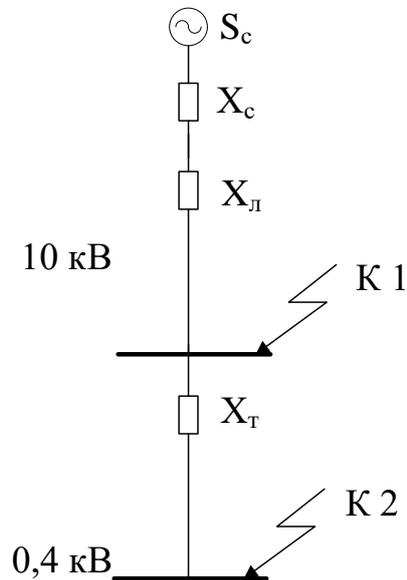


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения для расчёта токов КЗ на выводах трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий

Рассчитываются параметры схемы замещения.

«Базисные условия» [16]:

$$S_{\sigma} = S_c = 1000 \text{ МВА},$$

$$U_{\sigma} = 10,5 \text{ кВ},$$

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}, \text{ кА}, \quad (12)$$

$$I_{\sigma} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}.$$

«Сопротивления схемы замещения» [16]:

$$x_c = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_c}, \quad (13)$$

$$x_c = \frac{1000}{1000} = 1,$$

$$r_c = \frac{x_c}{50}, \quad (14)$$

$$r_c = \frac{1}{50} = 0,02.$$

«Сопротивления питающей кабельной линии 10 кВ» [16]:

$$x_l = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2}, \quad (15)$$

$$x_l = 0,08 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 1,45,$$

$$r_l = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2}, \quad (16)$$

$$r_l = 0,043 \cdot 2 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 8,04.$$

«Активное сопротивление трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ» [16]:

$$r_m = \frac{\Delta P_k \cdot U_n^2}{S_{ном.т.}^2}, \quad (17)$$

где ΔP_k - потери короткого замыкания силового трансформатора

(справочные данные), кВт;

$S_{ном.т.}$ - номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, принятого для установки на цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий, кВА.

$$r_m = \frac{20000 \cdot 10^2}{1000^2} = 2.$$

«Индуктивное сопротивление трансформатора» [16]:

$$x_m = \frac{U_k \cdot U_n^2}{100 \cdot S_{ном.т.}^2}, \quad (18)$$

где U_k - напряжение короткого замыкания силового трансформатора (справочные данные), %.

$$x_m = \frac{6,5 \cdot 10^2}{100 \cdot 1000^2} = 0,065.$$

«Суммарное полное сопротивление трансформатора» [16]:

$$Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}, \quad (19)$$

$$Z_m = \sqrt{2^2 + 0,065^2} \approx 2,00.$$

«Суммарные сопротивления к точке К1» [16]:

$$x_\Sigma = x_c + x_n, \quad (20)$$

$$x_\Sigma = 1 + 1,45 = 2,45,$$

$$r_\Sigma = r_c + r_n, \quad (21)$$

$$r_\Sigma = 0,02 + 8,04 = 8,06,$$

$$z = \sqrt{x_\Sigma^2 - r_\Sigma^2}, \quad (22)$$

$$z = \sqrt{2,45^2 - 8,06^2} = 8,42.$$

«Ток КЗ в точке К1» [16]:

$$I_{III}^{(3)} = \frac{I_6}{z}, \text{кА}, \quad (23)$$

$$I_{III}^{(3)} = \frac{55}{8,42} = 6,5 \text{кА}.$$

«Ударный ток КЗ в точке К1» [16]:

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot I_{III}^{(3)} \cdot K_y, \text{кА}, \quad (24)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [16].

«Так как на шинах питающей энергосистемы $\beta'' = 1$, поэтому» [16]:

$$I_\infty = I'' = I_n. \quad (25)$$

«Следовательно, ударный коэффициент можно принять равным единице» [16]:

$$i_{y\partial K1} = \sqrt{2} \cdot 6,5 \cdot 1 = 9,2 \text{кА}.$$

«Суммарные сопротивления к точке К2» [16]:

$$x_\Sigma = x_c + x_l + x_m, \quad (26)$$

$$x_\Sigma = 1 + 1,45 + 0,065 \approx 2,52,$$

$$r_\Sigma = r_c + r_l + r_m, \quad (27)$$

$$r_\Sigma = 0,02 + 8,04 + 2 = 10,06,$$

$$z = \sqrt{x_\Sigma^2 - r_\Sigma^2}, \quad (28)$$

$$z = \sqrt{2,52^2 + 10,06^2} = 10,37.$$

«Ток КЗ в точке К2» [16]:

$$I_{II2}^{(3)} = \frac{I_6}{z}, \text{ кА}, \quad (29)$$

$$I_{II2}^{(3)} = \frac{55}{10,37} = 5,3 \text{ кА}.$$

«Ударный ток КЗ в точке К2» [16]:

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot I_{II2}^{(3)} \cdot K_y, \text{ кА}, \quad (30)$$

где « K_y – ударный коэффициент» [16].

«Так как на шинах питающей энергосистемы $\beta'' = 1$ » [16]:

$$I_\infty = I'' = I_n. \quad (31)$$

«Ударный коэффициент можно принять равным единице» [16]:

$$i_{y\partial K2} = \sqrt{2} \cdot 5,3 \cdot 1 = 7,5 \text{ кА}.$$

Результаты расчётов токов КЗ на выводах трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов токов КЗ на выводах трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий

Параметр	Числовое значение параметра, кА	
	Точка К1	Точка К2
$I_{IIi}^{(3)}$	6,5	5,3
$i_{y\partial.K}$	9,2	7,5

Полученные результаты токов КЗ на выводах трансформатора цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий будут использованы в работе далее.

Выводы по разделу.

В результате расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения цеха металлоизделий были получены следующие ключевые значения:

- трёхфазный ток короткого замыкания в максимальном режиме на выводах 10 кВ силового трансформатора цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ составляет 6,5 кА, а значение ударного тока трёхфазного короткого замыкания – 9,2 кА;
- для выводов 0,4 кВ силового трансформатора цеховой трансформаторной подстанции значение трёхфазного тока короткого замыкания в максимальном режиме составляет 5,3 кА, а ударный ток трёхфазного короткого замыкания равен 7,5 кА.

6 Выбор и проверка проводников и электрических аппаратов

6.1 Выбор проводников системы электроснабжения цеха металлоизделий

Следующим важным этапом проектирования системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» является выбор и проверка марок и сечений проводников, а также способа их канализации.

Особое внимание уделяется выбору проводников для потребителей цеха, что позволит обеспечить стабильное и надёжное электроснабжение.

Учитывая особенности технологического процесса, включая наличие взрывоопасных и пожароопасных материалов, выбор проводников должен соответствовать высоким требованиям по безопасности и надёжности.

Для электроснабжения объектов, имеющих взрывоопасные и пожароопасные зоны, рекомендуется использовать исключительно скрытую прокладку проводников с двойной изоляцией, что позволяет повысить уровень электробезопасности и предотвратить возникновение аварийных ситуаций.

В связи с этим в работе предлагается скрытая прокладка проводников для питания подстанции ТП-10/0,4 кВ на напряжении 10 кВ, а также для потребителей на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Такой подход обеспечивает дополнительную защиту от воздействия внешних факторов, повышает надёжность системы и увеличивает уровень безопасности персонала, обслуживающего электрооборудование.

Выбор кабельных линий для системы электроснабжения обоснован их способностью обеспечивать надёжную передачу электроэнергии, минимизировать риски повреждений и повысить общую безопасность эксплуатации [14].

Кабельные линии, используемые на промышленных объектах, должны обладать высокой стойкостью к механическим повреждениям, резким температурным колебаниям и воздействию агрессивных сред.

Перечисленные условия особенно актуальны для цеха металлоизделий, где присутствуют потенциальные опасности, связанные с характером производства.

Поэтому рекомендуется использовать кабели с улучшенной изоляцией и дополнительной защитной оболочкой, что позволяет достигнуть максимальной надёжности и долговечности работы электросистемы.

Кроме того, использование скрытой прокладки кабельных линий на всей трассе системы электроснабжения способствует их дополнительной защите от внешних воздействий, снижает риск механических повреждений и увеличивает срок службы.

Данный метод прокладки также существенно уменьшает вероятность возникновения пожаров и аварийных ситуаций, связанных с повреждением электропроводки, особенно в условиях промышленных помещений, где уровень пожароопасности высок.

Таким образом, реализация мероприятий по выбору и прокладке кабельных линий обеспечивает надёжное и безопасное электроснабжение как основных потребителей, так и систем собственных нужд.

Внедрение таких решений позволяет минимизировать риски, повысить эффективность эксплуатации оборудования и обеспечить стабильную работу всей системы электроснабжения.

С учётом наличия взрывоопасных и пожароопасных материалов в сварочном цехе, в качестве питающей кабельной линии на напряжении 10 кВ предлагается использовать современный тип изолированных проводников марки АПвКВнг(А)-LS с алюминиевыми жилами, изоляцией из сшитого полиэтилена и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката пониженной горючести [6].

Данный тип кабеля обладает низкими показателями дымо- и газовыделения, что делает его оптимальным решением для использования в условиях, где безопасность играет первостепенную роль.

Приводится методика выбора и проверки проводников в системе электроснабжения цеха, с примером выбора и последующих проверок на примере питающей кабельной линии 10 кВ.

«По экономической плотности тока» [9]:

$$F_э = \frac{I_{p.}}{j_э}, \quad (32)$$

где $I_{p.}$ - значение расчётного тока кабельной линии в нормальном режиме на стороне 10 кВ;

« $j_э$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [15].

Значение расчётного тока кабельной линии в нормальном режиме на стороне 10 кВ принимается равным току на стороне ТП-10/0,4 кВ:

$$I_{p.} = \frac{S_{ном.т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (33)$$

где $S_{ном.т}$ - номинальная мощность трансформатора ТП-10/0,4 кВ, кВА.

Для питающего кабеля 10 кВ цеха металлоизделий:

$$I_{p.} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ А.}$$

Сечение питающего кабеля 10 кВ цеха металлоизделий:

$$F_э = \frac{57,7}{1,4} = 41,2 \text{ мм}^2.$$

Далее проводится проверка выбранной кабельной линии для питания подстанции ТП-10/0,4 кВ, которая состоит из двух силовых кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×35/16 [6].

Проверка направлена на подтверждение того, что выбранные кабели способны выдерживать предполагаемые электрические и тепловые нагрузки, обеспечивать надёжное питание цеха и соответствовать всем действующим нормативным требованиям.

Указанный процесс является важной составляющей для достижения целей безопасного и эффективного электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат».

«Проверка выбранного сечения кабеля в нормальном режиме» [10]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_p, \quad (34)$$

где $I_{\text{дон}}$ – допустимый ток кабельной линии (справочные данные, зависящие от марки кабеля и сечения его жил, а также от типа изоляции, А [10].

Для питающего кабеля 10 кВ цеха металлоизделий проверка выполнена:

$$96 \text{ A} \geq 57,7 \text{ A}.$$

«Проверка КЛ в послеаварийном режиме работы» [10]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (35)$$

где $I_{p.\text{max}}$ – максимальный ток, А» [10].

Ток КЛ в послеаварийном режиме:

$$I_{p,\max} = K_p \cdot I_p, \quad (36)$$

где K_p – коэффициент резервирования (с учётом существующего резервирования для потребителей 2 категории надёжности, принимается значение $K_p = 1,4$) [15].

Для питающего кабеля 10 кВ цеха металлоизделий проверка выполнена:

$$96A \geq 57,7 \cdot 1,4 = 80,8A.$$

«Проверка кабеля по механическим условиям» [10]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (37)$$

Для питающего кабеля 10 кВ проверка выполнена:

$$35 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, применение силовых кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×35/16 для питания системы электроснабжения цеха металлоизделий на напряжении 10 кВ от заводской ГПП-110/10 кВ ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», обосновано технически расчётным путём.

Выбор остальных кабельных линий системы электроснабжения цеха металлоизделий проведён аналогично с приведением полученных результатов в таблице 4.

Для сети 0,38/0,22 кВ цеха металлоизделий металлургического комбината, выбираются новейшие кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвПбШв [7].

Таблица 4 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий

Линия	I_p , А	Марка кабеля	$I_{доп.}$, А
Питающая сеть 10 кВ			
Питающая КЛ-10 кВ (от ГПП) – ввод 1	57,7	АПвКВнг(А)-LS 3×35/16	96
Питающая КЛ-10 кВ (от ГПП) – ввод 2	57,7	АПвКВнг(А)-LS 3×35/16	96
Распределительная сеть 0,38/0,22 кВ			
СШ1-0,38/0,22 кВ			
Многостанционная волочильная машина №1	24,6	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Система очистки сточных вод	18,0	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Индукционная нагревательная печь №1	90,0	АПвП6Шв 5×16	94,0
Стан холодной прокатки труб №1	40,9	АПвП6Шв 5×4	45,0
Стан холодной прокатки труб №2	40,9	АПвП6Шв 5×4	45,0
Индукционная нагревательная печь №2	106,4	АПвП6Шв 5×25	112,0
Индукционная нагревательная печь №3	108,0	АПвП6Шв 5×25	112,0
Вакуумная печь	376,5	АПвП6Шв 2× (5×70)	2×190= =380
Дробеструйная установка №1	4,9	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Лазерный раскройный комплекс №1	3,6	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Система очистки газовых выбросов №1	0,4	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Система очистки газовых выбросов №2	0,4	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Оборудование для ультразвукового контроля изделий	1,8	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Дробеструйная установка №2	4,9	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Реверсивный прокатный стан №1	18,0	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Реверсивный прокатный стан №2	18,0	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Ковочный пресс №1	12,3	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Многостанционная волочильная машина №2	24,6	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Линия гальванического покрытия	1,1	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Автоматическая линия порошковой окраски	10,5	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Автоматизированная сварочная станция №1	26,2	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Автоматизированная сварочная станция №2	26,2	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Автоматизированная сварочная станция №3	50,7	АПвП6Шв 5×6	54,0
Стан холодной прокатки труб №3	43,0	АПвП6Шв 5×4	45,0
СШ2-0,38/0,22 кВ			
Автоматизированная сварочная станция №4	70,9	АПвП6Шв 5×10	72,0
Автоматизированная сварочная станция №5	53,4	АПвП6Шв 5×6	54,0
Электродвигатель насоса емкости дренажной	2,5	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Насос производственных стоков №1	49,1	АПвП6Шв 5×6	54,0
Листогибочный пресс с ЧПУ №1	43,0	АПвП6Шв 5×4	45,0
Многостанционная волочильная машина №3	24,6	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Ковочный пресс №2	9,2	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Насос технической воды №1	16,4	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Насос технической воды №2	16,4	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Установка для испытания на усталость металла	16,4	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Лазерный раскройный комплекс №2	11,3	АПвП6Шв 5×2,5	28,0
Листогибочный пресс с ЧПУ №2	56,0	АПвП6Шв 5×10	72,0
Компрессор воздушный производственный №1	108,0	АПвП6Шв 5×25	121,0

Продолжение таблицы 4

Линия	$I_{р.}$ А	Марка кабеля	$I_{доп.}$ А
Компрессор воздушный производственный №2	106,4	АПвПбШв 5×25	121,0
Пескоструйный аппарат и камера	40,9	АПвПбШв 5×4	45,0
Координатно-измерительная машина	90,0	АПвПбШв 5×16	94,0
Реверсивный прокатный стан №3	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Реверсивный прокатный стан №4	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Система очистки газовых выбросов №3	0,4	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Система очистки газовых выбросов №4	0,4	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Разрывная машина	3,6	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №1	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №2	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №3	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №4	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №5	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №6	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №7	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №8	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Токарный станок с ЧПУ №9	18,0	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Фрезерный станок с ЧПУ №1	4,9	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Фрезерный станок с ЧПУ №2	4,9	АПвПбШв 5×2,5	28,0
Фрезерный станок с ЧПУ №3	4,9	АПвПбШв 5×2,5	28,0

В результате выбора кабельных линий напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ для системы электроснабжения цеха металлоизделий, были получены следующие результаты:

- подтверждено и обосновано использование двух силовых кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×35/16 для питания системы электроснабжения на уровне напряжения 10 кВ, что обеспечивает надёжность и безопасность передачи электроэнергии в производственных условиях;
- для питания потребителей цеха обосновано применение кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ марки АПвПбШв разных сечений, что соответствует техническим требованиям и обеспечивает эффективное распределение электроэнергии для питания оборудования цеха.

Расчёты подтвердили соответствие данных проводников нормативным требованиям, что гарантирует их надёжную работу при заданных нагрузках.

6.2 Выбор электрических аппаратов

Ранее было установлено, что на стороне 10 кВ цеховой подстанции 10/0,4 кВ устанавливаются следующие коммутационные и защитные аппараты:

- выключатели нагрузки марки в количестве 2 единиц (трёхфазные аппараты);
- плавкие предохранители в количестве 6 единиц (однофазные аппараты).

Указанные аппараты размещены в двух ячейках распределительного устройства (РУ) 10 кВ на цеховой трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ. В процессе работы требуется проверить их соответствие расчётным параметрам электрической сети, учитывая увеличение нагрузки, вызванное подключением новых потребителей цеха.

Кроме того, необходимо провести проверку высоковольтных вакуумных выключателей марки ВБЭ-10-20/1000 УХЛ2, ограничителей перенапряжения ОПНп-10/11,5/10/550 УХЛ1 и трансформаторов тока ТОЛ-СВЭЛ-10, установленных в ячейках напряжением 10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ металлургического комбината [11].

Именно эта подстанция является источником электроснабжения для цеховой трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ в цехе металлоизделий.

В работе также представлена методика выбора электрических аппаратов напряжением выше 1 кВ, которая будет использоваться в системе электроснабжения цеха для обеспечения надёжности и безопасности работы электросетей. Такой подход позволит не только выбрать оборудование, соответствующее требованиям по нагрузке и условиям эксплуатации, но и обеспечить надёжную и безопасную эксплуатацию всей системы.

«Выбор ЭА по номинальному напряжению и току» [9]:

$$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}, кВ, \quad (38)$$

где « $U_{ном.а}$ – номинальное значение напряжения ЭА, кВ;

$U_{ном.с}$ – номинальное значение напряжения, кВ» [9].

$$I_{ном.а} \geq I_p, A, \quad (39)$$

где « $I_{ном.а}$ – номинальный ток ЭА;

I_p – расчётный ток сети» [9].

«Проверка ЭА на коммутационную отключающую способность» [9]:

$$I_{откл} \geq I_K, кА. \quad (40)$$

«Проверка на термическую и электродинамическую стойкость» [9]:

$$i_{дин} \geq i_y, A, \quad (41)$$

$$I_T^2 t_T \geq I_K^2 t, A^2 \cdot c. \quad (42)$$

Результаты проверки выключателей высокого напряжения для установки в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты проверки выключателей высокого напряжения для установки в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
Выключатели высокого напряжения марки ВБЭ-10-20/1000 УХЛ2	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10$ кВ.	$U_{ном} = 10$ кВ.
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 80,4$ А.	$I_{ном} = 1000$ А.
	$I_{п.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{п.т} = 6,5$ кА.	$I_{отк.ном} = 20$ кА.
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 9,2$ кА.	$i_{дин.} = 48$ кА.
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 9,2^2 \cdot 3 = 253,9$ кА ² с.	$B_K = 48^2 \cdot 3 = 6912$ кА ² с.

Проводится выбор и проверка измерительных трансформаторов тока (ТТ). Согласно исходной схеме электрических соединений, трансформаторы тока размещены в ячейках 10 кВ главной понизительной подстанции (ГПП) 110/10 кВ металлургического комбината. В связи с этим осуществляется проверка их параметров.

Результаты проверки трансформаторов тока, предназначенных для установки в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты проверки трансформаторов тока для установки в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Трансформаторы тока ТОЛ-СВЭЛ-10	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном.1}}$	$I_{\text{max}} = 80,4 \text{ А.}$	$I_{\text{ном.1}} = 200 \text{ А}$
	$S_{\text{вт.цепей}} \leq S_{\text{обм.ном}}$	$S_{\text{вт.цепей}} = 10 \text{ ВА}$	$S_{\text{об.ном}} = 50 \text{ ВА}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 9,2 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 9,2^2 \cdot 3 =$ $= 253,9 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Ограничители перенапряжения (ОПН) выполняют критически важную функцию защиты электротехнического оборудования от воздействия перенапряжений, возникающих как вследствие атмосферных разрядов, таких как молнии, так и при выполнении коммутационных операций. ОПН эффективно снижают амплитуду перенапряжений до безопасного уровня, предотвращая повреждения оборудования и обеспечивая его долговечность. Данные устройства играют ключевую роль в сохранении стабильности работы системы электроснабжения и минимизации рисков аварийных ситуаций.

На металлургическом комбинате, где к надёжности и безопасности предъявляются повышенные требования, установка ограничителей перенапряжения в ячейках 10 кВ главной понизительной подстанции (ГПП) 110/10 кВ является неотъемлемой мерой.

Данный аспект особенно актуален в условиях высокой частоты грозовых явлений, а также вероятности возникновения внутренних перенапряжений при гашении дуги в процессе работы высоковольтных выключателей, таких как ранее выбранный вакуумный выключатель марки ВБЭ-10-20/1000 УХЛ2. Использование ОПН позволяет обеспечить защиту оборудования в наиболее уязвимых точках системы, предотвращая выход из строя силовых трансформаторов, кабельных линий и других элементов.

Эффективность ограничителей перенапряжения выражается в их способности обеспечивать надёжную защиту в условиях высоковольтных переходных процессов, что критически важно для устойчивой работы всей системы электроснабжения металлургического комбината. Таким образом, применение ОПН позволяет существенно повысить общую надёжность энергетической инфраструктуры и предотвратить возможные потери, связанные с авариями и простоем оборудования.

Результаты проверки ограничителей перенапряжения, предназначенных для установки в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината, приведены в таблице 7, где указаны их параметры и соответствие эксплуатационным требованиям.

Таблица 7 – Результаты проверки ограничителей перенапряжения для установки в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината

Наименование и марка аппарата (модуля)	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные аппарата (модуля)
РУ-10 кВ: ОПНп-10/11,5/10/550 УХЛ1	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 80,4 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 550 \text{ А}$
	$I_{\text{п.т}} \leq I_{\text{макс.проп.}}$	$I_{\text{п.т}} = 6,5 \text{ кА.}$	$I_{\text{макс.проп.}} = 11,5 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{\text{дин.}}$	$i_y = 9,2 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин.}} = 10 \text{ кА.}$

Результаты выбора электрических аппаратов представлены также в графической части работы.

Кроме того, также требуется выбор и проверка высоковольтных аппаратов напряжением 10 кВ, установленных непосредственно на цеховой трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ.

Как было указано ранее, на цеховой ТП-10/0,4 кВ устанавливаются выключатели нагрузки и предохранители.

Результаты проверки выключателей нагрузки по источнику [4] для установки в распределительном устройстве РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ металлургического комбината изложены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки выключателей нагрузки для установки в РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ металлургического комбината

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные данные
Выключатели нагрузки ВНА-10/630У1	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 80,4 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 9,2 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 9,2^2 \cdot 3 = 253,9 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Выбор и проверка плавких предохранителей, необходимых для защиты РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ от токов короткого замыкания, сведена в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки плавких предохранителей для установки в РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ металлургического комбината

Наименование аппарата	Условие выбора	Расчетные данные	Паспортные данные
Предохранители марки ПКТ103-10-80-20У1	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$1,1 - 1,5 I_{\text{ном.т}} \leq I_{\text{ном.вст}}$	$1,35 I_{\text{ном.т}} = 1,35 \times 57,8 = 78 \text{ А.}$	$I_{\text{ном.вст}} = 80 \text{ А.}$
	$I_{\text{ном.п}} \geq I_{\text{ном.вст}}$	$I_{\text{ном.п}} = 100 \text{ А}$	$I_{\text{ном.вст}} = 80 \text{ А}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 9,2^2 \cdot 3 = 253,9 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Проводится выбор и проверка электрических аппаратов, которые предназначены для коммутации и защиты электрической сети цеха металлоизделий на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Анализ показал, что на стороне 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения цеха необходимо установить автоматические выключатели (вводные, секционные и линейные) марки ВА различных типонаминалов.

Выбор автоматических воздушных выключателей марки ВА для защиты сети напряжением 0,38/0,22 кВ обоснован их возможностью обеспечить комплексную защиту.

Современные выключатели этой марки оснащены электромагнитными, тепловыми и нулевыми расцепителями, что позволяет эффективно реагировать на различные типы аварийных ситуаций в сети.

В рамках данной работы производится подбор оптимальных уставок для всех типов расцепителей, с учётом их технических характеристик и параметров сети, что обеспечивает корректное и своевременное отключение повреждённых участков.

Учитываются все технические параметры при выборе автоматических выключателей, включая номинальные токи и условия эксплуатации, что позволяет гарантировать долговечность и надёжную работу оборудования в производственных условиях.

Правильная настройка уставок расцепителей и их выбор являются ключевыми факторами для повышения устойчивости и стабильности системы электроснабжения, минимизации рисков аварий и обеспечения продолжительной эксплуатации оборудования.

Процесс выбора автоматов проводится в соответствии с методикой, изложенной в источнике [17].

Номинальный ток автомата [17]:

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (43)$$

где $I_{ном.а}$ - номинальный ток автомата, А;

I_p - расчётный ток сети, по которому выбирается автомат, А.

Тепловые расцепители, встроенные в автоматы серии ВА, выполняют важную функцию защиты электрического оборудования от перегрузок, реагируя на длительные превышения номинального тока в сети. Такая защита позволяет предотвратить повреждения, вызванные перегревом проводников и электрических компонентов, что особенно актуально для промышленного производства, где перегрузки могут приводить к серьёзным аварийным ситуациям.

Регулируемость тепловых расцепителей даёт возможность гибко подстраивать их параметры под конкретные характеристики потребителей, что имеет особое значение в условиях переменных нагрузок, характерных для промышленных предприятий. Такая адаптация обеспечивает точное соответствие защитных уставок реальным условиям эксплуатации, снижает вероятность ложных срабатываний и минимизирует риск перегрева оборудования при пиковых нагрузках.

Благодаря возможности точной настройки, тепловые расцепители способствуют значительному повышению надёжности системы электроснабжения. Данные устройства позволяют предотвратить длительное воздействие повышенных токов, которые могут негативно сказаться на состоянии обмоток трансформаторов, двигателей и других компонентов системы. Такой подход, в свою очередь, способствует продлению срока службы оборудования, снижению затрат на ремонт и обслуживание и повышению общей энергоэффективности предприятия. Таким образом, тепловые расцепители автоматов являются неотъемлемой частью системы защиты, обеспечивающей устойчивость и безопасность работы промышленных электрических сетей на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Номинальный ток уставки теплового расцепителя [17]:

$$I_{y.m.p} \geq [1,05 - 1,1] \cdot I_p. \quad (44)$$

где $I_{y.m.p}$ - номинальный ток уставки теплового расцепителя, А.

Электромагнитные расцепители, встроенные в автоматические выключатели, выполняют ключевую роль в защите электрических сетей от коротких замыканий, срабатывая мгновенно при возникновении аномально высоких токов. Известно, что короткие замыкания представляют серьёзную угрозу для стабильности системы электроснабжения, так как они могут вызвать значительные электродинамические и тепловые нагрузки на оборудование, что в свою очередь может привести к повреждению проводников, трансформаторов и других элементов сети.

Возможность регулировки уставок электромагнитных расцепителей позволяет адаптировать защиту к конкретным условиям эксплуатации, обеспечивая быстрый и точный отклик на возникновение аварийной ситуации. Такая точная настройка защитных устройств особенно важна в условиях сложных и критических производственных процессов, где даже кратковременное нарушение электроснабжения может привести к значительным убыткам, простоям оборудования и снижению производительности. Благодаря регулируемым уставкам, электромагнитные расцепители срабатывают только тогда, когда в сети возникает реальная угроза, что исключает ложные отключения и обеспечивает стабильность работы.

Правильная настройка электромагнитных расцепителей позволяет минимизировать время воздействия короткого замыкания на систему, что предотвращает серьёзные повреждения и сохраняет целостность оборудования. Быстрое отключение повреждённого участка снижает риск возникновения пожаров, перегрева и других последствий коротких

замыканий, что значительно повышает уровень безопасности на производстве и предотвращает аварийные ситуации.

Благодаря высокой чувствительности и возможности точной настройки, электромагнитные расцепители повышают общую устойчивость и стабильность работы системы электроснабжения.

В промышленных условиях, где надёжность и непрерывность электроснабжения являются основными приоритетами, подобные защитные устройства играют решающую роль в обеспечении стабильной работы предприятия.

Стабильность работы сети и предотвращение аварий позволяют избежать простоев и обеспечивают бесперебойное функционирование технологического оборудования, что особенно важно на объектах с повышенной ответственностью и необходимостью непрерывности производственного процесса.

Таким образом, применение электромагнитных расцепителей с возможностью точной настройки уставок обеспечивает эффективную защиту от коротких замыканий, минимизирует риски повреждения оборудования и способствует поддержанию стабильной и надёжной работы всей системы электроснабжения.

Номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя автомата [17]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (45)$$

где $K_{то}$ – коэффициент тепловой отсечки автомата (указывается заводом-изготовителем), о.е.;

I_k - значение трёхфазного симметричного тока КЗ в расчётной точке сети 0,4 кВ, ближайшей к выбираемому автомату, А.

Для автомата с регулируемым электромагнитным расцепителем [17]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (46)$$

где K – кратность тока уставки расцепителя.

Проверка проводится на примере вводного автомата ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий.

По условию (43):

$$2000 A \geq 1519,8 A.$$

По условию (44):

$$1600 A \geq 1519,8 \cdot 1,05 = 1595,7 A.$$

По условию (46):

$$4800 A = 3 \cdot 1600 = 4800 A.$$

Таким образом, в качестве вводного автомата ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий, проверочным расчётом был подтверждён автомат марки ВА55-43 с параметрами [1]:

- $I_{ном.а} = 2000 A$;
- $I_{у.т.р.} = 1600 A$;
- $I_{у.э.р.} = 4800 A$.

Аналогично выбраны остальные автоматы для защиты и коммутации питающей и распределительной сети объекта исследования. Для всех остальных присоединений системы электроснабжения цеха металлоизделий также выбираются автоматы серии ВА с регулируемым расцепителем.

Результаты выбора автоматов системы электроснабжения цеха металлоизделий приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора автоматов системы электроснабжения цеха металлоизделий

Потребитель	I_p, A	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р.}, A$	$I_{у.э.р.}, A$
Вводные автоматы	1519,8	BA55-43	2000	1600	4800
Секционный автомат	1519,8	BA55-43	2000	1600	4800
Линейные автоматы					
СШ-1 0,38/0,22 кВ					
Многостанционная волочильная машина №1	24,6	BA57-35	100	32	96
Система очистки сточных вод	18,0	BA57-35	100	25	75
Индукционная нагревательная печь №1	90,0	BA 88-33	160	120	360
Стан холодной прокатки труб №1	40,9	BA57-35	100	63	189
Стан холодной прокатки труб №2	40,9	BA57-35	100	63	189
Индукционная нагревательная печь №2	106,4	BA 88-33	160	140	420
Индукционная нагревательная печь №3	108,0	BA 88-33	160	140	420
Вакуумная печь	376,5	BA 51-39	400	400	1200
Дробеструйная установка №1	4,9	BA57-35	100	6,3	18,9
Лазерный раскройный комплекс №1	3,6	BA57-35	100	6,3	18,9
Система очистки газовых выбросов №1	0,4	BA57-35	100	6,3	18,9
Система очистки газовых выбросов №2	0,4	BA57-35	100	6,3	18,9
Оборудование для ультразвукового контроля изделий	1,8	BA57-35	100	6,3	18,9
Дробеструйная установка №2	4,9	BA57-35	100	6,3	18,9
Реверсивный прокатный стан №1	18,0	BA57-35	100	25	75
Реверсивный прокатный стан №2	18,0	BA57-35	100	25	75
Ковочный пресс №1	12,3	BA57-35	100	16	48
Многостанционная волочильная машина №2	24,6	BA57-35	100	32	96
Линия гальванического покрытия	1,1	BA57-35	100	6,3	18,9
Автоматическая линия порошковой окраски	10,5	BA57-35	100	16	48
Автоматизированная сварочная станция №1	26,2	BA57-35	100	32	96
Автоматизированная сварочная станция №2	26,2	BA57-35	100	32	96
Автоматизированная сварочная станция №3	50,7	BA57-35	100	63	189
Стан холодной прокатки труб №3	43,0	BA57-35	100	50	150
СШ-2 0,38/0,22 кВ					
Автоматизированная сварочная станция №4	70,9	BA57-35	100	80	240
Автоматизированная сварочная станция №5	53,4	BA57-35	100	63	189
Электродвигатель насоса емкости дренажной	2,5	BA57-35	100	6,3	18,9

Продолжение таблицы 10

Потребитель	I_p, A	Марка	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р.}, A$	$I_{у.э.р.}, A$
Насос производственных стоков №1	49,1	BA57-35	100	63	189
Листогибочный пресс с ЧПУ №1	43,0	BA57-35	100	50	150
Многостанционная волочильная машина №3	24,6	BA57-35	100	32	96
Ковочный пресс №2	9,2	BA57-35	100	16	48
Насос технической воды №1	16,4	BA57-35	100	25	75
Насос технической воды №2	16,4	BA57-35	100	25	75
Установка для испытания на усталость металла	16,4	BA57-35	100	25	75
Лазерный раскройный комплекс №2	11,3	BA57-35	100	16	48
Листогибочный пресс с ЧПУ №2	56,0	BA57-35	100	63	189
Компрессор воздушный производственный №1	108,0	BA 88-33	160	140	420
Компрессор воздушный производственный №2	106,4	BA 88-33	160	140	420
Пескоструйный аппарат и камера	40,9	BA57-35	100	50	150
Координатно-измерительная машина	90,0	BA 88-33	160	120	360
Реверсивный прокатный стан №3	18,0	BA57-35	100	25	75
Реверсивный прокатный стан №4	18,0	BA57-35	100	25	75
Система очистки газовых выбросов №3	0,4	BA57-35	100	6,3	18,9
Система очистки газовых выбросов №4	0,4	BA57-35	100	6,3	18,9
Разрывная машина	3,6	BA57-35	100	6,3	18,9
Токарный станок с ЧПУ №1	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №2	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №3	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №4	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №5	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №6	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №7	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №8	18,0	BA57-35	100	25	75
Токарный станок с ЧПУ №9	18,0	BA57-35	100	25	75
Фрезерный станок с ЧПУ №1	4,9	BA57-35	100	6,3	18,9
Фрезерный станок с ЧПУ №2	4,9	BA57-35	100	6,3	18,9
Фрезерный станок с ЧПУ №3	4,9	BA57-35	100	6,3	18,9

В результате проведения расчётов, выбраны и подтверждены автоматические выключатели в сети 0,38/0,22 кВ цеха:

- выключатели автоматические вводные и секционный, марки BA55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 2000 A$; $I_{у.т.р.} = 1600 A$; $I_{у.э.р.} = 4800 A$;
- выключатели автоматические линейные марки BA различных типономиналов (BA57-35, BA 88-33 и BA 51-39).

Выводы по разделу.

В результате выбора кабельных линий напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ для системы электроснабжения цеха металлоизделий, были получены следующие результаты:

- подтверждено и обосновано использование двух силовых кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×35/16 для питания системы электроснабжения на уровне напряжения 10 кВ, что обеспечивает надёжность и безопасность передачи электроэнергии в производственных условиях;
- для питания потребителей цеха обосновано применение кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ марки АПвПбШв разных сечений, что соответствует техническим требованиям и обеспечивает эффективное распределение электроэнергии.

Расчёты подтвердили соответствие данных проводников нормативным требованиям, что гарантирует их надёжную работу при заданных нагрузках.

Расчётным путём выбраны и подтверждены установленные аппараты в сети 10 кВ системы электроснабжения цеха:

- в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината: вакуумные высоковольтные выключатели марки ВБЭ-10-20/1000 УХЛ2, ограничители перенапряжения марки ОПНп-10/11,5/10/550 УХЛ1 и трансформаторы тока ТОЛ-СВЭЛ-10;
- на стороне 10 кВ в ячейках РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВНА-10/630У1 – 2 единицы, предохранители плавкие марки ПКТ103-10-80-20У1 – 2 единицы.

В результате проведения расчётов, выбраны и подтверждены автоматические выключатели в сети 0,38/0,22 кВ цеха:

- выключатели автоматические вводные и секционный, марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 2000$ А; $I_{у.т.р.} = 1600$ А; $I_{у.э.р.} = 4800$ А;
- выключатели автоматические линейные марки ВА различных типономиналов (ВА57-35, ВА 88-33 и ВА 51-39).

7 Выбор системы релейной защиты и автоматики питающей линии 10 кВ цеха

Выбор устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) для защиты питающих линий напряжением 10 кВ, отходящих к цеховой трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий, является важным этапом проектирования системы электроснабжения предприятия.

Основной целью этого этапа проектирования, является обеспечение надёжной защиты электросетей от аварийных режимов, таких как короткие замыкания, перегрузки и пробой изоляции, что способствует устойчивой и безопасной работе системы.

Правильный выбор устройств РЗА позволяет минимизировать время отключения повреждённых участков сети, что важно для предотвращения повреждений оборудования и снижения риска длительных простоев в производственном процессе.

С учётом характеристик питающих линий, параметров оборудования и условий эксплуатации, устройства РЗА должны обеспечивать селективное срабатывание, отключая только повреждённые участки сети, не затрагивая неповреждённые части, что поддерживает бесперебойное электроснабжение критически важных узлов.

В условиях цеха металлоизделий, где непрерывность работы оборудования напрямую влияет на производственные показатели, данные факторы особенно актуальны.

Селективность и надёжность защиты обеспечивают минимальные простои, что положительно сказывается на эффективности производственного процесса.

Учитывается также возможность интеграции устройств РЗА в существующие системы управления и мониторинга, что позволяет эффективно управлять сетью и оперативно реагировать на возникающие изменения [2].

Современные устройства релейные защиты и автоматика оборудованы функциями дистанционного управления и контроля, что повышает оперативность и точность реагирования на аварийные ситуации, обеспечивая возможность предотвращения неисправностей до их перерастания в серьёзные аварии.

Наличие указанных аспектов позволяет не только повышать общую надёжность системы электроснабжения, но и поддерживать безопасность эксплуатации, как для персонала, так и для оборудования.

Одним из важных аспектов выбора устройств РЗА является их способность к самодиагностике и адаптации к изменяющимся условиям сети.

Современные устройства релейной защиты и автоматики должны обеспечивать быстрое восстановление работы сети после аварий, а также минимизировать риски повторных отключений.

Данных показателей можно добиться за счёт применения современных цифровых технологий и алгоритмов анализа состояния сети, которые позволяют принимать оптимальные решения в реальном времени и адаптировать работу системы под текущие условия эксплуатации.

Таким образом, выбор устройств релейной защиты и автоматики для питающих линий 10 кВ, отходящих к цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ цеха металлоизделий, направлен на обеспечение максимальной надёжности и безопасности системы электроснабжения.

Такой подход способствует минимизации возможных потерь в случае аварийных ситуаций, поддерживая стабильную и бесперебойную работу технологического оборудования и обеспечивая устойчивость производственного процесса.

В работе предлагается для данной цели применить «микропроцессорные блоки защиты «БМРЗ-100»» [13], показанные на рисунке 4.



Рисунок 4 – Микропроцессорный блок защиты «БМРЗ-100» [18]

Применение микропроцессорных блоков защиты серии «БМРЗ-100» для защиты питающей кабельной линии напряжением 10 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий обосновано рядом технических и эксплуатационных преимуществ, соответствующих современным требованиям промышленной электроэнергетики. Микропроцессорные устройства защиты «БМРЗ-100» обеспечивают высокую точность и быстродействие в обнаружении и устранении аварийных ситуаций, что особенно важно в условиях повышенных нагрузок и критической значимости бесперебойной работы производственного оборудования.

Микропроцессорные блоки «БМРЗ-100» обладают расширенными функциональными возможностями по сравнению с традиционными электромеханическими и статическими реле. Они интегрируют в себе комплекс защитных функций, включая максимальную токовую защиту с зависимой и независимой выдержкой времени, защиту от однофазных замыканий на землю, дифференциальную защиту и другие необходимые для надежной эксплуатации линии функции. Благодаря программируемости и гибкости настроек, устройства «БМРЗ-100» позволяют адаптировать защиту

к специфическим условиям эксплуатации конкретной кабельной линии, учитывая ее длину, сечение, характеристики изоляции и другие параметры.

Высокая скорость обработки сигналов и быстроедействие микропроцессорных блоков «БМРЗ-100» обеспечивают минимальное время реагирования на аварийные ситуации, что снижает риск повреждения оборудования и повышает общую безопасность системы электроснабжения. Точность измерений и надежность алгоритмов позволяют обеспечить селективность защит, отключая только поврежденный участок без воздействия на остальные элементы сети. Это особенно актуально для цеха металлоизделий, где непрерывность технологических процессов напрямую влияет на производительность и экономическую эффективность предприятия.

Микропроцессорные блоки «БМРЗ-100» оснащены современными средствами коммуникации, что позволяет интегрировать их в автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) и системы диспетчерского контроля и управления (SCADA). Наличие цифровых интерфейсов и поддержка стандартных протоколов передачи данных обеспечивают возможность дистанционного мониторинга состояния защиты, диагностики и оперативного управления. Это способствует повышению эффективности эксплуатации, позволяет своевременно выявлять и устранять неисправности, а также оптимизировать режимы работы системы электроснабжения.

Надежность и долговечность микропроцессорных блоков «БМРЗ-100» подтверждаются соответствием международным стандартам качества и безопасности. Устройства обладают устойчивостью к электромагнитным помехам, температурным перепадам и механическим воздействиям, что гарантирует стабильную работу в сложных промышленных условиях.

Кроме того, наличие функций самодиагностики и регистрации аварийных событий упрощает обслуживание и повышает общую надежность системы защиты.

Экономическая целесообразность применения «БМРЗ-100» заключается в сокращении эксплуатационных расходов и повышении энергоэффективности системы электроснабжения. Универсальность и многофункциональность устройства позволяют заменить несколько отдельных реле и защитных аппаратов, что снижает затраты на оборудование и упрощает монтаж и обслуживание. Кроме того, повышение надежности и снижение времени простоев положительно сказываются на производительности цеха и общих экономических показателях предприятия.

С учетом высоких требований к безопасности и надежности электроснабжения цеха металлоизделий, применение микропроцессорных блоков защиты «БМРЗ-100» является технически обоснованным и целесообразным решением. Данные блоки РЗиА обеспечивают эффективную защиту питающей кабельной линии 10 кВ, а также способствуют повышению устойчивости системы к аварийным режимам и позволяют интегрировать защиту в общую систему управления предприятием, что соответствует современным тенденциям развития промышленной электроэнергетики.

Следовательно, их выбор в качестве устройств релейной защиты и автоматики для защиты питающих линий 10 кВ, отходящих к цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ цеха металлоизделий, полностью обоснован.

Выводы по разделу.

Для защиты питающей линии 10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий, для установки на питающей ГПП-110/10 кВ выбраны микропроцессорные блоки «БМРЗ-100».

Установлено, что данные блоки РЗиА обеспечивают эффективную защиту питающей кабельной линии 10 кВ, а также способствуют повышению устойчивости системы к аварийным режимам и позволяют интегрировать защиту в общую систему управления предприятием, что соответствует современным тенденциям развития промышленной электроэнергетики.

Заключение

В работе разработан проект системы электроснабжения цеха металлоизделий на примере ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», учитывающий современные требования к надёжности, энергоэффективности и безопасности. Определено, что необходимость разработки проекта возникла из-за расширения производства и ввода в эксплуатацию новых производственных потребителей указанного цеха.

Показано, основная цель работы заключается в разработке оптимальной системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат», отвечающей современным требованиям по надёжности, энергоэффективности и безопасности.

Приведена характеристика производственной и финансовой деятельности ОАО «Белорецкий металлургический комбинат».

Показано, что рассматриваемый в работе новый цех металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» является современным необходимым производственным звеном на данном металлургическом комбинате. В данном цеху организован полный цикл производства металлических изделий, включающий современные технологии и высокоточное оборудование.

Анализ исходных данных потребителей проектируемой системы электроснабжения цеха металлоизделий ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» показал, что потребителями на объекте выступают основные производственные комплексы и техническое оборудование в количестве 57 единиц.

Таким образом установлено, что суммарная установленная мощность нагрузки цеха металлоизделий составляет 1211,79 кВт.

В цехе металлоизделий присутствуют потребители первой и второй категории надёжности, что требует повышенных мер по обеспечению бесперебойного электроснабжения. Для этого на цеховой трансформаторной

подстанции 10/0,4 кВ установлены два силовых трансформатора 10/0,4 кВ, обеспечивающие питание двух секций сборных шин на низком напряжении 0,38/0,22 кВ. От этих секций по радиальной схеме получают питание все потребители цеха, что позволяет обеспечить надёжное и стабильное электроснабжение оборудования, минимизируя риски аварийных ситуаций.

Расположение оборудования и потребителей в цехе организовано по рядам, что делает наиболее подходящим использование питающих шинопроводов типа ШМА, подключение к которым осуществляется с использованием кабельных линий на напряжении 0,38/0,22 кВ, что способствует повышению гибкости системы электроснабжения.

На цеховой подстанции 10/0,4 кВ принята схема с одной, секционированной выключателем системой сборных шин. Такая схема предусматривает разделение сборных шин на две секции с использованием шинных мостов, что позволяет соединять секции и поддерживать связь между ними. Резервирование реализовано с помощью секционного автоматического выключателя, который в нормальных условиях находится в отключённом состоянии. В случае выхода из строя одного из трансформаторов, секционный выключатель автоматически включается, обеспечивая подачу питания от оставшегося трансформатора на обе секции шин, что существенно повышает надёжность электроснабжения.

Принятая схема системы электроснабжения цеха металлоизделий отвечает современным нормативным требованиям и обеспечивает надёжность, гибкость и безопасность электроснабжения. Использование двух трансформаторов, шинопроводов и секционированной системы сборных шин позволяет минимизировать потери электроэнергии, повысить надёжность и обеспечить возможность быстрого восстановления в аварийных ситуациях.

В результате проведённого расчёта электрических нагрузок для отдельных присоединений потребителей и секций сборных шин напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий были получены следующие ключевые значения.

Для первой секции сборных шин СШ-1 0,38/0,22 кВ подстанции, с учётом коэффициента одновременности, равного 0,8, расчётная активная мощность составила 514,2 кВт, реактивная мощность – 205,7 квар, полная мощность – 553,8 кВА, а ток нагрузки – 841,6 А.

Аналогично для второй секции сборных шин СШ-2 0,38/0,22 кВ подстанции, с учётом того же коэффициента, активная мощность равна 455,3 кВт, реактивная – 182,1 квар, полная мощность – 490,4 кВА, ток нагрузки – 745,2 А.

Суммарная расчётная нагрузка подстанции составила 969,5 кВт активной мощности, 387,8 квар реактивной мощности и 1044,2 кВА полной мощности. Ток нагрузки всей подстанции, исходя из этих значений, равен 1586,9 А.

На основании проведённого анализа установлено, что два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10, рекомендованные для установки на цеховой ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения цеха металлоизделий, оптимально подходят для питания всей производственной нагрузки.

Определено, что данные трансформаторы соответствуют необходимым требованиям по резервированию и экономичности, что подтверждает их высокую эффективность и безопасность в эксплуатации.

В результате расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения цеха металлоизделий были получены следующие ключевые значения:

- трёхфазный ток короткого замыкания в максимальном режиме на выводах 10 кВ силового трансформатора цеховой трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ составляет 6,5 кА, а значение ударного тока трёхфазного короткого замыкания – 9,2 кА;
- для выводов 0,4 кВ силового трансформатора цеховой трансформаторной подстанции значение трёхфазного тока короткого замыкания в максимальном режиме составляет 5,3 кА, а ударный ток трёхфазного короткого замыкания равен 7,5 кА.

В результате выбора кабельных линий напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ для системы электроснабжения цеха металлоизделий, были получены следующие результаты:

- подтверждено и обосновано использование двух силовых кабелей марки АПвКВнг(А)-LS 3×35/16 для питания системы электроснабжения на уровне напряжения 10 кВ, что обеспечивает надёжность и безопасность передачи электроэнергии в производственных условиях;
- для питания потребителей цеха обосновано применение кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ марки АПвПбШв разных сечений, что соответствует техническим требованиям и обеспечивает эффективное распределение электроэнергии.

Расчёты подтвердили соответствие данных проводников нормативным требованиям, что гарантирует их надёжную работу при заданных нагрузках.

Расчётным путём выбраны и подтверждены установленные аппараты в сети 10 кВ системы электроснабжения цеха:

- в ячейках 10 кВ ГПП-110/10 кВ металлургического комбината: вакуумные высоковольтные выключатели марки ВБЭ-10-20/1000 УХЛ2, ограничители перенапряжения марки ОПНп-10/11,5/10/550 УХЛ1 и трансформаторы тока ТОЛ-СВЭЛ-10;
- на стороне 10 кВ в ячейках РУ-10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ: выключатели нагрузки марки ВНА-10/630У1 – 2 единицы, предохранители плавкие марки ПКТ103-10-80-20У1 – 2 единицы.

В результате проведения расчётов, выбраны и подтверждены автоматические выключатели в сети 0,38/0,22 кВ цеха:

- выключатели автоматические вводные и секционный, марки ВА55-43 с параметрами: $I_{ном.а} = 2000$ А; $I_{у.т.р.} = 1600$ А; $I_{у.э.р.} = 4800$ А;
- выключатели автоматические линейные марки ВА различных типономиналов (ВА57-35, ВА 88-33 и ВА 51-39).

Для защиты питающей линии 10 кВ цеховой ТП-10/0,4 кВ цеха металлоизделий, для установки на питающей ГПП-110/10 кВ выбраны микропроцессорные блоки «БМРЗ-100».

Установлено, что данные блоки РЗА обеспечивают эффективную защиту питающей кабельной линии 10 кВ, а также способствуют повышению устойчивости системы к аварийным режимам и позволяют интегрировать защиту в общую систему управления предприятием, что соответствует современным тенденциям развития промышленной электроэнергетики.

Таким образом, основываясь на полученных результатах, подтверждено, что предложенный проект системы электроснабжения цеха металлоизделий характеризуется высокими показателями надёжности, экономичности, бесперебойности питания потребителей, безопасности, а также селективности и чувствительности защиты.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автоматические выключатели ВА [Электронный ресурс]: URL: <https://m-energo-spb.ru/vyklyuchatel-avtomaticheskij-va> (дата обращения: 15.10.2024).
2. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.
3. Белорецкий металлургический комбинат [Электронный ресурс]: URL: <https://mechel.ru/sector/steel/beloretskiy-metallurgicheskiy-kombinat/> (дата обращения: 15.10.2024).
4. Выключатели нагрузки ВНА, ВНР и ВНВР на 10 кВ [Электронный ресурс]: URL: <https://tmtrade.ru/vyklyuchateli-nagruzki-6-10-kv> (дата обращения: 15.10.2024).
5. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 15.10.2024).
6. Кабель АПвКВнг(А)-LS [Электронный ресурс]: URL: <https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-sshitogo-polietilena-10kv/apvkvng-ls-10kv/> (дата обращения: 15.10.2024).
7. Кабель АПвПБШв [Электронный ресурс]: URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-\(1kv\)/apvpbshv-1kv/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-(1kv)/apvpbshv-1kv/) (дата обращения: 15.10.2024).
8. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
9. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
10. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

11. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
12. ОАО «Белорецкий металлургический комбинат». [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294815/4294815349.pdf> (дата обращения: 15.10.2024).
13. БМРЗ-100. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.mtrele.ru/shop/relejnaya-zashhita/bmrz-100.html> (дата обращения: 15.10.2024).
14. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.
15. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
16. 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: 15.10.2024).
17. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.
18. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.
19. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.
20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.