

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника
(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение корпуса чугунного литья машиностроительного завода

Обучающийся

А. А. Носков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О.В. Самолина

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

Тольятти 2024

Аннотация

Настоящая работа посвящена разработке мероприятий по проектированию системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода с последовательной проверкой основных решений. Работа состоит из двух основных этапов.

«На первом этапе проведён анализ исходных данных на выполнение работы, включая технические сведения о технологическом процессе на объекте исследования» [17], данные о подразделениях предприятия, источниках электроэнергии энергосистемы.

На втором этапе, на основе анализа указанной информации, решены следующие основные задачи:

- выбраны рациональные схемы электроснабжения питающей и распределительной сети предприятия;
- рассчитаны электрические нагрузки на объекте исследования;
- проведён расчет и «выбор силовых трансформаторов»;
- проведён расчёт токов трёхфазного короткого замыкания, а также ударных токов;
- осуществлён расчет и выбор электрооборудования схемы электроснабжения объекта, включая выбор проводников и ячеек распределительных устройств и марок питающих ГПП и ЦТП, с последующей их компоновкой электрическими аппаратами;
- осуществлён выбор устройств релейной защиты и автоматики» [12];
- рассчитан контур заземления и система молниезащиты питающей ГПП.

Данные вопросы решены в работе в полном объёме.

Работа состоит из расчётно-пояснительной записки объёмом 72 печатных страницы и шести чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей завода	7
1.2 Требования к проектированию систем электроснабжения предприятий сталелитейной промышленности	11
2 Выбор схемных решений и расчёт электрических нагрузок.....	18
2.1 Выбор схемы электроснабжения.....	18
2.2 Расчёт электрических нагрузок	25
3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов.....	33
3.1 Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции.....	33
3.2 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	37
4 Расчёт токов короткого замыкания	41
5 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников	46
5.1 Выбор и проверка проводников	46
5.2 Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия.....	52
6 Расчёт и выбор релейной защиты, заземления и молниезащиты ГПП	56
6.1 Выбор релейной защиты ГПП	56
6.2 Расчёт заземления ГПП	58
6.3 Расчёт молниезащиты ГПП.....	63
Заключение	67
Список используемых источников.....	71

Введение

Состояние и перспективы развития сталелитейной промышленности Российской Федерации заслуживают особого внимания в контексте глобальных тенденций и внутренних экономических изменений. Сталелитейная промышленность России традиционно занимает одну из ведущих позиций в мировом рейтинге по объёмам производства стали, что подчеркивает её значимость как для внутреннего, так и для международного рынка.

На сегодняшний день российская сталелитейная промышленность демонстрирует устойчивость к внешним и внутренним вызовам, обеспечивая значительные объёмы производства стали. Однако отрасль сталкивается с рядом проблем, включая изношенность оборудования, высокую энергоёмкость производственных процессов и необходимость повышения экологической безопасности.

Перспективы развития сталелитейной промышленности в России тесно связаны с модернизацией производственных мощностей и внедрением новых технологий. Важным аспектом является переход к более энергоэффективным и экологически чистым технологиям, что позволит снизить общую стоимость производства и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Диверсификация рынков сбыта и укрепление позиций на международных рынках остаются приоритетными задачами для отрасли. Это предполагает улучшение качества продукции и расширение ассортимента, а также активное участие в международных торговых и экономических альянсах. Стимулирование внутреннего потребления стали также играет ключевую роль в развитии отрасли. Содействие развитию строительства, машиностроения и других ключевых отраслей, которые активно используют сталь, может стать мощным драйвером роста для сталелитейного сектора.

Улучшение экологических стандартов производства остаётся актуальной задачей. Реализация проектов по очистке промышленных

выбросов, использование отходов производства и сокращение водопотребления должны стать неотъемлемой частью стратегии развития сталелитейных предприятий.

Таким образом, сталелитейная промышленность России стоит перед необходимостью комплексного подхода к модернизации и повышению конкурентоспособности. Внедрение инновационных технологий, расширение географии сбыта, повышение эффективности производства и строгое соблюдение экологических норм могут способствовать дальнейшему развитию и укреплению позиций России на мировом рынке сталелитейной продукции.

Перспективы развития сталелитейной промышленности в России тесно переплетены с текущей геополитической обстановкой и международной экономической динамикой. В контексте возрастающего санкционного давления и острой конкуренции за доступ к международным рынкам, особенно важными становятся стратегии разработки новых логистических маршрутов для экспорта продукции и диверсификация экономических партнерств. Современные требования к проектированию в сталелитейной отрасли акцентируют внимание на промышленной безопасности, надежности эксплуатации оборудования, энергоэффективности, совместимости с электромагнитными стандартами, а также на способности систем быстро адаптироваться к изменениям производственных нагрузок и технологических условий. Подобные меры направлены на увеличение производственной эффективности, снижение затрат на энергию и минимизацию рисков возникновения аварий. Реализация данных подходов способствует повышению конкурентоспособности и операционной эффективности не только отдельных предприятий, но и всей отрасли в целом, что подчеркивает актуальность настоящего исследования [20].

Основная цель настоящей работы заключается в разработке рациональных и эффективных мероприятий по проектированию системы

электрообеспечения корпуса чугунолитейного завода с последовательной проверкой основных решений.

Объектом исследования является система электрообеспечения корпуса чугунолитейного завода.

Предметом исследования выступают параметры и характеристики объекта исследования, к которым относятся надёжность, безопасность, бесперебойность и безаварийность электрообеспечения, а также экономичность и экологичность.

Для достижения поставленной цели предлагается решить поставленные задачи, которые планируется реализовать в два основных этапа.

«На первом этапе, теоретическом, проводится анализ исходных данных на выполнение работы, включая технические сведения о технологическом процессе на объекте исследования» [12], данные о подразделениях предприятия, источниках электроэнергии энергосистемы.

На втором этапе, практическом, на основе анализа указанной информации, проводится решение следующих основных задач:

- выбираются рациональные схемы электрообеспечения питающей и распределительной сети предприятия;
- рассчитываются электрические нагрузки на объекте исследования;
- проводится расчет и выбор силовых трансформаторов для установки и использования на ГПП, а также на ЦТП;
- «проводится расчёт токов трёхфазного короткого замыкания, а также ударных токов;
- осуществляется расчет и выбор электрооборудования схемы электрообеспечения объекта, включая выбор проводников и ячеек распределительных устройств и марок питающих ГПП и ЦТП, с последующей их компоновкой электрическими аппаратами;
- проводится выбор устройств релейной защиты и автоматики» [12];
- рассчитывается контур заземления и система молниезащиты питающей ГПП.

Анализ исходных данных

Анализ исходных данных по электроснабжению потребителей завода

Как было установлено ранее, объектом исследования в работе является корпус чугунного литья машиностроительного завода.

Установлено, что производственные мощности и технологии корпуса чугунного литья машиностроительного завода требуют развития материально-технической базы, в связи с чем предлагается разработать проект нового подразделения данной организации, деятельность которого будет сосредоточена на литье деталей машин, механизмов и сопутствующего оборудования.

Такое подразделение является одним из важнейших и ключевых на машиностроительном заводе.

В состав рассматриваемого в работе корпуса чугунного литья машиностроительного завода, предлагается включить комплекс следующих подразделений (отделов, участков, цехов и пунктов) [18]:

- отдел подготовки сырья;
- плавильный участок;
- литейный участок;
- «формовочный участок;
- лаборатория контроля качества;
- участок ремонта и обслуживания оборудования;
- пункт приёма и обработки первичного сырья;
- административное здание;
- торгово-выставочный комплекс;
- складской комплекс;
- отдел обеспечения технологического процесса (содержит два высоковольтных синхронных электродвигателя 10 кВ)» [18].

Далее в работе приводится краткое описание основных функций для перечисленных выше подразделений [17].

Корпус чугунного литья машиностроительного завода организует свою деятельность через ряд специализированных подразделений, каждое из которых выполняет определённые функции, обеспечивающие эффективное и качественное производство.

Отдел подготовки сырья занимается начальной стадией производственного процесса, включающей сортировку, проверку и подготовку металлического сырья перед его плавкой. Задача этого отдела – обеспечить, чтобы в производство поступало сырьё соответствующего качества.

Плавильный участок осуществляет процесс плавления чугуна в специализированных печах. Здесь сырьё превращается в жидкий металл, готовый к дальнейшему использованию в литейном процессе.

Литейный участок отвечает за процесс заливки расплавленного металла в формы для получения изделий заданной конфигурации. Этот этап важен для обеспечения требуемых размеров и формы отливок.

На формовочном участке создаются и отливаются различные формы из чугуна, которые затем используются на литейном участке для производства металлических изделий. Также отливаются цельные блоки для двигателей автомобилей, колёсные пары и прочие аналогичные продукты. Точность и качество изготовления форм напрямую влияют на качество конечного продукта.

Лаборатория контроля качества выполняет анализ и проверку качества как сырья, так и готовой продукции. Такая деятельность включает испытания на соответствие стандартам и спецификациям, что критически важно для поддержания высокого уровня качества.

Участок ремонта и обслуживания оборудования обеспечивает бесперебойную работу производственного оборудования корпуса чугунного литья машиностроительного завода, проводя его текущий и плановый ремонт,

что способствует снижению времени простоя и увеличению эффективности производства.

Пункт приёма и обработки первичного сырья выполняет функции первичной обработки и подготовки сырья к дальнейшему использованию в производственном процессе, включая его очистку и классификацию.

Административное здание содержит управленческий и вспомогательный персонал, который координирует процессы на заводе, включая логистику, управление ресурсами и взаимодействие с внешними организациями.

Торгово-выставочный комплекс используется для демонстрации продукции завода потенциальным покупателям и организации выставок, что способствует расширению рынка сбыта и укреплению деловых связей.

Складской комплекс предназначен для хранения как сырья, так и готовой продукции, обеспечивая их сохранность и своевременную отгрузку заказчикам.

Отдел обеспечения технологического процесса отвечает за обеспечение производства электроэнергией, водой, сжатым воздухом, теплом, вентиляцией и прочими ресурсами.

Данный отдел содержит два высоковольтных синхронных электродвигателя 10 кВ, которые являются ключевыми элементами для обеспечения стабильного электроснабжения производственных мощностей завода.

Каждое из этих подразделений играет важную роль в обеспечении эффективной работы корпуса чугунного литья, что напрямую влияет на успех всего машиностроительного предприятия.

Таким образом, все подразделения корпуса чугунного литья машиностроительного завода выполняет специфические функции, обеспечивая эффективное и бесперебойное производство.

Исходные данные электрических нагрузок корпуса чугунного литья машиностроительного завода представлены в форме таблицы 1.

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков корпуса чугунного литья машиностроительного завода

Наименование цеха (участка)	Назначение цеха (участка)	Категория надёжности	Номер по плану	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт
Отдел подготовки сырья	Основной производственный	I категория	1	590
Плавильный участок	Основной производственный	I категория	2	1000
Литейный участок	Основной производственный	I категория	3	390
Формовочный участок	Основной производственный	I категория	4	190
Лаборатория контроля качества	Неосновной вспомогательный	II категория	5	660
Участок ремонта и обслуживания оборудования	Неосновной вспомогательный	II категория	6	930
Пункт приёма и обработки первичного сырья	Неосновной вспомогательный	II категория	7	200
Административное здание	Неосновной вспомогательный	III категория	8	150
Торгово-выставочный комплекс	Неосновной вспомогательный	III категория	9	83
Складской комплекс	Неосновной вспомогательный	III категория	10	70
Отдел обеспечения технологического процесса	Основной вспомогательный	I категория	11	840, из них:
0,4 кВ				40
АД 10 кВ				$2 \times 400 = 800$
Итого по объекту исследования	-	I, II, III	11 подразделений	5103

Таким образом, установлено, что в состав проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода входят 11 подразделений совокупной мощностью 5103 кВт, выполняющих стратегически важную роль в обеспечении эффективной и бесперебойной работы всего производственного процесса.

Пять подразделений объекта проектирования относятся к I категории, по три объекта – ко II и III категории надёжности.

От подготовки сырья до контроля качества, каждый этап производства тщательно организован для обеспечения высоких стандартов качества продукции и эффективности процессов.

Интеграция всех подразделений в единый производственный комплекс позволяет не только оптимизировать производственные потоки, но и повышать конкурентоспособность предприятия на рынке за счет улучшения качества продукции и снижения производственных затрат.

Таким образом, каждый элемент в структуре корпуса чугунного литья направлен на достижение общих целей завода и укрепление его позиций в машиностроительной отрасли.

Требования к проектированию систем электроснабжения предприятий сталелитейной промышленности

Проектирование систем электроснабжения предприятий сталелитейной промышленности требует учета ряда специфических требований и стандартов, чтобы обеспечить безопасность, надежность и эффективность производственных процессов.

Сталелитейная промышленность требует постоянного и стабильного электроснабжения, поскольку прерывания могут привести к серьезным производственным потерям и повышенным рискам безопасности.

Этот факт требует проектирования систем с адекватными резервными источниками питания, такими как дизель-генераторы или бесперебойные источники питания (ИБП), а также установку систем автоматического ввода резерва (АВР) [12].

Необходимо точно рассчитать требуемую мощность на основе всех потребностей предприятия, включая мощные печи для плавки металла и другое энергоемкое оборудование.

Система должна быть спроектирована с возможностью масштабирования для будущего расширения или модернизации производства.

Важно обеспечить высокое качество электроэнергии с минимальными колебаниями напряжения и частоты, что критично для стабильной работы высокоточного и дорогостоящего производственного оборудования. Это может потребовать установки фильтров гармоник, стабилизаторов напряжения и других устройств для коррекции качества энергии.

Системы должны включать комплексные меры защиты, такие как устройства защиты от перенапряжения, системы заземления и защиты от коротких замыканий. Также важно предусмотреть соответствующие меры противопожарной безопасности и автоматического отключения в случае аварий.

Проектирование должно способствовать максимальной энергоэффективности с использованием современных технологий и методов управления энергопотреблением. Данный аспект должен включать автоматизацию систем управления и мониторинга, использование энергоэффективного оборудования и оптимизацию производственных процессов.

При этом все системы должны строго соответствовать местным и международным стандартам и нормативам в области электроснабжения и безопасности. Это требует регулярных проверок и сертификации всех элементов системы.

Система электроснабжения должна быть интегрирована с другими инженерными системами предприятия, такими как системы вентиляции, отопления и автоматизации, чтобы обеспечить синергию и оптимизацию работы.

Таким образом, проектирование системы электроснабжения для сталелитейного производства требует комплексного подхода и тщательного планирования, учитывая специфические требования и высокие стандарты отрасли.

Оно должно учитывать целый ряд критически важных факторов, начиная от технических особенностей и заканчивая экологическими и

экономическими аспектами, для обеспечения надежной, безопасной и эффективной эксплуатации систем электроснабжения на предприятиях горнодобывающей и нефтегазодобывающей промышленности.

Основными из них являются высокие требования к категории надёжности данных потребителей.

Требования к питанию потребителей различных категорий надёжности электроснабжения в России определяются на основе важности обеспечения бесперебойного электроснабжения для функционирования этих объектов.

Известно, что все потребители электроэнергии подразделяются на три категории, каждая из которых имеет свои специфические требования к надёжности и качеству электропитания.

Потребители первой категории включают в себя объекты, для которых даже кратковременное прерывание электроснабжения может привести к угрозе жизни людей, значительному ущербу для окружающей среды или другим серьёзным последствиям.

Это, например, важнейшие цеха и участки предприятий, объекты инфраструктуры и прочие наиболее важные потребители.

Для таких потребителей требуется [12]:

- двухканальное питание с резервированием от независимых источников электроэнергии;
- автоматическое включение резерва (АВР) при отключении одного из источников.

Принцип электроснабжения потребителей первой категории надёжности представлен на рисунке 1.

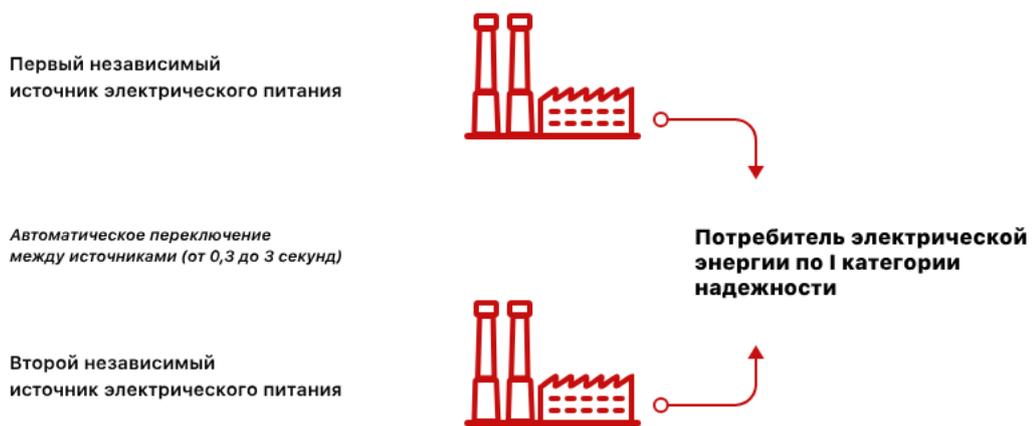


Рисунок 1 – Принцип электроснабжения потребителей первой категории надёжности

Из группы выделяется также особая группа потребителей. К ним относятся критически важные производственные цеха и подразделения, больницы, пожарные станции, объекты управления транспорта, и другие критически важные инфраструктуры. Такие потребители требуют трёх источников питания. В данном случае необходимо использование источников бесперебойного питания (ИБП) и дизель-генераторов для критически важных нагрузок [12]. Принцип электроснабжения потребителей особой категории надёжности представлен на рисунке 2.

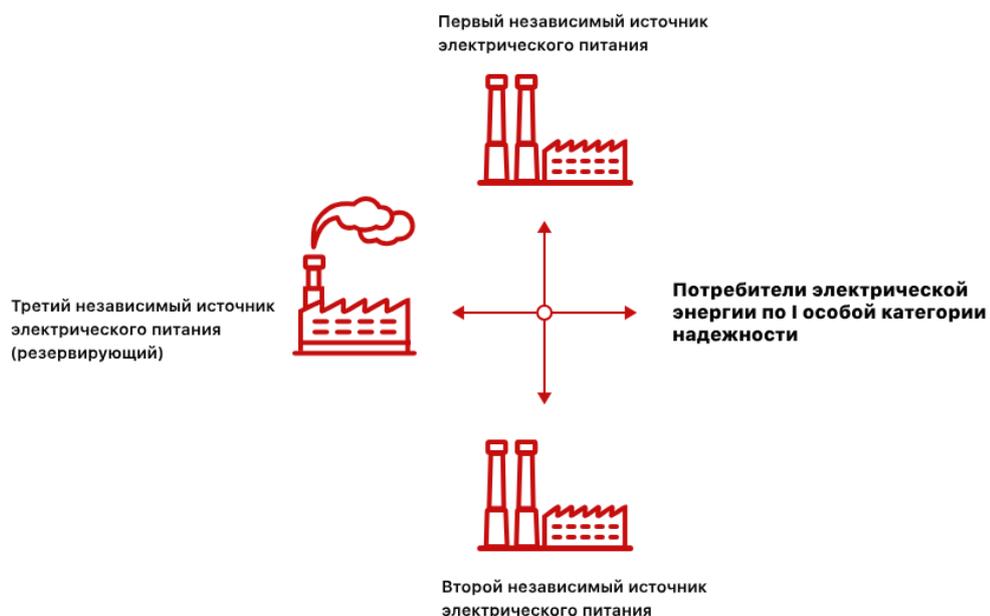


Рисунок 2 – Принцип электроснабжения потребителей особой категории надёжности

Ко второй категории относятся объекты, для которых прерывание электроснабжения допустимо на ограниченное время.

Они могут включать в себя производственные предприятия, отдельные важные (но не основные) цеха и участки в середине предприятия, административные здания, объекты жилого сектора, где кратковременные перебои в питании не приводят к катастрофическим последствиям.

Требования к таким потребителям следующие [12]:

- двухканальное питание с возможностью подключения резервного источника (либо одноканальное питание с резервированием вторым источником);
- возможность восстановления питания в течение определённого времени, обычно не более нескольких минут, до часа (автоматическое или ручное переключение на резервное питание).

Принцип электроснабжения потребителей второй категории надёжности представлен на рисунке 3.

II категория надёжности электроснабжения

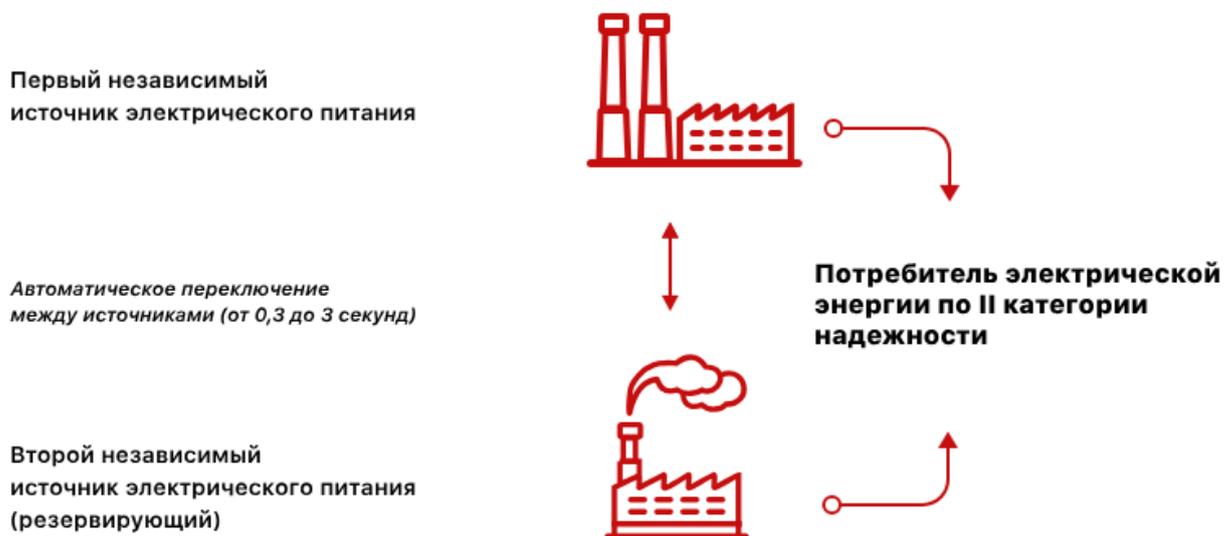


Рисунок 3 – Принцип электроснабжения потребителей второй категории надёжности

Потребители третьей категории могут выдерживать относительно долгие перерывы в электроснабжении без серьёзного вреда для своей деятельности.

К таким потребителям относятся некоторые виды производств, складские помещения и другие объекты, не требующие постоянного поддержания функционирования всех систем.

Требования к таким потребителям [12]:

- их питание может быть обеспечено одним источником;
- время восстановления питания после аварий может быть относительно долгим, в зависимости от специфики потребителя, но не более одних суток.

Принцип электроснабжения потребителей третьей категории надёжности представлен на рисунке 4.

III категория надёжности электроснабжения

Источник электрического питания



Потребитель электрической энергии по III категории надёжности

Максимальное время восстановления подачи электрического питания - 1 сутки (24 часа)

Рисунок 4 – Принцип электроснабжения потребителей третьей категории надёжности

Приведённые требования необходимо учесть в работе.

Выводы по разделу.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы.

Установлено, что производственные мощности и технологии корпуса чугунного литья машиностроительного завода требуют развития материально-технической базы, в связи с чем предлагается разработать проект нового

подразделения данной организации, деятельность которого будет сосредоточена на литье деталей машин, механизмов и сопутствующего оборудования. Такое подразделение является одним из важнейших и ключевых на машиностроительном заводе.

Таким образом, установлено, что в состав проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода входят 11 подразделений совокупной мощностью 5103 кВт, выполняющих стратегически важную роль в обеспечении эффективной и бесперебойной работы всего производственного процесса.

Пять подразделений объекта проектирования относятся к I категории, по три объекта – ко II и III категории надёжности.

В результате проведения анализа требований к проектированию систем электроснабжения предприятий сталелитейной промышленности определены основные нормы к проектированию данных подразделений, исходя из категорий их надёжности.

На основании исходных данных, далее проводится решение поставленных задач.

Выбор схемных решений и расчёт электрических нагрузок

2.1 Выбор схемы электроснабжения

Выбор схемы электроснабжения предприятия является ключевым аспектом при проектировании инженерных сетей, определяющим эффективность и надёжность функционирования всех производственных процессов.

Важность данного выбора обусловлена стремлением к обеспечению непрерывности производственных операций, минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций и повышению общей экономической эффективности предприятия.

Актуальность разработки оптимальной схемы электроснабжения обусловлена растущими требованиями к энергоэффективности, экологичности, а также необходимостью интеграции современных технологий в системы управления энергетическими потоками.

Также известно, что на выбор схемы электроснабжения влияют множество факторов, включая масштабы производства, характер нагрузок, географическое расположение предприятия, а также доступность источников электроэнергии.

Требования к выбору схемы электроснабжения охватывают обеспечение достаточной мощности для всех видов производственной деятельности, возможность резервирования источников питания для критически важных участков, а также гибкость системы в отношении масштабирования и модернизации.

Важным аспектом является соблюдение норм и стандартов электробезопасности, оптимизация затрат на транспортировку и распределение электроэнергии.

Подход к выбору схемы электроснабжения должен включать анализ различных вариантов подключения к источникам электроэнергии, оценку

потенциальных рисков для каждого из них, а также разработку мер по обеспечению надёжности и безопасности электроснабжения.

Такой подход включает использование автономных генераторов, систем бесперебойного питания, а также внедрение возобновляемых источников энергии как части стратегии повышения энергетической независимости и снижения воздействия на окружающую среду.

Таким образом, выбор схемы электроснабжения является многоаспектной задачей, требующей комплексного подхода и учета как технических, так и экономических аспектов, что обеспечивает долгосрочную устойчивость и развитие производственных мощностей проектируемого предприятия.

Следовательно, верный выбор схемы электроснабжения предприятия является результатом многокритериального анализа, в который входят технические, экономические, экологические и эксплуатационные аспекты [12].

Выбор рациональной схемы требует комплексного подхода, включающего как инженерные расчеты, так и стратегическое планирование на основе прогнозируемых изменений в производственных процессах и рыночной среде.

Таким образом, на первом этапе, рациональное напряжение внешней питающей системы нового корпуса чугунного литья машиностроительного завода вычисляется по формуле Илларионова, кВ [5]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}}, \quad (1)$$

где L – «длина питающей линии, км;

P – передаваемая мощность в сети, МВт» [5].

«По условию (1) для ГПП внешней СЭС проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода» [5]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/6 + 2500/5,1}} = 46,2 \text{ кВ.}$$

Ближайший стандартный класс напряжения к расчётному – 35 кВ. Он принимается в качестве питающего стандартного напряжения для внешней системы электроснабжения предприятия.

Так как по заданию в схеме присутствуют высоковольтные электродвигатели напряжением 10 кВ, этот же класс напряжения рационально будет принять в качестве распределительного стандартного напряжения для внешней системы электроснабжения предприятия.

По причине того, что проектируемое «предприятие относится ко II категории надёжности, его система электроснабжения должна быть обеспечена двумя независимыми источниками питания, следовательно, на питающей ГПП-35/10 кВ необходимо установить два силовых трансформатора» [12].

Значит, внешняя система электроснабжения корпуса чугунолитейного машиностроительного завода будет включать следующие основные элементы:

- питающая линия 35 кВ (с учётом питания по радиальной схеме электроснабжения);
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

Далее в работе проводится выбор схем РУ питающей ГПП-35/10 кВ.

Так как данная ГПП-35/10 кВ будет питать один конечный потребитель (проектируемое предприятие), по месту расположения в энергосистеме такая подстанция будет являться тупиковой.

Значит, транзита и перетока энергии к соседним подстанциям и линиям предусмотрено не будет.

С учётом технических и экономических аспектов, для РУ-35 кВ питающей тупиковой ГПП-35/10 кВ с двумя питающими линиями 35 кВ и

двумя силовыми трансформаторами, выбирается схема 4Н-35 «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [3].

Схема 4Н-35 применяется в системах электроснабжения для обеспечения высокого уровня надежности и гибкости управления потоками электрической энергии.

Данная схема включает два независимых блока, каждый из которых оснащен своими выключателями, что позволяет контролировать и управлять каждым блоком отдельно.

Неавтоматическая перемычка со стороны линий обеспечивает возможность ручного переключения и подключения блоков в случае необходимости, например, для проведения технического обслуживания или в случае аварии.

Основные преимущества данной схемы заключаются в повышенной надежности и гибкости системы.

Независимость блоков гарантирует, что в случае выхода из строя одного из блоков, второй продолжит функционировать, тем самым минимизируя риск полной остановки системы электроснабжения.

Также это позволяет проводить плановые ремонтные работы без полного отключения электроснабжения, что особенно важно для объектов с непрерывными производственными процессами.

Неавтоматическая перемычка добавляет дополнительную возможность для оперативного управления и адаптации системы под изменяющиеся условия эксплуатации.

Наличие данного факта обеспечивает эффективное управление нагрузками и способность системы к быстрому восстановлению после аварийных ситуаций.

Кроме того, использование отдельных выключателей для каждого блока позволяет точно контролировать распределение электрической энергии и оптимизировать работу системы в соответствии с текущими потребностями и условиями эксплуатации.

Этот аспект способствует не только повышению экономической эффективности работы системы электроснабжения, но и снижению вероятности возникновения перегрузок и связанных с ними неисправностей.

Таким образом, схема 4Н-35 предоставляет эффективное и надежное решение для систем электроснабжения, требующих высокого уровня контроля и возможности быстрой адаптации к изменениям в условиях эксплуатации, обеспечивая при этом стабильность работы и минимизацию рисков отключения электроэнергии.

«Для РУ 10 кВ питающей тупиковой ГПП-35/10 кВ принята типовая схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин»» [3].

«Данная схема, рекомендуемая к применению в РУ-10 кВ на стороне НН ГПП-35/10 кВ, является наиболее распространённой в сетях 6(10) кВ при двух источниках питания» [12].

Схема 10–1, известная как «Одна, секционированная выключателем, система шин», представляет собой типовое решение в области электроснабжения, которое часто применяется на объектах, требующих высокого уровня надежности при относительной простоте конструкции.

Данная схема включает в себя одну систему шин, которая разделена выключателем на секции.

Такое секционирование позволяет осуществлять гибкое управление потоками мощности, обеспечивая возможность изолировать отдельные части системы для проведения ремонтных или обслуживающих работ без необходимости отключения энергоснабжения всего объекта.

Использование одной секционированной системы сборных шин обеспечивает значительные преимущества в плане упрощения архитектуры системы электроснабжения, снижения капитальных затрат и упрощения обслуживания.

Секционирование шинного узла способствует повышению надежности системы, так как позволяет изолировать и локализовать возможные неисправности, минимизируя их воздействие на всю систему

электроснабжения объекта.

Такая организация и конструкция шинной системы также улучшает условия эксплуатации электрооборудования, поскольку снижает вероятность полного отключения энергоснабжения при возникновении аварийных ситуаций.

Особенностями схемы 10–1 является её оперативная гибкость и возможность проведения технического обслуживания без полной остановки производственных процессов, что крайне важно для объектов с непрерывными производственными циклами.

Однако стоит отметить, что, несмотря на упрощение конструкции и снижение стоимости, данная схема требует точного и тщательного проектирования для определения оптимальных точек секционирования и оценки возможных рисков, связанных с распределением и управлением нагрузками.

Таким образом, рекомендуемая в работе схема 10–1 «Одна, секционированная выключателем, система шин» является эффективным решением для многих промышленных и инфраструктурных объектов, предоставляя баланс между надежностью, экономичностью и управляемостью системы электроснабжения.

Следовательно, для РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ объекта проектирования она приемлема.

«Структурная схема ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода» [18] представлена в работе на рисунке 5.

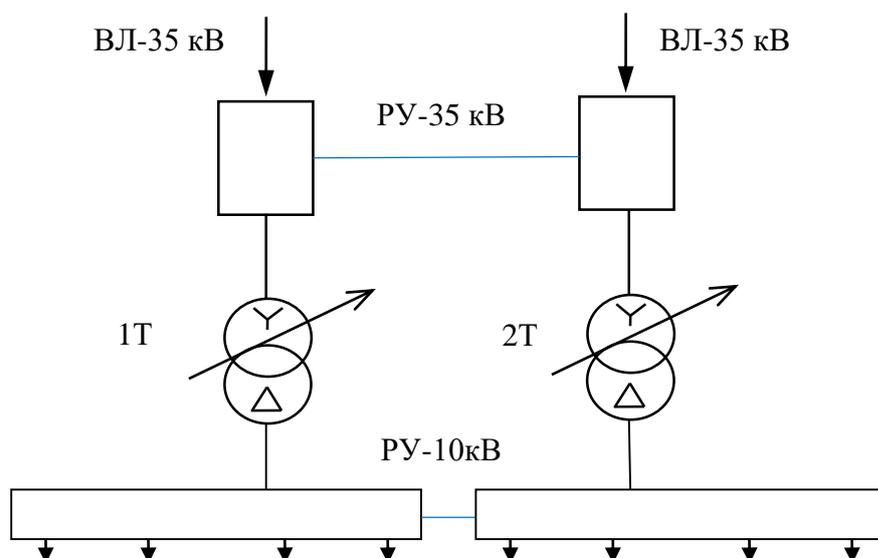


Рисунок 5 – Структурная схема ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода (резервирование на сторонах ВН и НН обозначено синим цветом)

Ранее в работе было установлено, что в состав проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода входят 11 подразделений совокупной мощностью 5103 кВт, выполняющих стратегически важную роль в обеспечении эффективной и бесперебойной работы всего производственного процесса.

При этом пять подразделений объекта проектирования относятся к I категории, по три объекта – ко II и III категории надёжности.

С целью экономии места и рационального распределения мощностей по территории предприятия, все цеховые ТП-10/0,4 кВ предлагается сделать двухтрансформаторными и установить их на объектах I категории надёжности.

Следовательно, в работе будет использовано 5 ЦТП с двумя трансформаторами 10/0,4 кВ. Объекты II категории надёжности необходимо запитать двумя линиями от разных трансформаторов данных цеховых подстанций.

Объекты III категории надёжности предложено запитать одной линией от шин 0,4 кВ ЦТП.

Расчёт электрических нагрузок

Расчёт электрических нагрузок предприятия с использованием метода коэффициента спроса представляет собой важный аспект проектирования систем электроснабжения, позволяющий точно определить максимальные и минимальные потребности в электроэнергии. Метод коэффициента спроса основывается на статистическом анализе реального потребления энергии за определённый период и применяется для расчёта вероятностного максимума нагрузки, которая может быть потреблена в течение определённого интервала времени.

Этот метод учитывает не только пиковые нагрузки, но и различные режимы работы оборудования, вариации в потреблении энергии, вызванные производственными циклами, а также возможное взаимное влияние различных потребителей электроэнергии внутри предприятия.

Особенность метода коэффициента спроса заключается в его способности адаптироваться к специфике конкретного предприятия, учитывая его операционные особенности и планы развития.

Применение коэффициента спроса позволяет оптимизировать размеры источников питания, систем распределения и защиты, что обеспечивает экономическую эффективность проекта за счёт снижения избыточных мощностей. Также этот метод способствует повышению надёжности электроснабжения, так как позволяет адекватно оценивать и планировать нужды в электроэнергии на основе объективных данных о текущем и предполагаемом потреблении электроэнергии.

Расчёт с использованием коэффициента спроса требует сбора точных данных о потреблении электроэнергии на всех участках предприятия, а также разработки подходов к анализу полученной информации для прогнозирования будущих нагрузок. Это обеспечивает возможность проектирования гибкой и адаптивной системы электроснабжения, способной эффективно реагировать на изменения в производственных процессах и потребительском поведении.

«Расчетная активная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода, квар» [8]:

$$P_p = K_c P_n, \quad (2)$$

где « P_n – значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) корпуса чугунного литья машиностроительного завода, кВт;

K_c – справочное значение коэффициента спроса цеха(участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода, квар» [8]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (3)$$

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

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода, кВт» [8]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{n.o}, \quad (4)$$

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода;

$P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого

корпуса чугунного литья машиностроительного завода, кВт» [8].

«При этом» [8]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (5)$$

где « $P_{уд.о}$ – нормируемая удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода, кВт/м²; F – площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода согласно генплану, м²» [8].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода» [8]:

$$S_p = \sqrt{(P_n + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

Или:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП» [8]:

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

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

«Потери активной мощности в трансформаторах ГПП» [8]:

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

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

Результаты расчёта нагрузок представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузок системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода

Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка объекта					Суммарная расчётная нагрузка объекта		
	F, м ²	P _{уд.о} , Вт/м ²	P _{н.о} , кВт	K _{с.о}	P _{р.о} , кВт	P _{р.} , кВт	Q _р , квар	S _р , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ								
Отдел подготовки сырья	20000	20	400	0,95	380,00	793,00	363,44	872,30
Плавильный участок	20000	20	400	0,95	380,00	1180,00	704,00	1374,10
Литейный участок	2200	20	44	0,95	41,80	169,78	163,30	235,60
Формовочный участок	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,60
Лаборатория контроля качества	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,30
Участок ремонта и обслуживания оборудования	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,80
Пункт приёма и обработки первичного сырья	4000	17	68	0,95	64,60	144,60	60,00	166,64
Административное здание	5000	18	90	0,95	85,50	160,50	76,50	177,80
Торгово-выставочный комплекс	4000	18	72	0,95	39,90	89,70	37,35	89,70
Складской комплекс	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,40
Отдел обеспечения технологического процесса	4000	18	72	0,95	39,90	71,90	19,84	74,60
Итого 0,4 кВ	-	-	-	-	1423,60	4647,88	2668,07	5359,20
Потребители 10 кВ								
Отдел обеспечения технологического процесса	-	-	-	-	-	68,00	326,40	754,30
Итого 10 кВ	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3

«С учётом возможного расширения объекта, в работе принимается перспективная активная нагрузка объекта проектирования равна $P_{п} = 1500$ кВт, следовательно» [4]:

$$P_{p.п} = 0,9 \cdot 1500 = 1350 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.п} = 1350 \cdot 0,54 = 729 \text{ квар.}$$

«Суммарная полная нагрузка объекта проектирования» [4]:

$$S_p = \sqrt{(P_{p.0,4} + P_{p.10} + P_{p.п})^2 + (Q_{p.0,4} + Q_{p.10} + Q_{p.п})^2}. \quad (12)$$

«Таким образом» [4]:

$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680 + 1350)^2 + (2668,07 + 326,4 + 729)^2} = 8541,4 \text{ кВА.}$$

«Значение потерь ЭЭ в трансформаторах цеховых ТП» [4]:

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

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

«На этапе проектирования, величина реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП схемы внутреннего электроснабжения объекта по условию» [4]:

$$Q_{кУ} = P_M(\operatorname{tg}\varphi_O - \operatorname{tg}\varphi_M). \quad (13)$$

«Для условий схемы ЭС объекта» [4]:

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

«Исходя из расчётных значений, выбраны две конденсаторные установки марки УКРМ-10,5-160-50 мощностью компенсации 160 квар» [4].

«Суммарная расчетная реактивная нагрузка с учётом КУ» [4]:

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p.n} + Q_{p.v}) \cdot K_{pm} + Q_{TЦ} - Q_{КУ}, \text{ квар}, \quad (14)$$

где « K_{pm} – коэффициент одновременности максимумов нагрузки» [12].

«Для условий схемы ЭС объекта» [4]:

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

«Суммарная расчетная активная нагрузка с учётом КРМ» [4]:

$$P_{p\Sigma} = (P_{p.n} + P_{p.v}) \cdot K_{pm} + P_{TЦ} + P_{p.o}, \text{ кВт}, \quad (15)$$

«Для условий схемы ЭС объекта с расчётными значениями нагрузок, с учётом компенсации реактивных токов» [4]:

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

«Суммарная расчетная полная нагрузка корпуса чугунного литья машиностроительного завода с учётом КРМ» [4]:

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{(P_{p.\Sigma})^2 + (Q_{p.\Sigma})^2}, \quad (16)$$

«Для условий схемы ЭС объекта» [4]:

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

«Величина потерь в трансформаторах ГПП» [4]:

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

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

«Полная расчётная нагрузка на ГПП-35/10 кВ с учётом потерь ЭЭ» [4]:

$$S_{\text{р.}} = \sqrt{(P_{\text{р.}\Sigma} + \Delta P_{\text{Т.ГПП}})^2 + (Q_{\text{р.}\Sigma} + \Delta Q_{\text{Т.ГПП}})^2}, \text{ кВА.} \quad (17)$$

Значит:

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

В работе получены результаты расчёта активной, реактивной и полной нагрузки освещения, а также силовой и суммарной нагрузки, проектируемой системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода.

Выводы по разделу.

Приняты соответствующие схемные решения для внедрения в проектируемой системе электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода.

Расчётно-аналитическим способом установлено, на питающей ГПП корпуса чугунного литья машиностроительного завода целесообразно использовать два класса напряжения:

- 35 кВ (питающее напряжение внешней СЭС объекта);
- 10 кВ (распределительное напряжение внешней СЭС объекта).

Установлено, что внешняя система электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода будет включать следующие основные элементы:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ (двухцепная линия – по числу трансформаторов ГПП с учётом питания по радиальной схеме электроснабжения;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

Так как данная ГПП-35/10 кВ будет питать один конечный потребитель (проектируемое предприятие), по месту расположения в энергосистеме такая подстанция будет являться тупиковой. Значит, транзита и перетока энергии к соседним подстанциям и линиям предусмотрено не будет.

С учётом технических и экономических аспектов, выбраны и в последствии обоснованы рациональные схемные решения для применения на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования.

Установлено, что в работе будет использовано 5 ЦТП с двумя трансформаторами 10/0,4 кВ, которые устанавливаются в подразделениях, относящихся к I категории надёжности.

При этом объекты II категории надёжности необходимо запитать двумя линиями от разных трансформаторов данных цеховых подстанций.

Объекты III категории надёжности предложено запитать одной линией от шин 0,4 кВ ЦТП.

Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов

Выбор трансформаторов главной понизительной подстанции

Выбор трансформаторов для главной понизительной подстанции 35/10 кВ предприятия является критически важной задачей, обусловленной стремлением к обеспечению надёжного и эффективного электроснабжения всех участков производства. Этот выбор направлен на реализацию целей, таких как максимизация энергоэффективности, обеспечение надёжности системы и снижение операционных издержек.

Основной целью является обеспечение соответствия мощности трансформаторов потребностям предприятия. Трансформаторы должны быть способны не только покрывать текущие нагрузки, но и учитывать потенциальное расширение производства, а также возможные изменения в структуре потребления электроэнергии. Также важной целью является минимизация потерь электроэнергии в процессе трансформации, что напрямую влияет на снижение затрат на электроэнергию и улучшение экологических показателей предприятия.

Задачи включают технический анализ и подбор характеристик трансформаторов, таких как их мощность, тип охлаждения, класс напряжения и уровень шума. Необходимо также учитывать условия эксплуатации, такие как климатические условия и возможное загрязнение окружающей среды, что влияет на выбор конструкции трансформатора и его изоляции. Подбор оптимальной модели должен соответствовать не только техническим требованиям, но и экономическим критериям, учитывая общую стоимость владения, включая покупку, установку, обслуживание и ремонт.

Выбор подходящих трансформаторов для главной понизительной подстанции является решающим фактором в обеспечении стабильности и эффективности всей энергетической системы предприятия. От правильного выбора зависят такие аспекты, как качество электроэнергии, надёжность

электроснабжения производственных процессов и безопасность оборудования и персонала. Также значимым является воздействие выбора трансформаторов на экологическую устойчивость производства, включая снижение эмиссий парниковых газов за счёт повышения энергоэффективности.

Таким образом, обдуманный выбор трансформаторов для главной понизительной подстанции не только оптимизирует производственные затраты, но и способствует повышению общей производительности и надёжности предприятия, укрепляя его позиции на рынке.

По существующей методике, рекомендуется выбирать трансформатор с некоторым запасом мощности для обеспечения надёжности системы и возможности подключения дополнительных потребителей.

С «учётом этого, расчётная мощность трансформатора ГПП-35/10 кВ корпуса чугунного литья машиностроительного завода» [14]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq \frac{S_{\text{м.гпп}}}{N \cdot K_3}, \quad (18)$$

где « $S_{\text{м.гпп}}$ – полная расчетная нагрузка» [14].

«Значит» [14]:

$$S_{\text{ном}} \geq \frac{10453,5}{2 \cdot 0,7} = 7466,8 \text{ кВА.}$$

Для установки на питающей ГПП-35/10 кВ выбираются два силовых трансформатора типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора.

«Проверка на соответствие номинальной мощности» [14]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{м.гпп}}, \text{кВА.} \quad (19)$$
$$S_{\text{ном.т}} = 10000 \text{ кВА} \geq S_{\text{ном.т.р}} = 7466,8 \text{ кВА.}$$

«Проверка на перегрузочную способность» [2]:

$$K_{3,н} = \frac{0,5 \cdot S_{М.ГПП}}{S_{НОМ.Т}} \leq 0,7. \quad (20)$$

$$K_{3,п} = \frac{S_{М.ГПП}}{S_{НОМ.Т}} \leq 1,4. \quad (21)$$

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [2]:

$$K_{3,н} = \frac{10453,5}{2 \cdot 10000} = 0,52 \leq 0,7.$$

«Проверка в послеаварийном режиме выполняется» [2]:

$$K_{3,п} = \frac{10453,5}{10000} = 1,04 \leq 1,4.$$

«Окончательно на ГПП-35/10 кВ предприятия выбирается установка двух силовых трансформаторов типа ТМН-10000/35» [12], которые удовлетворяют условиям выбора и перегрузочной способности.

В качестве ГПП-35/10 кВ выбирается современная комплектная трансформаторная подстанция (далее – КТП) типа КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш» [6].

Такая КТП представляет собой высокотехнологичное устройство, разработанное для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения промышленных предприятий, объектов инфраструктуры и жилых комплексов. Эта модель КТП интегрирует в себе передовые технические решения и материалы, что обеспечивает ее высокую функциональность и адаптивность к различным эксплуатационным условиям.

КТП «ELM» 35/10 (6) разработана для работы в системах с номинальным напряжением 35 кВ и ниже, что делает ее идеальным решением

для установки в условиях урбанизированных территорий или промышленных зон, где требуется высокая степень надежности и безопасности. Особенностью данной модели является ее компактность и мобильность, что позволяет осуществлять быструю установку и настройку подстанции без необходимости проведения сложных строительно-монтажных работ.

Производство КТП осуществляется с использованием современных изоляционных и конструкционных материалов, что гарантирует долговечность и стойкость к агрессивным внешним воздействиям, таким как перепады температур, влажность и механические повреждения. Также подстанция оснащена системой автоматического управления, которая позволяет проводить мониторинг и диагностику состояния оборудования в режиме реального времени, что значительно упрощает процесс эксплуатации и повышает общую эффективность системы электроснабжения.

Важным аспектом КТП является ее энергоэффективность и экологичность.

Подстанция спроектирована таким образом, чтобы минимизировать потери электроэнергии в процессе ее трансформации и распределения, что способствует снижению эксплуатационных расходов и уменьшению воздействия на окружающую среду.

Таким образом, КТП «ELM» 35/10 (6) от АО «Электронмаш» является современным и технологически продвинутым решением для систем электроснабжения, которое сочетает в себе высокую производительность, надежность, безопасность и экологичность, обеспечивая эффективное и стабильное электроснабжение на длительный период эксплуатации.

Эти качества делают их подходящим выбором для широкого спектра приложений и обеспечивают их популярность на рынке электротехнического оборудования, а также обуславливают их применение в качестве ГПП-35/10 кВ объекта проектирования.

Таким образом, данный тип подстанции окончательно принимается в системе электроснабжения объекта.

Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Выбор трансформаторов должен осуществляться с учетом таких факторов, как мощность, надежность, энергоэффективность и совместимость с существующей электротехнической инфраструктурой предприятия.

Известно, что оптимальный выбор трансформатора позволяет не только обеспечить необходимую мощность для работы оборудования, но и значительно улучшить качество электроэнергии, что критично для современных высокотехнологичных производственных процессов.

При выборе трансформаторов особое внимание уделяется их техническим характеристикам, которые должны соответствовать текущим и перспективным потребностям производства. Важными параметрами являются мощность трансформатора, номинальные напряжения его обмоток, тип охлаждения, КПД, а также способность выдерживать кратковременные перегрузки и динамические воздействия без ущерба для долговечности и надежности.

При этом процесс выбора и проверки трансформаторов обеспечивает не только техническую исправность оборудования, но и его экономическую эффективность, минимизацию рисков для производственных процессов и повышение общей надежности электроснабжения предприятия.

В работе принимаются двухтрансформаторные подстанции в качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ (ЦТП).

«Мощность трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ» [11]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}}, \quad (22)$$

Г

д N – количество трансформаторов цеховой ТП, шт.;

е $\beta_{\text{т}}$ – коэффициент активной загрузки трансформаторов» [11].

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

«На примере цеховой ТП-1» [11]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{793}{2 \cdot 0,8} = 495,6 \text{ кВА.}$$

«Исходя из полученных результатов расчёта, на ТП-1 предварительно устанавливаются два силовых трансформатора ТМ-630/10. На других ЦТП внутренней СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода выбор силовых трансформаторов аналогичен (таблица 3)» [11].

Таблица 3 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов внутренней СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода

ЦТП	№ цеха	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности	P_p , кВт	$S_{\text{ном.т.р.}}$, кВА	$n \times S_{\text{ном.т.}}$, кВА
ЦТП-1	1	Отдел подготовки сырья	I	793	495,6	2×630
ЦТП-2	2	Плавильный участок	I	1180	842,8	2×1000
ЦТП-3	3	Литейный участок	I	708,7	591,9	2×630
	5	Лаборатория контроля качества	II	238,38		
	Всего по ТП-3		I, II	947,08		
ЦТП-4	4	Формовочный участок	I	172,52	370,2	2×400
	6	Участок ремонта и обслуживания оборудования	II	275,25		
	7	Пункт приёма и обработки первичного сырья	II	144,6		
	Всего по ТП-4		I, II	592,37		
ЦТП-5	11	Отдел обеспечения технологического процесса	I	71,9	339,6	2×400
	8	Административное здание	III	160,5		
	9	Торгово-выставочный комплекс	III	89,7		
	10	Складской комплекс	III	153,28		
	Всего по ТП-5		II, III	475,38		

Таким образом, для питания нагрузки цехов на напряжении 0,38/0,22 кВ, выбраны четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами ТМ-630/10 (ТП-1 и ТП-3), ТМ-400/10 (ТП-4 и ТП-5), а также ТМ-1000/10 (ТП-2).

В качестве цеховых ТП выбираются современные комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства

российской компании АО «Электронмаш», КТП-35/10 кВ которой выбрано в работе ранее [7].

Комплектные трансформаторные подстанции КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства АО «Электронмаш» представляют собой высокоэффективные устройства, спроектированные для обеспечения надёжного и безопасного электроснабжения различных объектов, включая жилые зоны, промышленные предприятия и инфраструктурные объекты. Эти подстанции обладают рядом существенных преимуществ, которые делают их востребованными на рынке.

Одним из ключевых преимуществ КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) является их высокая степень интеграции и автоматизации. Подстанции комплектуются всем необходимым оборудованием, включая трансформаторы, распределительные устройства, устройства защиты и автоматики, что позволяет сократить время и стоимость монтажа на объекте, а также упрощает последующую эксплуатацию и техническое обслуживание.

Продукция АО «Электронмаш» отличается высоким качеством исполнения и надёжностью, что обеспечивается использованием современных материалов и технологий в производственном процессе. КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) спроектированы таким образом, чтобы минимизировать риски аварийных ситуаций и обеспечить стабильную работу в условиях изменчивых климатических и эксплуатационных нагрузок.

Энергоэффективность является ещё одним значимым преимуществом данных подстанций. Благодаря оптимальному выбору компонентов и эффективной схеме распределения энергии, КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) способствуют снижению потерь электроэнергии в процессе её трансформации и распределения, что важно для снижения эксплуатационных расходов и повышения общей экономической эффективности проектов.

Таким образом, комплектные трансформаторные подстанции КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства АО «Электронмаш» являются оптимальным решением, сочетающим в себе технологичность, экономичность и экологичность, что делает их востребованными на рынке

электрооборудования. Учитывая перечисленные преимущества, данный тип подстанции окончательно принимается в системе электроснабжения объекта проектирования.

Выводы по разделу.

В работе выбраны и проверены число, мощности и типоразмеры силовых трансформаторов системы электроснабжения корпуса чугунолитейного машиностроительного завода.

Для данной цели на ГПП-35/10 кВ объекта исследования принята установка двух силовых трансформаторов типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора, а также нагрузочной и перегрузочной способности.

В качестве ГПП-35/10 кВ выбрана комплектная трансформаторная подстанция (далее – КТП) типа КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш», имеющей значительные преимущества по сравнению с аналогичными разработками.

Для питания нагрузки цехов на напряжении 0,38/0,22 кВ, выбраны четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами ТМ-630/10 (ТП-1 и ТП-3), ТМ-400/10 (ТП-4 и ТП-5), а также ТМ-1000/10 (ТП-2).

В качестве цеховых ТП выбраны современные комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства российской компании АО «Электронмаш», КТП-35/10 кВ которой выбрано в работе ранее.

Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения предприятия представляет собой важную процедуру, направленную на обеспечение безопасности, надёжности и стабильности функционирования электрических сетей. Этот процесс включает анализ потенциальных аварийных ситуаций, которые могут возникнуть вследствие коротких замыканий, и разработку мер для их предотвращения и минимизации последствий.

Основная цель расчёта заключается в определении максимально возможных токов короткого замыкания в различных точках электрической системы предприятия.

Это позволяет правильно выбрать и проверить электрооборудование и защитные устройства, которые должны срабатывать достаточно быстро и эффективно отключать повреждённые участки сети и, тем самым, предотвращать распространения аварии.

Расчёт токов короткого замыкания требует точной информации о всех компонентах системы, включая трансформаторы, кабели, шины и другое оборудование. Особое внимание уделяется параметрам, влияющим на величину токов короткого замыкания, таким как активное сопротивление и реактивное сопротивление элементов.

Современные методы расчёта часто используют программное обеспечение для моделирования различных режимов работы сети, что позволяет более точно прогнозировать возможные аварии и оптимизировать систему защиты. Такие расчёты не только повышают безопасность и надёжность работы электроснабжения на предприятиях, но и способствуют оптимизации капитальных вложений в электрическую инфраструктуру за счёт правильного выбора и настройки защитного оборудования.

Исходная схема для расчёта токов КЗ приведена на рисунке 6.

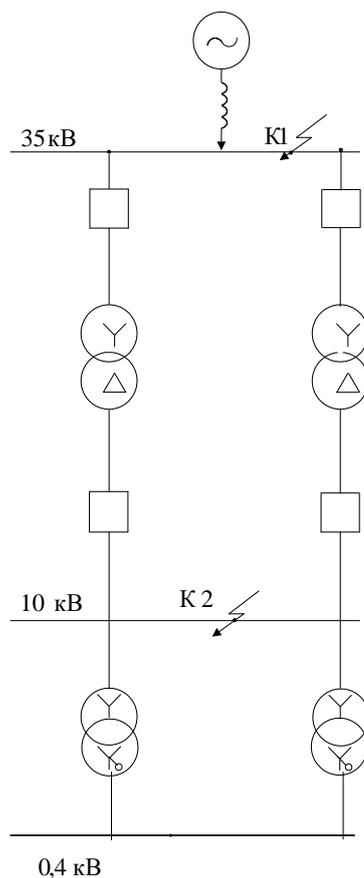


Рисунок 6 – Исходная схема для расчета токов КЗ

Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ представлена на рисунке 7.

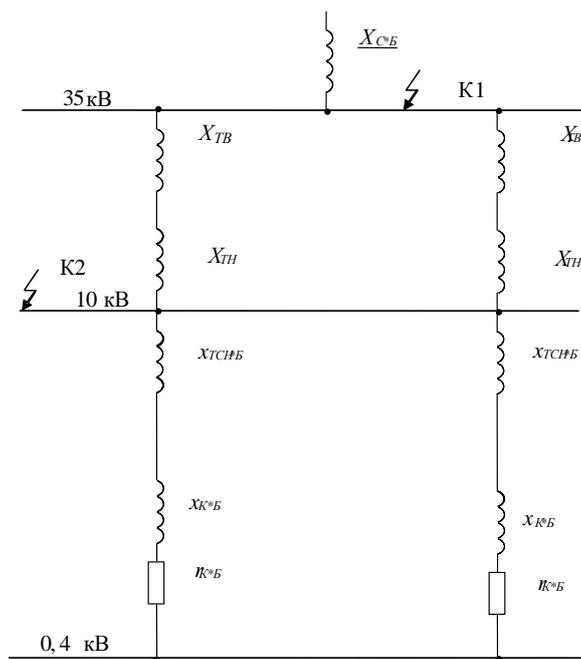


Рисунок 7 – Исходная полная схема замещения

«Сопротивление энергосистемы» [13]:

$$X_{C*} = \frac{S_{\delta}''}{S_K}, \text{ о.е.}, \quad (23)$$

где « S_K'' - полная мощность трёхфазного КЗ энергосистемы» [13].

$$X_{C*} = \frac{100}{470} = 0,213 \text{ о.е.}$$

«Сопротивления силового двухобмоточного трансформатора ГПП-35/10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода» [13]:

$$X_T = \frac{u_K \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{\text{НОМ.Т}}}, \quad (24)$$

где « $S_{\text{НОМ.Т}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА» [13].

$$X_{Т.В} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,268 \text{ Ом.}$$

$$X_{Т.Н} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,168 \text{ Ом.}$$

«Ток трёхфазного КЗ» [13]:

$$I_{К.1}'' = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{см1}} X_{\text{рез}\delta*}}, \text{ кА.} \quad (25)$$

«Результирующее сопротивление к точке К1» [13]:

$$X_{\text{РЕЗ.К1}} = X_C, \text{ о.е.} \quad (26)$$

$$X_{\text{РЕЗ.К1}} = 0,213 \text{ о.е.}$$

«Ток трёхфазного КЗ в расчётной точке К1» [13]:

$$I''_{K1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 38,5 \cdot 0,213} = 2,357 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К2» [13]:

$$X_{\text{рез.2}} = X_{\text{рез.1}} + \frac{(X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН}}) \cdot (X_{\text{ТВ}} + X_{\text{ТН}})}{2 \cdot X_{\text{ТВ}} + 2 \cdot X_{\text{ТН}}}, \text{ о.е.} \quad (27)$$

$$X_{\text{рез.2}} = 0,213 + \frac{1}{2}0,168 + \frac{1}{2}0,268 = 0,427 \text{ о.е.}$$

«Ток трёхфазного КЗ в расчётной точке К2» [13]:

$$I''_{K2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,6 \cdot 0,427} = 20,493 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока» [13]:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I''_{\text{К}}, \text{ кА,} \quad (28)$$

где « $k_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент» [13].

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 2,357 = 5,999 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 20,49 = 52,161 \text{ кА.}$$

«Значение двухфазного тока КЗ» [13]:

$$I_{\text{по(min)}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_{\text{К}}, \text{ кА.} \quad (29)$$

$$I_{\text{по(мин)к1}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,357 = 2,040 \text{ кА.}$$

$$I_{\text{по(мин)к2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 20,49 = 17,744 \text{ кА.}$$

Результаты расчёта токов КЗ в СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода представлены в виде таблицы 4 [17].

Таблица 4 – Результаты расчёта токов КЗ в СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода

Параметры точки короткого замыкания	U _{см} , кВ	X _{рез}	I ^{''} , кА	i _{уд} , кА	I ² _к , кА
К ₁	35	0,213	2,357	5,999	2,040
К ₂	10	0,427	20,493	52,161	17,744

Полученные результаты используются в работе далее.

Выводы по разделу.

В работе рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи в сети 35 кВ и 10 кВ объекта проектирования.

Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников

Выбор и проверка проводников

«Далее в работе необходимо провести проверочный расчёт проводников СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода. В работе в системе электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода, выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к силовым трансформаторам ГПП-35/10 кВ) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ к цеховым ТП-10/0,4 кВ)» [12].

«Выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 35 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ) СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода, осуществляется по известному условию экономической плотности тока» [12]:

$$S_p = \frac{I_p}{j_э}, \quad (30)$$

где « $j_э$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [12].

«При этом расчетное значение рабочего тока нормального режима» [15]:

$$I_H = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (31)$$

где « S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [15].

«Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима» [15]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_H. \quad (32)$$

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода в нормальном режиме работы» [15]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}}, \quad (33)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «предельно – допустимое справочное значение тока выбранного проводника линии, А» [12].

«Проверка проводников в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.мах}}, \quad (34)$$

где $I_{\text{р.мах}}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А» [11].

«Проверка минимально допустимого сечения проводника» [11]:

$$S_{\text{ст}} \geq S_{\text{мин}}, \text{ мм}^2. \quad (35)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода.

Принятое питание ГПП-35/10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением транспозиционных проводов воздушных линий.

В работе, для большей надежности функционирования воздушных линий, с учетом климатических условий, для установки на новой питающей

ВЛ-35 кВ, выбирается уникальный по своей конструкции компактный провод марки «AERO-Z» (АЭРО-Зет) [9].

Компактный провод марки «AERO-Z» представляет собой инновационное решение в области проводниковой продукции, отвечающее современным требованиям электротехнической индустрии. Этот провод разработан с использованием передовых технологий, что обеспечивает его высокую функциональность и надежность в различных эксплуатационных условиях.

Одним из ключевых преимуществ «AERO-Z» является его компактная конструкция, которая позволяет значительно сократить занимаемое пространство при прокладке, что особенно важно в условиях ограниченного пространства или при необходимости минимизации визуального воздействия на окружающую среду. Благодаря уменьшенному диаметру провода, также упрощается процесс транспортировки и монтажа, что снижает общие затраты на установку систем.

Конструкция провода «AERO-Z» включает использование высококачественных материалов, обеспечивающих его прочность, устойчивость к механическим повреждениям и воздействию атмосферных факторов, таких как ультрафиолетовое излучение, влажность и перепады температур. Эти характеристики делают провод идеально подходящим для использования в различных климатических условиях, в том числе в регионах с экстремальными погодными условиями.

Кроме того, провод «AERO-Z» характеризуется высокой электрической проводимостью и эффективностью, что позволяет снизить потери электроэнергии в процессе передачи. Это способствует повышению энергоэффективности всей системы электроснабжения, что актуально в контексте глобальных трендов по снижению энергопотребления и углеродных выбросов.

Таким образом, провод марки «AERO-Z» предоставляет эффективное решение для современных проектов электроснабжения, где требуется

надежность, экономическая эффективность и минимализация воздействия на окружающую среду [9].

«Ток нормального режима для питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода» [12]:

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

«Ток послеаварийного режима для этой же линии» [12]:

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

«Расчётное сечение питающей ВЛ-35 кВ ГПП-35/10 кВ» [12]:

$$S_3 = \frac{86,2}{1,1} = 78,3 \text{ мм}^2.$$

«Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода, с учётом подключения перспективной и незапланированной нагрузки сторонних потребителей, выбирается для питающих ВЛ-35 кВ провод марки АЕРО-Z - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{\text{доп}} = 425 \text{ А}$.

Проверка предварительно выбранного провода марки АЕРО-Z - 148 для воздушной линии 35 кВ по току нормального режима выполняется» [12]:

$$425 \text{ А} \geq 86,2 \text{ А.}$$

«Проверка предварительно выбранного провода марки АЕРО-Z - 148 для воздушной линии 35 кВ по максимальному рабочему току ПАВ режима выполняется» [12]:

$$425 \text{ A} \geq 172,4 \text{ A}.$$

Проверка по условию минимально допустимого сечения также выполняется:

$$148 \text{ мм}^2 \geq 70 \text{ мм}^2.$$

Для сети 10 кВ объекта предлагается использовать кабели марки АСБл–10. Кабели силовые марки АСБл–10 представляют собой алюминиевые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена, что делает их идеальным выбором для применения в условиях повышенных требований к электрической безопасности и надёжности. Эти кабели разработаны для передачи и распределения электроэнергии в сетях на напряжение до 10 кВ, в том числе для прокладки в земле, в кабельных сооружениях, помещениях, каналах, наружной установки на стенах зданий и других структурах.

Одним из основных преимуществ кабелей АСБл–10 является их повышенная устойчивость к механическим воздействиям и атмосферным факторам, что достигается за счёт использования в конструкции кабеля армирования бронёй из двух стальных лент. Эта особенность конструкции обеспечивает кабелю дополнительную защиту от механических повреждений и делает его подходящим для использования в условиях риска механического воздействия, например, в промышленных зонах или на объектах с интенсивным движением.

Кроме того, изоляция из сшитого полиэтилена обладает отличными диэлектрическими свойствами, способствующими снижению риска пробоя и увеличению срока службы кабеля.

Использование сшитого полиэтилена в качестве основной и поясной изоляции, также придает кабелю повышенную стойкость к термическим нагрузкам, что критически важно для поддержания его функциональности при высоких температурах, возникающих в процессе эксплуатации или в случае возгорания. Электрические и физические характеристики кабелей АСБл–10, такие как низкое удельное сопротивление и высокая прочность, делают их надёжным решением для обеспечения стабильного электроснабжения.

Эти кабели не только способствуют повышению эффективности системы электроснабжения за счёт минимизации потерь мощности, но и вносят вклад в общую безопасность электрических сетей. Таким образом, силовые кабели АСБл–10 обладают рядом конструктивных и функциональных особенностей, делающих их предпочтительным выбором для использования в различных условиях, требующих высокой надёжности и безопасности электрического энергоснабжения. Выбор кабельных линий 10 кВ проведён аналогично и результаты представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода

№ ТП	n, шт.	I_p, A	$I_{p,max}, A$	F_{Σ}, mm^2	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$\Delta U, \%$
ТП-1	2	25,2	50,4	18,0	АСБл–10 (3×16)	75	2,4
ТП-2	2	39,7	79,4	28,3	АСБл–10 (3×25)	90	1,8
ТП-3	2	32,3	64,6	23,0	АСБл–10 (3×25)	90	1,1
ТП-4	2	19,9	39,8	14,2	АСБл–10 (3×16)	75	1,9
ТП-5	2	14,3	28,6	10,2	АСБл–10 (3×16)	75	2,6
Отдел обеспечения технологического процесса (АД 10 кВ)	2	21,8	43,6	15,6	АСБл–10 (3×16)	75	2,1

Таким образом установлено, что все выбранные проводники для применения в сети 35 кВ и 10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок.

Они показаны в графической части работы.

Выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия

Далее в работе проводится выбор электрических аппаратов питающей сети предприятия. Выбор аппаратов проводится с чѐтом выбранных ранее конструктивных решений в СЭС объекта исследования.

В работе были выбраны типы подстанций для ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ. В качестве ГПП-35/10 кВ выбрана КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш», в качестве цеховых ТП-10/0,4 кВ выбраны комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) АО «Электронмаш».

Исходя из данного выбора, их типовые ячейки комплектуются аппаратами, которые выбираются в разделе далее при использовании [19].

Так как оборудование устанавливается в ячейки, выбирается оборудование с вакуумной изоляцией.

Основные аппараты в сети 35 кВ и 10 В – выключатели высокого напряжения, которые отключают цепь под нагрузкой. Результаты выбора выключателей высокого напряжения 35 кВ и 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения 35 кВ и 10 кВ ГПП-35/10 кВ

Наименование присоединения	Тип выключателя	Соотношение паспортных и расчетных данных						
		$\frac{U_n}{U_p}$, кВ	$\frac{I_n}{I_{p,max}}$, А	$\frac{I_{откл.ном}}{I''}$, кА	$\frac{i_{откл.ном}}{i_{кт}}$, кА	$\frac{I_{пр-с}}{I''}$, кА	$\frac{i_{пр-с}^{(3)}}{i_y}$, кА	$\frac{I_t^2 \cdot t}{B_k}$, кА ² ·с
Вводной выключатель 35 кВ	ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1	$\frac{35}{35}$	$\frac{1250}{646}$	$\frac{20}{4,372}$	$\frac{38,18}{10,03}$	$\frac{20}{4,372}$	$\frac{50}{13,63}$	$\frac{1200}{22,08}$
Вводной и секционный выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-25/1600 У2	$\frac{10}{10}$	$\frac{1600}{1346}$	$\frac{25}{20,49}$	$\frac{47,73}{39,64}$	$\frac{25}{20,49}$	$\frac{64}{52,16}$	$\frac{1875}{463}$
Линейные выключатели 10 кВ	ВВ/TEL-10-12,5/630 У2	$\frac{10}{10}$	$\frac{1600}{168}$	$\frac{25}{20,49}$	$\frac{47,73}{39,64}$	$\frac{25}{20,49}$	$\frac{64}{52,16}$	$\frac{1875}{463}$

Выбор разъединителей проводится для применения в ячейках КРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ.

Для данной цели выбраны специализированные разъединители марки РНДЗ (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки разъединителей для установки в РУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС

Наименование присоединения	Тип разъединителя/ привода	$\frac{U_n}{U_{уст}}$ кВ	$\frac{I_n}{I_{р.макс}}$ А	$\frac{I_{пр.с}}{I}$ кА	$\frac{i_{пр.с}}{i_y}$ кА	$\frac{I_{т.т}^2 t_t}{B_k}$ кА ² ·с
ОРУ 35 кВ	<u>РДЗ-1-35/1000НУХЛ1</u> ПРГ-01 2БУХЛ1	<u>35</u>	<u>1000</u>	<u>63</u>	<u>80</u>	<u>1875</u>
	<u>РДЗ-2-35/1000НУХЛ1</u> ПРГ-01 2БУХЛ1	35	646	4,37	13,6	22,1

Результаты выбора трансформаторов напряжения (ТН) для установки в ячейках 10 кВ питающей ГПП-35/10 кВ, представлены в работе в форме таблицы 8.

На стороне 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ корпуса чугунного литья ТН не устанавливаются.

Таблица 8 – Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в ячейках 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ

Тип ТН	Кол-во ТН	Мощность на один ТН, ВА	Класс точности	$\frac{U_n}{U_{уст}}$, кВ	$\frac{S_n}{S_2 \Sigma}$, ВА
НТМИ-10-66	4	36,8/4	1	$\frac{10}{10}$	$\frac{200,0}{9,3}$

Результаты выбора и проверки трансформаторов тока для установки в РУ классов напряжения 35 кВ и 10 кВ на питающей ГПП-35/10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора новых трансформаторов тока для установки в РУ ГПП-35/10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода

Наименование присоединения	Марка ТТ	Исполнение вторичной обмотки	$\frac{U_n}{U_{уст}}$	$\frac{I_{Iном}}{I_{р.макс}}$ А	$\frac{i_{дин}}{i_y}$	$(k_T I_{Iном})^2 t_T$
			кВ		кА	B_k кА ² ·с
Ввод РУ 35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{800}{647}$	-	-
ВЛ-35 кВ	ТГФМ-35-У3	0,5/Р/Р	$\frac{35}{35}$	$\frac{300}{202}$	-	-
Шины 10 кВ	ТПК-10-У3	10Р/10Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{1500}{1346}$	$\frac{118}{52,2}$	$\frac{7056}{463}$
Отходящие линии 10 кВ	ТПК-10-У3	0,5/Р	$\frac{10}{10}$	$\frac{400}{168}$	$\frac{75}{52,2}$	$\frac{2825}{463}$

С целью защиты от атмосферных и коммутационных перенапряжений выбираются ограничители перенапряжений (далее – ОПН).

Известно, что ОПН устанавливаются на вводах воздушных линий электропередачи (в нашем случае – ввод 35 кВ питающей ГПП-35/10 кВ), а также в ячейках 35 кВ и 10 кВ совместно с выбранными ранее вакуумными выключателями.

В последнее время практически все ОПН производят с нелинейной характеристикой, что значительно лучше предыдущих разработок.

В таких ОПН выходной параметр (напряжение на выходе из установки) не зависит от входного параметра (перенапряжение на входе установки).

Следовательно, данные типы ОПН более перспективные и надёжные, поэтому их выбор обоснован.

Таким образом, выбор современных ОПН для защиты оборудования питающей ГПП-35/10 кВ предприятия, полностью обоснован.

Результаты выбора ограничителей перенапряжения 35 кВ и 10 кВ для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора ограничителей перенапряжения 35 кВ и 10 кВ для установки в соответствующих РУ питающей ГПП-35/10 кВ

Наименование и место установки	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
ОПН-У/TEL 35/40,5 УХЛ1	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 35 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 35 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 369,9 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 600 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 7,6 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 40,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,3^2 \cdot 3 =$ $= 32,67 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 =$ $= 2976,8 \text{ кА}^2\text{с.}$
ОПН- РС/TEL 6/7,6 УХЛ1	$U_{\text{сети}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{max}} = 1177,1 \text{ А.}$	$I_{\text{ном}} = 400 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{\text{дин}}$	$i_y = 12,4 \text{ кА.}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,8^2 \cdot 3 =$ $= 69,1 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 =$ $= 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Всё выбранное оборудование напряжением 35 кВ и 10 кВ подходит для установки на ГПП-35/10 кВ объекта исследования. Все выбранные в работе электрические аппараты показаны в графической части.

Выводы по разделу.

Выбраны проводники и электрические аппараты.

Для питания ГПП-35/10 кВ выбран и проверен современный провод ВЛ марки АЕРО-Z - 148 с сечением токоведущей жилы 148 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{\text{доп}} = 425 \text{ А}$.

Для питания сети 10 кВ выбраны кабели марки АСБ – 10 различных сечений, проложенные в земляной траншее.

Выбрано и проверено основное стационарное оборудование с вакуумной изоляцией для комплектования ячеек РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ объекта исследования.

Расчёт и выбор релейной защиты, заземления и молниезащиты ГПП

6.1 Выбор релейной защиты ГПП

Как было установлено ранее, на питающей ГПП-35/10 кВ СЭС корпуса чугунного литья машиностроительного завода устанавливаются два силовые трансформатора марки ТМН-10000/35.

Кроме того, в СЭС объекта проектирования также есть линейные присоединения:

- вводные – 35 кВ и 10 кВ;
- секционное – 10 кВ;
- линейные – 10 кВ.

Все указанные присоединения требуют надёжной защиты [1].

Для этой цели на подстанции выбрана модификация блока РЗА марки БЭМП РУ, в которую входят основные релейные защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода [10] (рисунок 8).



Рисунок 8 – Микропроцессорный терминал РЗА серии «БЭМП РУ»

Микропроцессорный терминал релейной защиты и автоматики «БЭМП РУ» представляет собой современное устройство, предназначенное для обеспечения высокоэффективной защиты, управления и мониторинга электрических сетей. Разработка этого терминала учитывает последние тенденции в области энергетики и автоматизации, что делает его особенно актуальным для современных энергетических систем.

Преимущества терминала «БЭМП РУ» заключаются в его способности к быстрой и точной обработке сигналов, что критически важно для предотвращения аварий и повышения общей безопасности энергетических установок. Использование микропроцессорной технологии позволяет терминалу эффективно анализировать параметры сети и мгновенно реагировать на изменения, минимизируя время отклика и вероятность ошибок.

Терминал оснащён возможностями для диагностики и контроля состояния оборудования в реальном времени, что облегчает процесс управления сетью и позволяет оперативно выявлять и устранять потенциальные неполадки до того, как они приведут к серьёзным проблемам. Эта особенность также способствует оптимизации процессов технического обслуживания и планирования ремонтных работ.

Кроме того, «БЭМП РУ» обладает высокой адаптивностью к различным рабочим условиям и может быть интегрирован с другими системами автоматики и управления, что делает его универсальным решением для широкого спектра задач в области энергетики. Такая интеграция способствует созданию единой, согласованной системы управления энергетическими ресурсами, повышая её эффективность и надёжность.

Также микропроцессорный терминал релейной защиты и автоматики «БЭМП РУ» является высокотехнологичным устройством, которое обеспечивает комплексный подход к управлению и защите электрических сетей. Его применение на предприятиях и в инфраструктурных объектах способствует повышению их энергетической безопасности, стабильности и экономической эффективности.

Таким образом, микропроцессорный терминал РЗА серии «БЭМП РУ» является высокотехнологичным решением для систем электроснабжения, предлагающим улучшенную надежность, гибкость и безопасность в управлении электрическими сетями. Указанные преимущества обуславливают выбор данного терминала РЗА для применения на питающей ГПП-35/10 кВ.

Отстройка токов уставок терминала РЗА серии «БЭМП РУ» для применения на питающей ГПП-35/10 кВ проводится от значений, рассчитанных в работе ранее, а именно [1]:

- максимальная токовая защита и защита от перегрузки – от максимальных рабочих токов;
- дифференциальная защита линий и трансформаторов – от предельных токов КЗ.

Все уставки выставляются на терминале автоматически при введении нужных значений, что помогает избежать влияния «человеческого фактора».

6.2 Расчёт заземления ГПП

Заземление трансформаторных подстанций выполняет критически важные функции, направленные на обеспечение безопасности и надёжности электроснабжения. Это является неотъемлемой частью системы электробезопасности, так как заземление снижает риск поражения электрическим током персонала и посетителей подстанции, а также защищает оборудование от возможных повреждений.

Основной функцией заземления является обеспечение безопасного пути для прохождения тока утечки или тока короткого замыкания в землю, что способствует снижению потенциала на заземлённых конструкциях и оборудовании до безопасного уровня. В случае возникновения неисправности или пробоя изоляции, заземляющая система отводит избыточные токи в землю, тем самым предотвращая возможное возникновение пожара или других аварийных ситуаций.

«Сопротивление заземляющего контура» [12]:

$$R_3 = \frac{A \cdot \rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{(L_{\Gamma} + L_{\text{В}})}, \quad (36)$$

где « S – площадь заземляющего контура, м^2 ;

$L_{\text{В}}$ – общая длина вертикальных электродов, м;

L_{Γ} – общая длина горизонтальных электродов, м;

ρ – эквивалентное сопротивление грунта (согласно виду грунта в месте сооружения заземления);

$l_{\text{В}}$ – длина вертикальных заземлителей, м;

h_{Γ} – глубина заложения горизонтальных электродов, м» [12].

$$A = \frac{0,444 - 0,84 \cdot (l_{\text{В}} + h_{\Gamma})}{\sqrt{S}}, \quad (37)$$

где « $l_{\text{В}}$ – длина вертикальных заземлителей, принимается равной 5 м;

h_{Γ} – глубина заложения горизонтальных электродов» [12],

принимается равной 0,7 м.

Площадь ГПП-35/10 кВ:

$$S = a \cdot b, \text{ м}^2. \quad (38)$$

$$S = 69,5 \cdot 32 = 2224 \text{ м}^2.$$

Определяется суммарная длина вертикальных заземлителей всей подстанции:

$$L_{\text{В}} = \frac{a}{l_{\text{В}}} \cdot b + \frac{b}{l_{\text{В}}} \cdot a, \text{ м}, \quad (39)$$

где a – длина подстанции, м;

b – ширина подстанции, м.

$$L_B = \frac{69,5}{5} \cdot 32 + \frac{32}{5} \cdot 69,5 = 889,6 \text{ м.}$$

«Суммарная длина горизонтальных заземлителей всей подстанции» [12]:

$$L_r = \frac{a}{h_r} \cdot b + \frac{b}{h_r} \cdot a, \text{ м.} \quad (40)$$

$$L_r = \frac{69,5}{0,7} \cdot 32 + \frac{32}{0,7} \cdot 69,5 = 6354,3 \text{ м.}$$

«Исходя из этого» [12]:

$$A = \left[\frac{0,444 - 0,84 \cdot (5 + 0,7)}{\sqrt{2224}} \right] \approx 0,015.$$

$$R_3 = \frac{0,015 \cdot 400}{\sqrt{2224}} + \frac{400}{(6354,3 + 889,6)} \approx 0,018 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление контура заземления должно быть не более 0,5 Ом» [12]:

$$R_3 \leq [R_3] = 0,5 \text{ Ом.} \quad (41)$$

«Для условий подстанции данное условие выполняется» [12]:

$$0,018 \text{ Ом} \leq [R_3] = 0,5 \text{ Ом.}$$

«Количество электродов, расположенных по периметру подстанции» [12]:

$$n_{\text{II}} = \frac{L_{\text{II}}}{a}, \quad (42)$$

где « L_{II} – периметр подстанции, м;

a – расстояние между электродами в контуре заземления, м» [12].

$$L_{\text{II}} = 2(a + b), \text{ м.} \quad (43)$$

$$L_{\text{II}} = 2(69,5 + 32) = 203 \text{ м.}$$

«В числовом виде» [12]:

$$n_{\text{II}} = \frac{203}{5} = 40,6 \text{ шт.}$$

«Принимается число вертикальных электродов, равное 40 шт.

Расчетное значение напряжения прикосновения определяется из выражения» [12]:

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{к}} \cdot R_{\text{з}} \cdot K_{\text{пр}}, \quad (44)$$

где « $K_{\text{пр}}$ – коэффициент прикосновения» [12].

Коэффициент прикосновения определяется по условию» [12]:

$$K_{\text{пр}} = M \cdot \beta \cdot \left(\frac{a \cdot \sqrt{S}}{l_{\text{в}} \cdot L_{\text{Г}}} \right)^{0,45}, \quad (45)$$

где M – коэффициент расположения электродов в контуре заземления (зависит от формы контура заземления и количества электродов);

β – «коэффициент контакта человека с заземлением» [12].

«Коэффициент контакта человека с заземлением» [12]:

$$\beta = \frac{R_{\text{ч}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{с}}}, \quad (46)$$

где « $R_{\text{ч}}$ – сопротивление человека, принимается 1000 Ом;

$R_{\text{с}}$ – сопротивление растекания тока со ступней человека, Ом» [13].

«Для условий подстанции» [12]:

$$\beta = \frac{1000}{1000 + 7500} = 0,12.$$

$$K_{\text{пр}} = 0,75 \cdot 0,12 \cdot \left(\frac{5 \cdot \sqrt{2224}}{5 \cdot 6354,3} \right)^{0,45} \approx 0,02.$$

$$U_{\text{пр}} = 25000 \cdot 0,018 \cdot 0,02 \approx 9 \text{ В.}$$

«Напряжение прикосновения в контуре заземления» [12]:

$$U_{\text{пр}} \leq U_{\text{пр.доп}}, \text{В.} \quad (47)$$

Условие соблюдено:

$$U_{\text{пр}} = 9 \text{ В} \leq U_{\text{пр.доп}} = 100 \text{ В.}$$

В итоге, в работе принято число вертикальных электродов, равное 40 шт., с расстоянием между электродами 5 м, длиной вертикальных заземлителей 5 м и глубиной заложения горизонтальных электродов 0,7 м.

Контур заземления питающей ГПП-35/10 кВ показан в работе на графическом листе 6.

6.3 Расчёт молниезащиты ГПП

Известно, что молниезащита на трансформаторных подстанциях играет фундаментальную роль в обеспечении безопасности и надежности функционирования этих критически важных объектов электросети.

В условиях возрастающей интенсивности и частоты грозových явлений, эффективная молниезащита становится необходимым элементом проектирования и эксплуатации электроэнергетических объектов.

Основная функция молниезащиты заключается в предотвращении прямых ударов молний в оборудование подстанций и минимизации последствий электромагнитных импульсов, вызванных молниевыми разрядами. Для этого применяются молниеотводы, которые выполняют роль «приемников» молний, безопасно отводя электрический разряд в землю через систему заземления. Это предотвращает прямое попадание молнии в чувствительное оборудование, такое как трансформаторы, распределительные устройства и системы управления.

Молниезащита на ГПП-35/10 кВ осуществляется стержневыми молниеотводами. Радиус защиты [16]:

$$r_x = 1,5 \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right), \quad (48)$$

«где h – высота молниеотвода, м;

h_x – расчетная высота, м» [18].

«Коэффициент p определяется по формуле» [16]:

$$P = \frac{5,5}{\sqrt{h_a}}, \quad (49)$$

где « h_a – активной части молниеотвода, м» [16].

«Высота активной части определяется по формуле» [16]:

$$h_a = h - h_x, \quad (50)$$

«Для двух молниеотводов одной высоты» [16]:

$$2b_x = 4r_x \frac{7h_a - a}{14h_a - a}, \quad (51)$$

где « h_a – разность между высотой молниеотвода и расчетной высотой,

м;

a – расстояние между двумя молниеотводами, м» [16].

«Высота защищенной точки» [16]:

$$h_0 = h - \frac{a}{7 \cdot p}, \quad (52)$$

Условие проверки молниезащиты:

$$D \leq 8 \cdot p \cdot (h - h_x) = 8 \cdot p \cdot h_a. \quad (53)$$

В качестве расчётных высот принимается два значения:

– для молниеотвода М1 – 24 м:

– для молниеотвода М2 – 33 м.

Все расчёты проводятся для двух расчётных высот молниеотводов.

«Определяется коэффициент» [16]:

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{33 - 24}} = 1,375.$$

$$p = \frac{5,5}{\sqrt{33 - 7,9}} = 1,1.$$

Радиус зоны защиты на расчётных высотах [16]:

$$r_{X1} = 1,6 \cdot 33 \cdot \frac{33 - 24}{33 + 24} \cdot 1,375 = 23,5 \text{ м.}$$

$$r_{X2} = 1,6 \cdot 33 \cdot \frac{33 - 7,9}{33 + 7,9} \cdot 1,1 = 35,6 \text{ м.}$$

Минимальная ширина защиты на расчётных высотах [16]:

$$2b_{X1} = 4 \cdot 23,5 \cdot \frac{7 \cdot 16 - 92,5}{14 \cdot 16 + 92,5} = 5,8 \text{ м.}$$

$$2b_{X2} = 4 \cdot 35,6 \cdot \frac{7 \cdot 25,1 - 92,5}{14 \cdot 25,1 + 92,5} = 26,7 \text{ м.}$$

Проверка работоспособности молниезащиты на расчётных высотах:

$$D_1 = 91 \text{ м} \leq 8 \cdot 1,375 \cdot (33 - 17) = 176 \text{ м.}$$

$$D_2 = 91 \text{ м} \leq 8 \cdot 1,1 \cdot (33 - 7,9) = 221 \text{ м.}$$

Расположение устройств молниезащиты подстанции показано на графическом листе 6.

Выводы по разделу.

Для применения на питающей ГПП-352/10 кВ выбран и обоснован микропроцессорный терминал РЗА серии «БЭМП РУ», который является высокотехнологичным решением для систем электроснабжения, предлагающим улучшенную надежность, гибкость и безопасность в управлении электрическими сетями. Установлено, что отстройка токов

уставок данного терминала проводится от значений, рассчитанных в работе ранее, а именно:

- максимальная токовая защита и защита от перегрузки – от максимальных рабочих токов;
- дифференциальная защита линий и трансформаторов – от предельных токов КЗ.

Все уставки выставляются на терминале автоматически при введении нужных значений, что помогает избежать влияния «человеческого фактора».

В работе рассчитан контур заземления и молниезащита ГПП-35/10 кВ корпуса чугунного литья машиностроительного завода. Для выполнения контура заземления в работе принято число вертикальных электродов, равное 40 шт., с расстоянием между электродами 5 м, длиной вертикальных заземлителей 5 м и глубиной заложения горизонтальных электродов 0,7 м.

Молниезащита подстанции выполнена с применением шести молниеотводов высотой 33 м (вторая расчётная высота) с начальной активной зоной действия на высоте, равной 24 м (первая расчётная высота).

Установлено, что разработанный контур заземления и конструкция молниезащиты удовлетворяет требованиям всех нормативных документов, поэтому они могут быть применены на данной подстанции.

Заключение

В работе осуществлена разработка мероприятий по проектированию системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода с последовательной проверкой основных решений.

Проведён анализ исходных технических и технологических данных на выполнение работы.

Установлено, что производственные мощности и технологии корпуса чугунного литья машиностроительного завода требуют развития материально-технической базы, в связи с чем предлагается разработать проект нового подразделения данной организации, деятельность которого будет сосредоточена на литье деталей машин, механизмов и сопутствующего оборудования. Такое подразделение является одним из важнейших и ключевых на машиностроительном заводе.

Таким образом, установлено, что в состав проектируемого корпуса чугунного литья машиностроительного завода входят 11 подразделений совокупной мощностью 5103 кВт, выполняющих стратегически важную роль в обеспечении эффективной и бесперебойной работы всего производственного процесса.

Пять подразделений объекта проектирования относятся к I категории, по три объекта – ко II и III категории надёжности.

В результате проведения анализа требований к проектированию систем электроснабжения предприятий сталелитейной промышленности определены основные нормы к проектированию данных подразделений, исходя из категорий их надёжности.

Приняты соответствующие схемные решения для внедрения в проектируемой системе электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода.

Расчётно-аналитическим способом установлено, на питающей ГПП

корпуса чугунного литья машиностроительного завода целесообразно использовать два класса напряжения:

- 35 кВ (питающее напряжение внешней СЭС объекта);
- 10 кВ (распределительное напряжение внешней СЭС объекта).

Установлено, что внешняя система электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода будет включать следующие основные элементы:

- питающая линия электропередачи напряжением 35 кВ (двухцепная линия – по числу трансформаторов ГПП с учётом питания по радиальной схеме электроснабжения;
- питающая ГПП-35/10 кВ, состоящая из двух силовых трансформаторов, а также распределительных устройств высшего (35 кВ) и низшего напряжений (10) кВ.

Так как данная ГПП-35/10 кВ будет питать один конечный потребитель (проектируемое предприятие), по месту расположения в энергосистеме такая подстанция будет являться тупиковой. Значит, транзита и перетока энергии к соседним подстанциям и линиям предусмотрено не будет.

С учётом технических и экономических аспектов, выбраны и в последствии обоснованы рациональные схемные решения для применения на ГПП-35/10 кВ объекта проектирования.

Установлено, что в работе будет использовано 5 ЦТП с двумя трансформаторами 10/0,4 кВ, которые устанавливаются в подразделениях, относящихся к I категории надёжности.

При этом объекты II категории надёжности необходимо запитать двумя линиями от разных трансформаторов данных цеховых подстанций.

Объекты III категории надёжности предложено запитать одной линией от шин 0,4 кВ ЦТП.

В работе выбраны и проверены число, мощности и типономиналы силовых трансформаторов системы электроснабжения корпуса чугунного литья машиностроительного завода.

Для данной цели на ГПП-35/10 кВ объекта исследования принята установка двух силовых трансформаторов типа ТМН-10000/35, которые удовлетворяют условиям выбора, а также нагрузочной и перегрузочной способности.

В качестве ГПП-35/10 кВ выбрана комплектная трансформаторная подстанция (далее – КТП) типа КТП «ELM» 35/10 (6) производства российской компании АО «Электронмаш», имеющей значительные преимущества по сравнению с аналогичными разработками.

Для питания нагрузки цехов на напряжении 0,38/0,22 кВ, выбраны четыре двухтрансформаторные подстанции 10/0,4 кВ с силовыми трансформаторами ТМ-630/10 (ТП-1 и ТП-3), ТМ-400/10 (ТП-4 и ТП-5), а также ТМ-1000/10 (ТП-2).

В качестве цеховых ТП выбраны современные комплектные трансформаторные подстанции типа КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69) производства российской компании АО «Электронмаш», КТП-35/10 кВ которой выбрано в работе ранее.

Применение на объекте проектирования всех трансформаторных подстанций одного завода-изготовителя (отечественной компании АО «Электронмаш»), значительно сокращает расходы на обслуживание, монтаж и ремонт данного электрооборудования.

В работе рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи в сети 35 кВ и 10 кВ объекта проектирования.

Выбраны проводники и электрические аппараты.

Для применения на питающей ГПП-35/10 кВ выбран и обоснован микропроцессорный терминал РЗА серии «БЭМП РУ», который является высокотехнологичным решением для систем электроснабжения, предлагающим улучшенную надежность, гибкость и безопасность в управлении электрическими сетями.

Установлено, что отстройка токов уставок данного терминала проводится от значений, рассчитанных в работе ранее, а именно:

- максимальная токовая защита и защита от перегрузки – от максимальных рабочих токов;
- дифференциальная защита линий и трансформаторов – от предельных токов КЗ.

Все уставки выставляются на терминале автоматически при введении нужных значений, что помогает избежать влияния «человеческого фактора».

В работе рассчитан контур заземления и молниезащита ГПП-35/10 кВ корпуса чугунного литья машиностроительного завода. Для выполнения контура заземления в работе принято число вертикальных электродов, равное 40 шт., с расстоянием между электродами 5 м, длиной вертикальных заземлителей 5 м и глубиной заложения горизонтальных электродов 0,7 м.

Молниезащита подстанции выполнена с применением шести молниеотводов высотой 33 м (вторая расчётная высота) с начальной активной зоной действия на высоте, равной 24 м (первая расчётная высота).

Установлено, что разработанный контур заземления и конструкция молниезащиты удовлетворяет требованиям всех нормативных документов, поэтому они могут быть применены на данной подстанции.

Список используемых источников

1. 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.
2. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки (с Изменением № 1). [Электронный ресурс]: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012414> (дата обращения: 19.04.2024).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 19.04.2024).
4. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
6. КТП «ELM» 35/10 (6). [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstancii-do-220-kv/ktp-elm-35-kv> (дата обращения: 18.04.2024).
7. КТП-ELM-10 (6)/0.4 (0.69). [Электронный ресурс]: URL: <https://electronmash.ru/catalog/komplektnye-transformatornye-podstancii-do-220-kv/ktp-elm-6-10-kv> (дата обращения: 18.04.2024).
8. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
9. Линии с проводом AERO-Z и AAACZ – 7 преимуществ. Технические характеристики и сравнение с проводами AC. [Электронный ресурс]: URL: <https://domikelectrica.ru/linii-s-provodom-aero-z-7-preimushhestv/> (дата обращения: 18.04.2024).
10. Микропроцессорные блоки серии БЭМП РУ. [Электронный ресурс]:

URL: <https://www.cheaz.ru/products/rpd/bemp-ru.html> (дата обращения: 18.04.2024).

11. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.

12. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

13. 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: 19.03.2024).

14. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

15. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

16. Устройство молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294815/4294815349.pdf> (дата обращения: 18.04.2024).

17. Чугунное литье [Электронный ресурс]: URL: <https://ivlit.ru/> (дата обращения: 18.04.2024).

18. Чугунное литье [Электронный ресурс]: URL: https://litteh.ru/services/lite_na_zakaz/chugunnoe_lite/ (дата обращения: 18.04.2024).

19. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 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.