

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения трубопрокатного завода

Обучающийся

Р. А. Рыбаков

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О. В. Самолина

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

Тольятти 2023

Аннотация

В работе осуществлено проектирование системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Проведён анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства на трубопрокатном заводе, а также перечень основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий. На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий трубопрокатного завода, разработан комплекс рекомендаций по проектированию системы электроснабжения объекта.

Осуществлены выбор и проверка основных технических решений в электрической части трубопрокатного завода, включая выбор основного электрооборудования (силовых трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций, электрических аппаратов), а также сечения электрических сетей всех классов напряжения и типов релейной защиты.

Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word» и содержит 74 печатные страницы. Она состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка используемых источников из 20 наименований. Источниками для написания работы являются нормативно-правовые документы, учебные пособия, техническая литература, типичные проекты, а также интернет-ресурсы.

Графическая часть работы выполнена в САПР «AutoCAD» и содержит шесть основных чертежей по основным результатам проведённых исследований, а именно: план расположения объектов и сетей системы электроснабжения завода, схема электроснабжения завода, план-разрез ГПП завода, план-разрез цеховых ТП завода, конструкция силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП завода, схема релейной защиты ГПП завода.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных завода	7
1.1 Краткая характеристика технологического процесса и технических условий трубопрокатного завода	7
1.2 Требования нормативных документов к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий	13
2 Проектирование системы электроснабжения завода	17
2.1 Выбор схемы электроснабжения трубопрокатного завода	17
2.2 Расчёт электрических нагрузок	20
2.3 Выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции	24
2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	28
2.5 Выбор и проверка проводников	33
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	38
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов	48
3 Расчёт уставок и выбор схемы релейной защиты и автоматики завода	56
3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики завода	56
3.2 Расчёт релейной защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения трубопрокатного завода	60
3.2 Расчёт релейной защиты линейных присоединений системы электроснабжения трубопрокатного завода	64
Заключение	68
Список используемых источников.....	72

Введение

Развитие промышленных предприятий в Российской Федерации – это важный аспект экономического роста и модернизации страны.

В течение последних десятилетий Россия сталкивалась с рядом вызовов и задач в области развития промышленности, включая устаревшее оборудование, недостаток инноваций, отсутствие инвестиций, бюрократические преграды и проблемы внутренней и внешней конкурентоспособности.

Однако в последнее десятилетие вектор развития промышленности стал меняться, переориентируясь с западных рынков на ведущие восточные страны мировой экономики (Индия, Китай и прочие), а также на «страны глобального юга» (Бразилия, ЮАР и прочие).

С учётом изменения внешней политики, изменяется также подход к выпускаемой продукции промышленных предприятий, требованиям и нормам, предъявляемым к производству и технологическому процессу, а также ко многим другим параметрам и показателям.

Известно, что развитие промышленных предприятий – это сложный и долгосрочный процесс, требующий согласованных усилий со стороны государства, бизнеса и образовательных (правовых) институтов.

Системы электроснабжения промышленных предприятий не стали исключением в данном процессе.

Известно, что проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий – это сложный и ответственный процесс, направленный на создание эффективной и надежной инфраструктуры для обеспечения электроэнергией производственных потребителей.

Эффективная система электроснабжения промышленных предприятий важна для обеспечения бесперебойной работы оборудования, минимизации потерь электроэнергии и обеспечения безопасности персонала.

В конечном итоге, данные аспекты приводят к увеличению

производства, снижению себестоимости произведённой продукции, и, как следствие – повышение конкурентоспособности промышленных предприятий.

Таким образом, процесс проектирование системы электроснабжения промышленного предприятия в современных условиях требует комплексного подхода, учета всех особенностей предприятия и его производственных процессов, а также соблюдения нормативов и стандартов безопасности, экономичности, надёжности и эффективности.

В настоящей работе осуществлено проектирование системы электроснабжения трубопрокатного завода. Это – основная цель работы, которая решается при помощи комплексного подхода и решения основных задач.

Для достижения заданной цели работы, проведён анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства на трубопрокатном заводе, а также перечень основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий.

На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий трубопрокатного завода, необходимо разработать комплекс рекомендаций по проектированию системы электроснабжения объекта.

Для реализации данной задачи, осуществляется выбор и проверка основных технических решений в электрической части трубопрокатного завода, включая выбор основного электрооборудования (силовых трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций, электрических аппаратов), а также сечения электрических сетей всех классов напряжения и типов релейной защиты.

Решение поставленных задач осуществляется в работе на основании принятых расчётных методик с учётом рациональных практических методов исследований.

Таким образом, исходя из основной цели работы, с учётом перечня основных задач, требующие решения, определены объект и предмет исследования:

- объектом исследования в работе является система электроснабжения трубопрокатного завода;
- предметом исследования в работе являются, с одной стороны, электрическое оборудование, аппараты, сети, схема объекта проектирования, а с другой – показатели, характеризующие требуемые параметры надёжности, безопасности, экономичности и прочих аналогичных нормативных параметров проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Актуальность исследования определяется необходимостью развития промышленности с учётом обеспечения качественного проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий с последующим вводом их в эксплуатацию [15].

Представленная работа состоит из расчётно-пояснительной записки и графической части.

Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word». Она состоит из введения, трёх основных разделов, заключения, списка использованных источников из 20 наименований.

Источниками для написания работы являются нормативно-правовые документы, учебные пособия, техническая литература, типичные проекты, а также интернет-ресурсы.

Графическая часть работы выполнена в САПР «AutoCAD» и содержит шесть основных чертежей по основным результатам проведённых исследований, а именно: план расположения объектов и сетей системы электроснабжения завода, схема электроснабжения завода, план-разрез ГПП завода, план-разрез цеховых ТП завода, конструкция силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП завода, схема релейной защиты ГПП завода.

1 Анализ исходных данных завода

1.1 Краткая характеристика технологического процесса и технических условий трубопрокатного завода

В работе объектом проектирования является новый трубопрокатный завод.

На первом этапе необходимо привести краткую характеристику технологического процесса и технических условий трубопрокатного завода.

Технологический процесс на трубопрокатном заводе представляет собой строгую последовательность операций и этапов производства, направленных на получение готовой продукции – труб различных размеров и типов.

Технические условия определяют требования к качеству и характеристикам материалов, оборудования и процессов производства на заводе [19].

Согласно исходным данным на выполнение работы, приведены следующие основные этапы технологического процесса на проектируемом трубопрокатном заводе [14]:

- подготовка сырья: начальный этап, на котором металлическое сырье (обычно стальные заготовки) проверяется на соответствие техническим требованиям и проходит через процессы очистки и обработки.
- нагрев и прокатка: подготовленное сырье нагревается до определенной температуры для улучшения его пластичности, затем прокатывается через специальные валки, чтобы придать ему нужную форму и размер;
- механическая обработка: в зависимости от конечного назначения труб, на этом этапе могут проводиться дополнительные операции, такие, как сверление отверстий, обточка краев и другие виды обработки;

- термическая обработка: некоторые трубы требуют термической обработки для получения нужных механических свойств. Это может включать в себя отжиг (процесс устранения внутренних напряжений), закалку или отпуск;
- тестирование и контроль качества: важная часть процесса – это проверка качества готовых труб с помощью различных методов, таких как ультразвуковой контроль, испытания на механическую и термическую прочность и другие;
- отделка и упаковка: готовые трубы должны проходить этап обработки поверхности (например, покрытие антикоррозионными материалами) и последующую упаковку для защиты от повреждений при транспортировке и длительном хранении.

Технические условия трубопрокатного завода включают в себя следующие основные аспекты, требующие обязательного соблюдения при технологическом процессе производства [14, 19]:

- спецификации материалов: определение требований к химическому составу, механическим свойствам и другим характеристикам стали, используемой для производства труб [14];
- технические стандарты: определение стандартов и требований к размерам, геометрии, толщине стенок и другим параметрам труб [19];
- технические требования к процессам: учёт параметров нагрева, прокатки, обработки, термической обработки и других операций, включая управление температурой, давлением и временем данных процессов [19];
- контроль качества: условия для проведения контроля качества на всех этапах производства, включая методы испытаний и допустимые стандарты для бракованных изделий [14];
- экологические стандарты: требования к соблюдению экологических норм и стандартов, включая утилизацию отходов и соблюдение энергосберегающих технологий [14].

Таким образом, технологический процесс и технические условия на проектируемом трубопрокатном заводе играют важную роль в обеспечении качества и надежности производимой продукции. Технологическая схема производства шовных (сварных), бесшовных и специальных труб на проектируемом трубопрокатном заводе представлена на рисунке 1 [19].

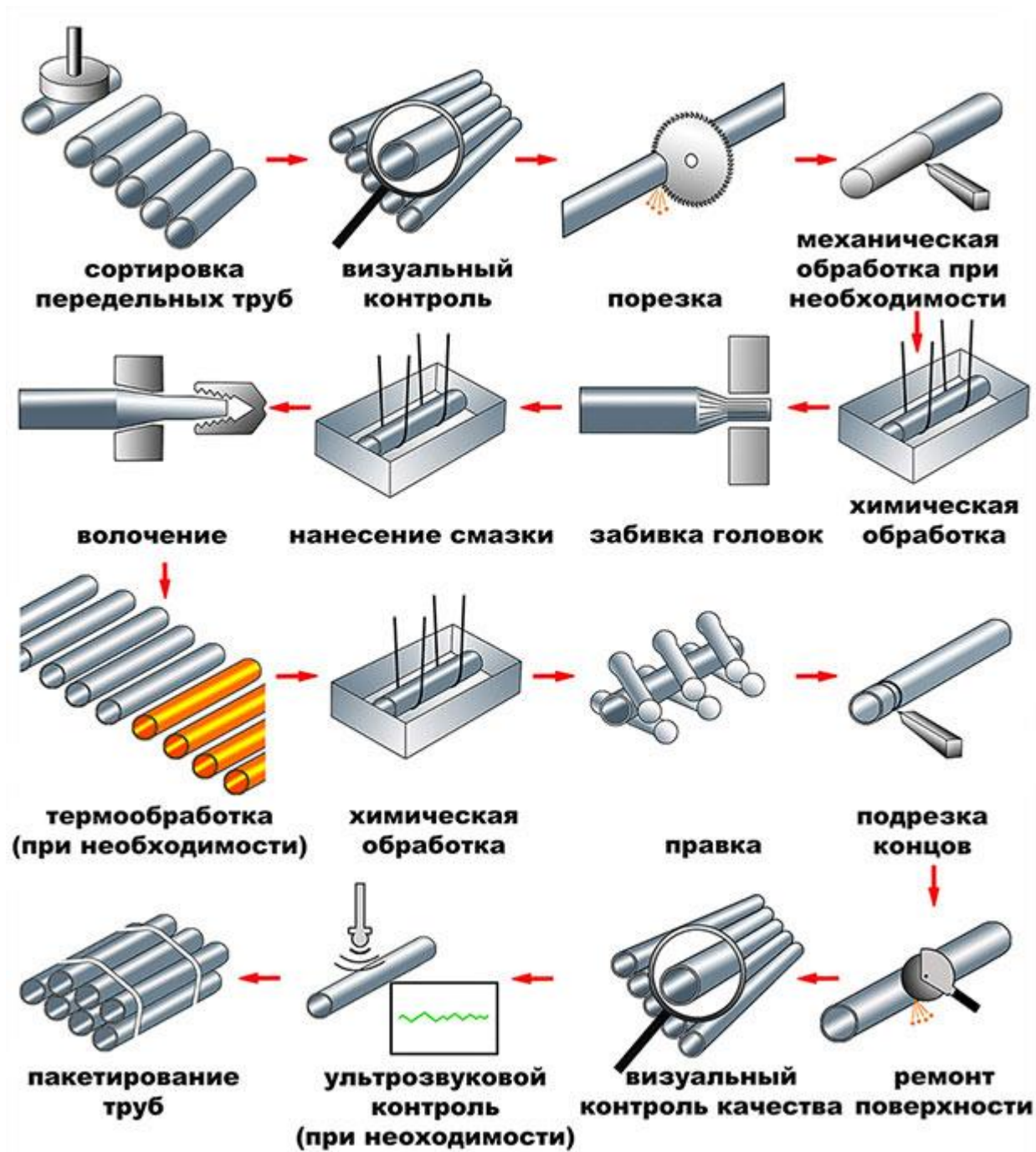


Рисунок 1 – Технологическая схема производства шовных (сварных), бесшовных и специальных труб на проектируемом трубопрокатном заводе

«Таким образом, в результате проведённого анализа технологической схемы проектируемого в работе трубопрокатного завода, установлено, что к основным технологическим подразделениям относятся» [14]:

- цех приёма и подготовки первичного материала;
- цех нагрева и прокатки труб;
- цех термической и механической обработки труб;
- цех тестирования и контроля производства;
- цех отделки и упаковки готовой продукции.

«К основным непроизводственным элементам и структурным подразделениям проектируемого в работе трубопрокатного завода, относятся следующие службы, узлы и коммуникации, обеспечивающие технологический процесс или общий технологический цикл производства:

- технические службы обеспечения основного производства (насосная, котельная, компрессорная, лаборатория контроля качества, транспортный участок, ремонтно-эксплуатационный комплекс, инструментальный участок);
- службы подготовки основного производства (участок приёма первичного сырья, участки первичной обработки, заготовительный участок);
- складские комплексы и помещения различного назначения;
- административные и хозяйственные здания и постройки (заводоуправление, торгово-выставочный комплекс, медицинский пункт, проходная и столовая)» [14].

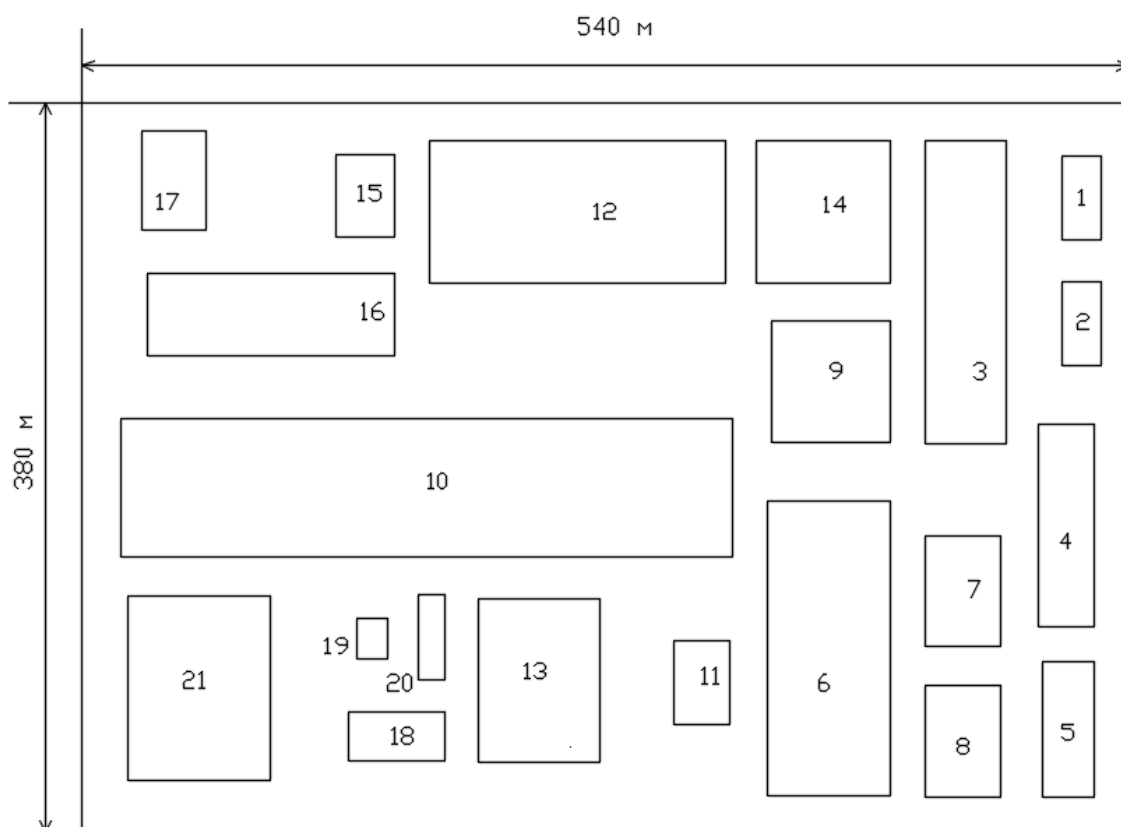
Таким образом, все подразделения выполняют свою важную технологическую роль в системе производства продукции трубопрокатного завода.

«Основные технические характеристики производственных и непроизводственных подразделений проектируемого в работе трубопрокатного завода, перечисленные выше, представлены в работе в форме таблицы 1 [19].

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов проектируемого трубопрокатного завода

Номер объекта на плане	Наименование объекта	P_m , кВт	Категория надёжности потребителей
1	Склад первичного материала	240,0	3
2	Склад готовой продукции	280,0	3
3	Цех термической и механической обработки труб	2932,0	1
4	Цех отделки и упаковки готовой продукции	1500,0	1
5	Цех приёма и подготовки первичного материала	1198,0	1
6	Насосная (0,4 кВ)	1245,0	1
	Насосная (10 кВ)	2780,0	
7	Железнодорожный узел	870,0	2
8	Погрузочно – разгрузочный узел	825,0	2
9	Цех тестирования и контроля производства	1880,0	1
10	Цех нагрева и прокатки труб	8075,0	1
11	Лаборатория контроля качества	1980,0	2
12	Компрессорная (0,4 кВ)	1512,0	1
	Компрессорная (10 кВ)	3920,0	
13	Участок ремонта и обслуживания	2390,0	2
14	Котельная	2155,0	2
15	Автопарк	640,0	3
16	Фильтрационная	685,0	2
17	Инструментальная	170,0	3
18	Административно-техническое здание	235,0	3
19	Медпункт, столовая, проходная	75,0	3
20	Аэрационная	95,0	3
21	Насосный парк	500,0	2
Всего по заводу		36182,0	-

«План расположения объектов трубопрокатного завода представлен на рисунке 2» [4].



«Рисунок 2 – План расположения подразделений на территории проектируемого трубопрокатного завода» [4]

Из данных таблицы 1 можно сделать выводы, что на территории проектируемого трубопрокатного завода планируется ввести в эксплуатацию 21 производственный и непромышленный объект, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу.

Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) проектируемого трубопрокатного завода варьируется в широком диапазоне (от 75 кВт до 8075 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения.

Также установлено, что в системе электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода присутствуют объекты с преобладанием потребителей 1,2 и 3 категории надёжности.

Следовательно, при разработке схемы электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода необходимо учесть совокупность приведённых исходных данных.

1.2 Требования нормативных документов к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий

Требования к системам электроснабжения промышленных предприятий включают в себя ряд аспектов, которые обеспечивают надежное, безопасное и эффективное функционирование электрических систем.

Типичная (классическая) система электроснабжения промышленных предприятий представлена на рисунке 3. Она состоит из источника питания (ИП), пункта приёма электроэнергии (ППЭ) и электроприёмника (ЭП). В такой системе есть три подсистемы: система питания, система распределения и система потребления электроэнергии.

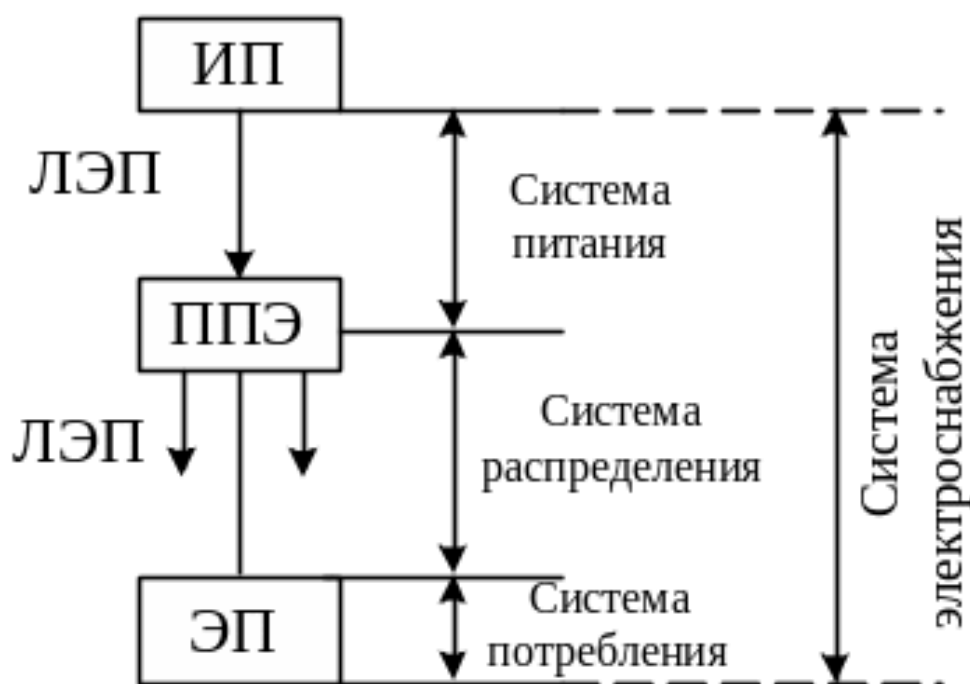


Рисунок 3 – Типичная (классическая) система электроснабжения промышленных предприятий

В результате проведения анализа, далее представлены основные требования, которые должны быть применимы к системам электроснабжения предприятий на стадии проектирования:

- высокая надежность и безотказность передачи электроэнергии: включает в себя обеспечение надёжного и гарантированного

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

- использование энергосберегающего оборудования: применение оборудования с высокой энергоэффективностью для снижения потребления электроэнергии способно значительно снизить энергопотребление и привести к значительной экономии ресурсов на всех уровнях производственного цикла;
- применение автоматического управления и мониторинга параметров электрической сети: применение систем автоматизации для контроля и управления работой системы электроснабжения способен мгновенно локализовать аварии в системе, повысить точность учёта потребления электроэнергии с её мониторингом, а также снизить потери электроэнергии в сетях и оборудовании;
- внедрение параметров оборудования, обладающих гибкостью и масштабируемостью: состоит в проектировании системы электроснабжения таким образом, чтобы она могла быть легко модернизирована или расширена в будущем. Включает применение современных решений по модульным подстанциям, элегазовому оборудованию и комплектным устройствам распределения электроэнергии;
- использование системы защиты персонала и оборудования от повреждений (заземление, экранирование, зануление, защитное отключение): такие системы должны быть организованы согласно нормативам для обеспечения безопасности персонала.

Также при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий требуется учесть особенности производства, проводя проектирование с учетом конкретных потребностей и характеристик предприятия, а также особенностей его технологического процесса. Эти требования могут варьироваться в зависимости от типа промышленности, мощности электроснабжения и других факторов.

Таким образом, система электроснабжения должна соответствовать требованиям [11, 12, 13] и другим принятым стандартам.

Выводы по разделу.

«В работе приведено описание, а также анализ технологического процесса и производственного цикла, основных и вспомогательных цехов и участков проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода» [11].

Указано, что все подразделения предприятия выполняют свою важную технологическую роль в системе производства продукции трубопрокатного завода, исходя из назначения, нагрузки и категории надёжности.

Из анализа исходных технических данных и условий можно сделать выводы, что на территории проектируемого трубопрокатного завода планируется ввести в эксплуатацию 21 производственный и непромышленный объект, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу.

Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) проектируемого трубопрокатного завода варьируется в широком диапазоне (от 75 кВт до 8075 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения.

Также установлено, что в системе электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода присутствуют объекты с преобладанием потребителей 1,2 и 3 категории надёжности.

В результате проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий Российской Федерации, установлено, что разработка проекта системы электроснабжения нового трубопрокатного завода является чрезвычайно важной, ответственной и необходимой задачей, сопряжённой со значительными техническими и финансовыми издержками.

Следовательно, при разработке схемы электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода необходимо учесть совокупность приведённых исходных данных.

2 Проектирование системы электроснабжения завода

2.1 Выбор схемы электроснабжения трубопрокатного завода

Выбор рациональной схемы электроснабжения трубопрокатного завода зависит от многих факторов, таких как мощность потребления электроэнергии, расположение основных потребителей на территории завода, технологические требования, доступность источников электроэнергии и многие другие.

На основании проведённого ранее анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий Российской Федерации, далее в работе проводится выбор схемы электроснабжения трубопрокатного завода. Сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения трубопрокатного завода, сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения трубопрокатного завода

Параметр (критерий)	Наличие параметра (критерия) в схеме ЭС завода	Примечание
Питание системы электроснабжения завода	От энергосистемы (классическая СЭС)	Внешнее питание завода - от районной ПС-110/35/10 кВ
Длина питающей линии	6 км	Есть возможность запитать завод по двум вариантам: по линии 35 кВ и по линии 110 кВ
Количество объектов на территории завода	21 объект	-
Категорийность объектов на территории завода	1,2,3 категория надёжности	Потребителей 1 и 2 категории надёжности – более 60%
Принадлежность завода к категории надёжности (внешнее питание от энергосистемы)	2 категория	Для потребителей 1 категории устанавливаются дополнительные системы АВР внутри схемы ЭС
Наличие резервирования	Да, согласно категорийности	С учётом выбранных схем ЭС
Климатические условия	Умеренный климат	Категория оборудования У (допускается УХЛ)
Суммарная проектная нагрузка	36182 кВт	Активно-индуктивная нагрузка переменного напряжения

На основании приведённых сводных технических условий (таблица 2), проводится выбор схемных решений в системе электроснабжения трубопрокатного завода, основные из которых сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Выбор схемных решений в системе электроснабжения трубопрокатного завода

Параметр (критерий)	Решение	Примечание
Источник питания внешней СЭС завода	Главная понизительная подстанция (ГПП)	35 кВ или 110 кВ (выбирается в работе далее при расчёте нагрузок)
Количество трансформаторов на ГПП	2 единицы	Трансформаторы двухобмоточные масляные систем ТМ, ТДН, ТМН
Схема на стороне ВН ГПП	«Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»	Подходит для питания тупиковой подстанции с потребителями 1 и 2 категории надёжности
Схема на стороне НН ГПП	«Одна секционированная выключателем система сборных шин»	Подходит для питания тупиковой подстанции с потребителями 1 и 2 категории надёжности
Номинальное напряжение НН ГПП	10 кВ	Рекомендовано [11] как оптимальное напряжение в распределительной сети
Распределительная сеть завода	Питание от шин НН ГПП к цеховым трансформаторным подстанциям (ЦТП) напряжением 10/0,4 кВ	Радиальная схема с резервированием
Резервирование в системе электроснабжения завода	В РУ ВН ГПП – ремонтная перемычка, в РУ НН ГПП – секционный выключатель	Условия резервирования достаточны для обеспечения питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности
Режим работы оборудования и линий	Раздельный	Рекомендован для обеспечения питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности [11]
Напряжения, на которых получают питание конечные потребители завода	10 кВ, 0,4 кВ	Для питания потребителей 0,4 кВ применяется сеть ЦТП-10/0,4 кВ, для питания потребителей 10 кВ – радиальные линии от РУ НН ГПП

Таким образом, основные принятые схемные решения в системе электроснабжения трубопрокатного завода представлены на структурной схеме (рисунок 4).

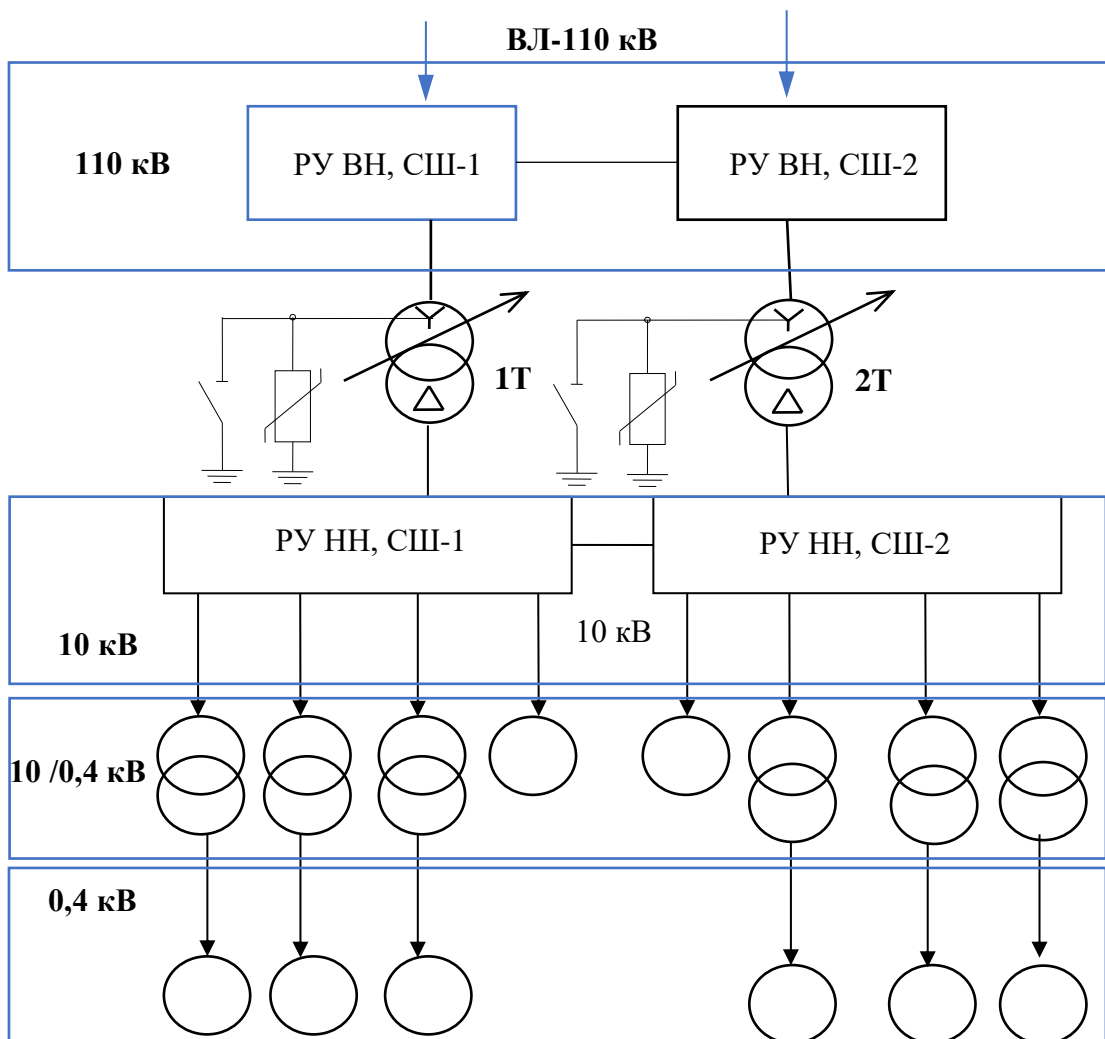


Рисунок 4 – Структурная схема ГПП системы электроснабжения трубопрокатного завода

В результате проведения исследования по данному вопросу, приведены сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения трубопрокатного завода.

На основании приведённых сводных технических условий, проведён выбор схемных решений в системе электроснабжения трубопрокатного завода.

«Все выбранные схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода отвечают требованиям нормативных документов и принимаются к использованию на объекте проектирования. Схема электроснабжения завода представлена в работе на графическом листе 2» [8].

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок электрической части проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Очевидно, что расчёт электрических нагрузок проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода является важной задачей, решение которой позволяет определить, какое количество электроэнергии может быть передано через питающие и распределительные подстанции системы электроснабжения завода без нарушения стабильности работы последней. Основной целью такого расчёта является обеспечение надёжной и безопасной работы не только проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода, но и всей электроэнергетической инфраструктуры в целом [2].

Задачи расчёта проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода включают следующие аспекты [8]:

- сбор исходных данных. На первом этапе необходимо собрать информацию о всех потребителях, получающих питание от проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода, и определить их энергопотребление, включая как текущее потребление, так и прогнозируемый рост нагрузок;
- определение характера нагрузок: на данном этапе проводится систематизация собранного материала. Известно, что электрические нагрузки могут быть различными по характеру: активными (потребление активной мощности), реактивными (потребление реактивной мощности) и комбинированными (смешанными). Известно, что определение характера нагрузок важно для правильного расчёта;
- непосредственное определение максимальной мощности нагрузки проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода: с учётом текущих и будущих нагрузок, а также с учётом моментов

пикового спроса, необходимо расчётным путём определить максимальную активную и реактивную мощность, которая может быть передана через систему электроснабжения трубопрокатного завода;

- проверочный расчёт допустимых перегрузок: известно, что электрическое оборудование и сети проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода могут работать в режиме перегрузки определённое время, но данный процесс должен быть ограничен и контролируем. Проверочный расчёт должен определить, насколько допустимы послеаварийные перегрузки (с учётом резервирования) и как долго они могут продолжаться.

Таким образом, основными задачами расчёта максимальных электрических нагрузок проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода является обеспечение стабильной и надёжной работы всей электроэнергетической системы, минимизация рисков перегрузок и аварий, а также оптимизация использования энергоресурсов с учётом обеспечения надёжного и стабильного резерва.

Расчёт нагрузок на всех уровнях проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода выполняется с учётом коэффициента спроса [8].

Активная нагрузка объектов проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода, кВт:

$$P_P = P_{НОМ} \cdot K_C, \quad (1)$$

где « P_n – значение суммарной номинальной активной нагрузки, кВт;

K_c – значение коэффициента спроса» [8].

Полная нагрузка объектов проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода, кВА:

$$S_P = \frac{P_P}{\cos \varphi}. \quad (2)$$

Реактивная нагрузка объектов проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода:

$$Q_P = \sqrt{S_P^2 - P_P^2}. \quad (3)$$

Суммарные активные и реактивные нагрузки группы объектов проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода:

$$P_{P,\Sigma} = \sum P_P. \quad (4)$$

$$Q_{P,\Sigma} = \sum Q_P. \quad (5)$$

Полная суммарная нагрузка группы объектов проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода:

$$S_{P,\Sigma} = \sqrt{P_{P,\Sigma}^2 + Q_{P,\Sigma}^2}. \quad (6)$$

«Групповой коэффициент мощности» [3]:

$$\cos \varphi = \frac{P_P}{S_P}. \quad (7)$$

«Расчёт силовой нагрузки системы электроснабжения трубопрокатного завода проводится с учётом высоковольтных двигателей компрессорной и насосной. Результаты расчёта электрических нагрузок проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода представлены в таблице 4» [17].

«Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода» [17]

Наименование цеха	Силовая нагрузка			Осветительная нагрузка			Суммарная расчетная нагрузка		
	$P_{силь}$ кВт	$Q_{силь}$ кВар	$P_{силь}$ кВт	$P_{осв}$ кВт	$Q_{осв}$ кВар	$S_{осв}$ кВА	P_c кВт	Q_c кВар	S_c кВА
Склад первичного материала	85	72	120	10,1	5,5	11,2	96,1	72,5	120,4
Склад готовой продукции	101	84	140	10,1	5,5	11,2	112,1	84,5	140,4
Цех термической и механической обработки труб	1026,2	1046,7	1465,9	59,3	28,5	65,8	1085,5	1075,2	1527,9
Цех отделки и упаковки готовой продукции	750	660	999	27,8	13,3	30,8	777,8	673,3	1028,7
Цех приёма и подготовки первичного материала	599	527,1	797,9	18,1	8,7	20,1	617,1	535,8	817,2
Насосная (0,4 кВ)	622,5	547,8	829,2	74,1	35,6	82,2	2086,6	1806,6	2760
Насосная (10 кВ)	1390	1223,2	1851,6						
Железнодорожный узел	435	382,8	579,5	20,4	9,8	22,6	455,4	392,6	555,2
Погрузочно – разгрузочный узел	412,5	363	549,5	21,5	10,3	23,8	434	373,3	572,5
Цех тестирования и контроля производства	940	827,2	1252,1	20,7	9,9	23,0	960,7	837,1	1274,2
Цех нагрева и прокатки груб	4037,5	3553	5378,2	370,5	177,8	411,0	4408	3730,8	5774,9
Лаборатория контроля качества	990	742,5	1237,5	11,1	5,3	12,3	1001,1	747,8	1249,6
Компрессорная (0,4 кВ)	756	665,3	1007	89,8	43,1	99,6	2805,8	2433,2	3713,9
Компрессорная (10 кВ)	1960	1724,8	2610,8						
Участок ремонта и обслуживания	836,5	853,2	1194,9	37,3	17,9	41,4	873,8	871,1	1233,8
Котельная	1293	969,8	1616,3	42	20,2	46,6	1335	990	1662
Автопарк	224	197,1	298,4	3,3	1,6	3,7	227,3	198,7	301,9
Фильтрационная	239,8	211	319,4	10,7	5,1	11,9	250,5	216,1	330,8
Инструментальная	68	51	85	13,3	6,4	14,8	81,3	57,4	99,5
Административно-техническое здание	117,5	88,1	146,9	11,1	5,3	12,3	128,6	93,4	158,9
Медпункт, столовая, проходная	37,5	28,1	46,9	1,6	0,8	1,8	39,1	28,9	48,6
Аэрационная	47,5	22,8	52,7	4,3	2	4,7	51,8	24,8	57,4
Насосный парк	250	187,5	312,5	6,8	3,2	7,5	256,8	190,7	319,9
Всего по заводу							18084,4	15433,8	23775

Полученные результаты используются для выбора технических решений в системе электроснабжения трубопрокатного завода.

2.3 Выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции

Выбор силовых трансформаторов для установки на главной понижающей подстанции (ГПП) трубопрокатного завода представляет собой комплексный инженерный процесс, требующий учета множества технических и функциональных параметров.

Такой подход к решению данной задачи обусловлен необходимостью обеспечения оптимальной эффективности и надежности электроснабжения в системе электроснабжения трубопрокатного завода.

На первом этапе необходимо провести анализ прогнозируемой активной и реактивной электрической нагрузки, учитывая как текущие, так и перспективные потребности трубопрокатного завода. Этот аспект важен в обеспечении сбалансированной работы ГПП и всей системы электроснабжения трубопрокатного завода, так как напрямую определяет номинальную величину питающего напряжения.

«Для определения значения питающего номинального напряжения в системе внешнего напряжения, в схеме электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода, используется известная формула Илларионова [15]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}}, \quad (8)$$

где « L – длина питающей линии, км;

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

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/20 + 2500/36,182}} = 103,1 \text{ кВ.}$$

«Таким образом, исходя из номинальных напряжений, принимается

ближайшее большее стандартное значение номинального напряжения внешней системы электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода, равного значению 110 кВ [3].

На втором этапе необходимо рассчитать входную реактивную мощность, которые трансформаторы ГПП могут передать в энергосистемы без убытка и нерегламентированных потерь мощности:

$$Q_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_{\text{сум.}}, \quad (9)$$

где « α - коэффициент эквивалентности» [13].

$$Q_{\text{э1}(U=110\text{кВ})} = 0,25 \cdot 18380,9 = 4595,2 \text{ кVar}.$$

Третий этап предусматривает непосредственный выбор количества и мощности силовых трансформаторов для установки на ГПП трубопрокатного завода.

Технические аспекты выбора трансформаторов ГПП трубопрокатного завода включают в себя выбор количества и марки трансформаторов, конструктивного выполнения ГПП и другие ключевые параметры, способствующие эффективной и надежной работе подстанции. Условия окружающей среды, такие как климатические факторы, также оказывают влияние на выбор трансформаторов.

«С учётом компенсации реактивной мощности, значение полной расчётной мощности на шинах ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода» [14]:

$$S_{\text{м.зпп}} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\text{э1}}^2} \cdot K_{\text{рм}}, \quad (10)$$

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

$$S_{м.зн} = \sqrt{18380,9^2 + 4595,2^2} \cdot 0,95 \approx 18000 \text{ кВА}.$$

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода» [12]:

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.зн}}{N \cdot K_3}, \quad (11)$$

«где $S_{м.ГПП}$ – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения трубопрокатного завода (с учётом КРМ)» [12].

$$S_{ном.т(U=110 \text{ кВ})} \geq \frac{18000}{2 \cdot 0,8} = 11250 \text{ кВА}.$$

Таким образом, исходя из полученных результатов выбора силовых трансформаторов для установки на ГПП-110/10 кВ, принимается ближайшее большее номинальное значение из стандартного ряда мощностей, равное 16000 кВА и тип трансформаторов – ТДН-16000/110.

На четвёртом этапе осуществляется комплекс проверок с целью принятия окончательного решения по выбору силовых трансформаторов ГПП трубопрокатного завода.

Основные типы проверок включают проверку на соответствие номинальной мощности расчётным параметрам, а также проверки на загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку трансформатора в послеаварийном режиме.

Проверка на соответствие номинальной мощности трансформатора расчётным параметрам [16]:

$$S_{ном.т} \geq S_{ном.т.р}, \text{ МВА}. \quad (12)$$

$$S_{ном.т} = 16000 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = 11250 \text{ кВА}.$$

Таким образом, номинальная мощность выбранного трансформатора ГПП трубопрокатного завода превышает расчётную мощность, следовательно, условия проверки выполняются.

Далее проводится проверочный расчёт силовых трансформаторов ГПП трубопрокатного завода на нормативную загрузку в нормальном режиме работы и допустимую перегрузку (аварийную перегрузку) в послеаварийном режиме работы.

«При этом коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме не должен превышать значения 0,7» [15]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (13)$$

«Коэффициент загрузки трансформатора ГПП трубопрокатного завода в послеаварийном режиме не должен превышать значения 1,4» [15]:

$$K_{з.н} = \frac{S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (14)$$

Значит, нормативная загрузка силовых трансформаторов, установленных на ГПП трубопрокатного завода, в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot 18000}{16000} = 0,56 \leq 0,7.$$

Таким образом, перегрузка силовых трансформаторов, установленных на ГПП трубопрокатного завода, в послеаварийном режиме работы, не

превышает предельно допустимых нормативных данных, следовательно, марка и тип трансформаторов выбраны правильно:

$$K_{з.п} = \frac{18000}{16000} = 1,125 \leq 1,4.$$

В результате проведения проверки силовых трансформаторов на ГПП трубопрокатного завода было установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТДН-16000/110, которые были предварительно выбраны по результатам расчёта фактических нагрузок трубопрокатного завода, подходят для установки на данном объекте.

Таким образом, на ГПП трубопрокатного завода окончательно принимаются к установке два силовые трансформатора марки ТДН-16000/110. Конструкция данного силового трансформатора представлена в графической части работы.

2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

Известно, что цеховые трансформаторные подстанции выполняют важную роль в приёме и распределении электроэнергии между конечными потребителями и ГПП.

Исходя из того, что в системе электроснабжения трубопрокатного завода имеется 21 объект, а также присутствуют потребители всех категорий надёжности (1,2 и 3), предлагается все цеховые ТП сделать двухтрансформаторными ставя их в местах и на объектах 1 и 2 категории надёжности с наибольшей нагрузкой.

От шин 0,4 кВ ЦТП предлагается запитать остальные объекты, относящиеся к 3 категории надёжности, одной линией электропередачи, что не противоречит требованиям [14].

Значит, с учётом распределения электроэнергии, в проектируемой системе электроснабжения трубопрокатного завода предлагается установить девять двухтрансформаторных цеховых подстанций (ЦТП) классом напряжения 10/0,4 кВ.

Таким образом, схема электроснабжения трубопрокатного завода будет надёжной и экономичной.

Далее проводится выбор и проверка мощности силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ трубопрокатного завода. На всех ЦТП планируется установка двух силовых трансформаторов масляного типа марки ТМ.

«Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ трубопрокатного завода» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_T}, \quad (15)$$

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

$\sum P_p$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт;

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

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 трубопрокатного завода» [8]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1788,7}{2 \cdot 0,7} = 1277,6 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 трубопрокатного завода, предварительно приняты два силовых трансформатора марки ТМ-1250/10» [12].

Данный трансформатор ЦТП необходимо проверить далее на допустимую нагрузку и аварийную перегрузку, аналогично выбранным ранее трансформаторам ГПП, по условиям (9) и (10).

При этом, так как ЦТП-1 питает потребители и объекты 1 и 2 категорий надёжности, нормативные рекомендуемые коэффициенты максимальной загрузки силовых трансформаторов на данной подстанции принят согласно рекомендациям [9]:

- максимальный нормативный коэффициент загрузки в нормальном режиме $K_3 = 0,8$;
- максимальный нормативный коэффициент перегрузки в послеаварийном режиме $K_3 = 1,6$.

Значит, нормативная загрузка силовых трансформаторов, установленных на ЦТП-1 трубопрокатного завода, в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным:

$$K_{3.n} = \frac{0,5 \cdot 1788,7}{1250} = 0,715 \leq 0,8.$$

Таким образом, перегрузка силовых трансформаторов, установленных на ЦТП-1 трубопрокатного завода, в послеаварийном режиме работы, не превышает предельно допустимых нормативных данных, следовательно, марка и тип трансформаторов выбраны правильно:

$$K_{3.n} = \frac{1788,7}{1250} = 1,43 \leq 1,6.$$

В результате проведения проверки силовых трансформаторов на ЦТП-1 трубопрокатного завода было установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМ-1250/10, которые были предварительно выбраны по результатам расчёта

фактических нагрузок объектов трубопрокатного завода, подходят для установки на данном объекте.

«Выбор остальных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ проведён аналогично и результаты приведены в таблице 5» [16].

«Таблица 5 – Выбор числа и мощности трансформаторов на цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС трубопрокатного завода» [19]

Номер ЦТП	n×Sном, кВА	Наименование объекта	S _{pΣ} , кВА	Категория надёжности
ЦТП № 1	2ТМ×1250	Склад первичного материала	1788,7	III
		Склад готовой продукции		III
		Цех термической и механической обработки труб		I
ЦТП № 2	2ТМ×630	Цех отделки и упаковки готовой продукции	1028,7	I
ЦТП № 3	2ТМ×1250	Цех приёма и подготовки первичного материала	1944,9	I
		Железнодорожный узел		II
		Погрузочно – разгрузочный узел		II
ЦТП № 4	2ТМ×1000	Котельная	1662	I
ЦТП № 5	2ТМ×1000	Цех тестирования и контроля производства	1274,2	I
ЦТП № 6	2ТМ×1600	Насосная (0,4 кВ)	2760	I
ЦТП № 7	2ТМ×2500	Компрессорная (0,4 кВ)	4446,1	I
		Автопарк		III
		Фильтрационная		III
		Инструментальная		III
ЦТП № 8	2ТМ×3200	Цех нагрева и прокатки труб	5774,9	I
ЦТП № 9	2ТМ×1600	Лаборатория контроля качества	2868,2	II
		Участок ремонта и обслуживания		II
		Административно-техническое здание		III
		Медпункт, столовая, проходная		III
		Аэрационная		III
		Насосный парк		II

«При выборе силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ, следует также провести проверку целесообразности компенсации реактивной составляющей мощности в электрической сети, которую питают трансформаторы ЦТП.

Проверка начинается с определения целесообразной реактивной мощности через ЦТП и проводится по следующему условию» [19]:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(N_{\text{опт}} \beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{см}}^2}. \quad (16)$$

«На всех ЦТП-10/0,4 кВ трубопрокатного завода устанавливаются компенсирующие батареи 0,4 кВ, их реактивная мощность» [19]:

$$Q_{\text{НБК}} = Q_p - Q_{\max,m}. \quad (17)$$

Для ЦТП-1:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1250)^2 - 1317,9^2} = 1504,4 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{НБК}} = 1232,2 - 1504,4 = -172,2 \text{ квар.}$$

«Величина реактивной мощности батарей конденсаторов для установки на цеховой ЦТП-1 меньше нуля, значит, на шинах 0,4 кВ ЦТП-1 компенсирующие устройства не устанавливаются. На других ЦТП трубопрокатного завода расчёты выполнены аналогично (таблица 6)» [19].

«Таблица 6 – Выбор компенсации реактивной мощности ЦТП-10/0,4 кВ» [19]

ТП	$P_{\text{р.ц}}$, кВт	$S_{\text{ном.тп}}$, кВА	$Q_{\text{т}}$, кВАр	$Q_{\text{р.т}}$, кВАр	$Q_{\text{н.к}}$, кВАр	Марка конденсаторной установки	Количество × мощность КУ, шт × кВАр
ЦТП № 1	1317,9	2×1250	1504,4	1232,2	-172,2	Не устанавливается	-
ЦТП № 2	794,4	2×630	620,5	673,3	52,8	УКРП-0,4-25-20УЗ	2×25,0
ЦТП № 3	1533,7	2×1250	1283,7	1301,7	18	Не устанавливается	-
ЦТП № 4	1359,7	2×1000	986,5	990,0	3,5	Не устанавливается	-
ЦТП № 5	977,6	2×1000	1266,7	837,1	-429,6	Не устанавливается	-
ЦТП № 6	2123,6	2×1600	1429,7	1806,6	376,9	УКРП-0,4-150-20УЗ	2×150,0
ЦТП № 7	3414,2	2×2500	2084	2905,4	821,4	УКРП-0,4-400-20УЗ	2×400,0
ЦТП № 8	4469,5	2×3200	2497,6	3730,8	1233,2	УКРП-0,4-600-20УЗ	2×600,0
ЦТП № 9	2390,3	2×1600	916,6	1956,7	1040,1	УКРП-0,4-500-20УЗ	2×500,0
Всего по ЦТП-10/0,4 кВ					3545,9	10 КУ	2450,0

Все ЦТП-10/0,4 кВ выполнены в виде комплектных подстанций, устройство и компоновка которых показана в графической части работы.

2.5 Выбор и проверка проводников

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку проводников в системе электроснабжения трубопрокатного завода.

Известно, что выбор и проверка проводников в системе электроснабжения трубопрокатного завода являются важным шагом для обеспечения безопасной и эффективной работы как самого завода, так и всей электроэнергетической системы в целом. Основной задачей выбора и проверки проводников в системе электроснабжения трубопрокатного завода является эффективная и надёжная передача электроэнергии с минимальными значениями её потерь.

При выборе и проверке проводников в системе электроснабжения трубопрокатного завода необходимо провести выбор и обоснование следующих технических решений:

- выбор типа проводников в зависимости от электрической схемы системы электроснабжения трубопрокатного завода, величины максимальной нагрузки, условий монтажа и эксплуатации и других факторов. Варианты выбора могут включать алюминиевые или медные проводники, а также различные типы проводников (воздушные, кабельные линии, шинные конструкции);
- выбор сечения проводников в системе электроснабжения трубопрокатного завода, которое рассчитывается и проверяется по условиям максимальной нагрузки с учётом резервирования питания (для потребителей 1 и 2 категорий надёжности);
- проверочный тепловой расчет проводников для подтверждения их работоспособности в системе электроснабжения трубопрокатного завода во всех режимах без перегрева. Это также особенно важно для предотвращения возможных пожаров, которые могут возникнуть из-за повреждения изоляции (особенно, в кабельных линиях и прочих изолированных проводниках);

- проверка по механической прочности: особенно важна для проводов воздушных линий электропередачи, так как они подвергаются воздействию ветра, дождя, снега и других климатических факторов;
- прочие специфические проверки (проверка на динамическую устойчивость шин к токам короткого замыкания, проверка минимального сечения кабельных линий и другие аналогичные проверки).

Таким образом, выбор и проверка проводников в системе электроснабжения трубопрокатного завода является важным заданием, которое требует комплексного подхода.

В работе для установки в системе электроснабжения трубопрокатного завода, проводится непосредственный выбор и проверка следующих проводников:

- питающей сети 110 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от энергосистемы (воздушная линия электропередачи 110 кВ);
- распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ и далее, конечных потребителей цехов, в системе электроснабжения трубопрокатного завода (кабельные линии электропередачи 10 кВ).

«Выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ в системе электроснабжения трубопрокатного завода, осуществляется по условию экономической плотности тока» [11]:

$$S_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (18)$$

где « j_3 – экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

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

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}, \quad (19)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВ [19].

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

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (20)$$

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий в системе электроснабжения трубопрокатного завода в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (21)$$

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

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий системы электроснабжения трубопрокатного завода в послеаварийном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (22)$$

«где $I_{p.max}$ – максимальный ток послеаварийного режима работы линии с учётом условий резервирования в схеме, А» [14].

Проверка проводников по условиям механической прочности:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (23)$$

Принимаются к установке на питающей линии 110 кВ (ВЛ-110 кВ), необходимой для питания главной понизительной подстанции 110/10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода от энергосистемы, проводники воздушной линии электропередачи марки АС (неизолированный алюминиевый провод со стальной жилой).

Данный тип проводников является классическим вариантом проводов, применяемых на воздушных линиях электропередачи.

«Ток нормального режима питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода» [20]:

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

«Ток послеаварийного режима питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ» [20]:

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

«Расчётное сечение питающей ВЛ-110 кВ» [20]:

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

«Принимается для питающих ВЛ-110 кВ провод марки АС-70/11 с сечением токоведущей жилы 95 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265$ А» [5].

«Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по току нормального режима» [5]:

$$265 \text{ A} \geq 84 \text{ A.}$$

«Условия проверки выполняются.

Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по максимальному рабочему току» [5]:

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

«Проверка предварительно выбранного провода марки АС-70/11 для воздушной линии 110 кВ по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется» [18]:

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

«Окончательно для применения на питающей ВЛ-110 кВ, в работе выбран современный провод марки АС-70/11 с сечением токоведущей жилы – 70 мм² и допустимой токовой нагрузкой $I_{дон} = 265 \text{ A}$ » [5].

Согласно требованиям [11], в распределительной сети системы электроснабжения трубопрокатного завода необходимо провести проверку на допустимое падение напряжения на концах сети 10 кВ. Для питающей сети 110 кВ такая проверка не проводится [16].

Проверка кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода по условиям допустимого падения напряжения:

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{n} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{n}}{U^2} \leq 5\%, \quad (24)$$

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

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

Результаты выбора кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода представлены в работе в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты выбора кабелей распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода

№ ТП (линии)	n , шт.	I_p, A	$I_{p.max.}, A$	$F_{э}, мм^2$	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$\Delta U, \%$
Питающие линии к ЦТП-10/0,4 кВ							
ГПП-ЦТП-1	2	52,1	104,2	37,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,4
ГПП-ЦТП-2	2	30,1	60,2	21,5	АСБ-10 (3×25)	90	1,8
ГПП-ЦТП-3	2	58,1	116,2	41,5	АСБ-10 (3×50)	140	1,1
ГПП-ЦТП-4	2	48,6	97,2	34,7	АСБ-10 (3×35)	115	1,9
ГПП-ЦТП-5	2	37,2	74,4	26,6	АСБ-10 (3×35)	115	2,2
ГПП-ЦТП-6	2	80,5	161,0	57,5	АСБ-10 (3×70)	165	1,8
ГПП-ЦТП-7	2	129,4	258,8	92,4	АСБ-10 (3×95)	205	3,4
ГПП-ЦТП-8	2	168,0	336,0	120,0	АСБ-10 (3×120)	240	1,0
ГПП-ЦТП-9	2	89,2	178,4	63,7	АСБ-10 (3×70)	165	1,8
Питающие линии к АД-10 кВ							
ГПП-Насосная	2	53,5	107,0	38,2	АСБ-10 (3×50)	140	2,1
ГПП-Компрессорная	2	75,4	150,8	53,9	АСБ-10 (3×70)	165	1,9

«Все выбранные проводники 110 кВ и 10 кВ для применения в системе электроснабжения трубопрокатного завода, удовлетворяют условиям выбора и проверок» [18].

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Известно, что расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения трубопрокатного завода является важной частью проектирования электроэнергетических систем.

Главной целью этого расчёта является обеспечение безопасной и надёжной работы электрооборудования и электрических сетей, минимизация повреждений в случае короткого замыкания, а также определение параметров релейной защиты и автоматики срабатывания защитных устройств.

Основные задачи расчёта токов короткого замыкания включают [17]:

- определение максимальных токов короткого замыкания (далее – КЗ): известно, что расчёт токов короткого замыкания позволяет определить максимальные значения токов, которые могут протекать в системе в случае короткого замыкания (как правило, в максимальном режиме работы системы). Это помогает выбрать и проверить соответствующее электрооборудование, а также электрические сети и уставки максимальной защиты;
- выбор и настройка устройств защиты: расчёт токов КЗ помогает определить параметры и настройки защитных реле, которые воздействуют на привод выключателей, отключающие, в свою очередь, повреждённый участок сети при коротком замыкании и предотвратить, таким образом, распространение и развитие повреждений;
- согласование защиты: результаты расчёта токов короткого замыкания также позволяет произвести координацию (согласование) между различными уровнями защиты в электроэнергетической системе. Это означает, что защитные устройства должны срабатывать в определенной последовательности, чтобы быстро изолировать только тот участок системы, где произошло короткое замыкание, минимизируя негативное влияние на другие участки (селективность релейной защиты);
- оценка механической устойчивости: величина тока короткого замыкания влияет на механическую устойчивость оборудования подстанции и энергосистемы в целом. Расчёт механической устойчивости к токам КЗ позволяет гарантировать безопасность, надёжность и долговечность оборудования;
- оценка термической устойчивости: токи КЗ оказывают существенное влияние на температурные характеристики оборудования и сетей

подстанции, приводя к выходу из строя изоляции и токоведущих частей вследствие резкого увеличения температуры в системе.

- определение влияния на соседние элементы энергосистемы: токи короткого замыкания на подстанции могут влиять на соседние элементы энергосистемы, вызывая падение напряжения, увеличение токов и появление высших гармоник. Расчёт данного влияния позволяет оценить, какие дополнительные меры могут потребоваться для обеспечения нормальной работы энергосистемы.

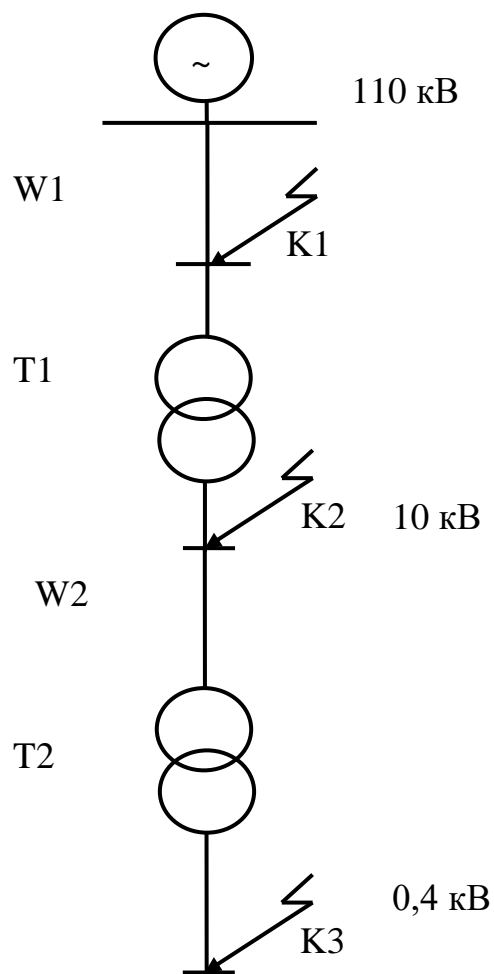
Расчёт токов короткого замыкания включает в себя анализ электрических параметров системы (напряжение, сопротивления, мощности, а в энергосистеме, состоящих из разветвлённых линий высокого напряжения – индуктивности и емкости), выбор типа КЗ (асимметричные или симметричные виды КЗ), выбор методов расчёта (расчётный аналитический, графический, метод упорядоченных диаграмм и другие), а также использование математических моделей для описания поведения системы электроснабжения трубопрокатного завода и энергосистемы в случае короткого замыкания и определение результатов, которые затем используются при выборе и проверке основного оборудования и настройке параметров релейной защиты и автоматики.

Расчёт токов КЗ в системе электроснабжения трубопрокатного завода в работе проводится при использовании расчётного метода, в относительных единицах при приведении к базисным условиям.

При этом в энергосистеме предполагается наличие максимального режима работы при возникновении трёхфазного тока КЗ (симметричный вариант). В таком режиме токи КЗ максимальны.

На первом этапе необходимо составить расчётную схему и схему замещения электрической сети трубопрокатного завода [20].

Исходя из этого, в исходной схеме представлены все три класса напряжения, которые применяются в системе электроснабжения трубопрокатного завода: 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ (рисунок 5).



«Рисунок 5 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения трубопрокатного завода» [13]

Далее в работе составляется исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения трубопрокатного завода (рисунок б)» [13].

В схему замещения вносятся активные и индуктивные сопротивления основных элементов расчётной схемы системы электроснабжения трубопрокатного завода.

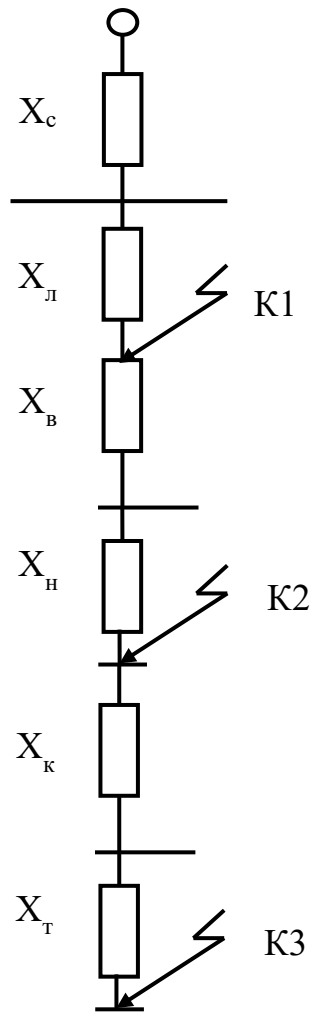


Рисунок 6 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения трубопрокатного завода

Расчёты проводятся до каждой из точек КЗ поочерёдно.

«В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 110 кВ.

Вторая ступень 10 кВ и третья ступень 0,4 кВ, будут неосновными ступенями напряжения» [13].

«Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора системы электроснабжения трубопрокатного завода, оставшегося в работе в послеаварийном режиме» [12]:

$$S_{\sigma} = 16000 \text{ кВА} = 16 \text{ МВА}.$$

«Базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 10 кВ) системы электроснабжения трубопрокатного завода, принимаются равными напряжениям на шинах ГПП в максимальном режиме работы.

Они определены ниже с учётом данного факта.

Базисное напряжение для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень)» [13]:

$$U_{\delta 1} = 115 \text{ кВ.}$$

«Базисное напряжение для ступени напряжения 10 кВ (первая неосновная ступень)» [13]:

$$U_{\delta 2} = 10,5 \text{ кВ.}$$

«Базисное напряжение для ступени напряжения 0,38/0,22 кВ (вторая неосновная ступень)» [13]:

$$U_{\delta 3} = 0,4 \text{ кВ.}$$

«Базисный ток на ступенях системы электроснабжения трубопрокатного завода» [13]:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3}U_{\delta}}. \quad (25)$$

«Базисный ток для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень)» [13]:

$$I_{\delta 1} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,08 \text{ кА.}$$

«Базисный ток для ступени напряжения 10 кВ (первая неосновная ступень)» [13]:

$$I_{\delta 2} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,88 \text{ кА.}$$

«Базисный ток для ступени напряжения 0,38 кВ (вторая неосновная ступень)» [13]:

$$I_{\delta 3} = \frac{16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 23,1 \text{ кА.}$$

«Сопротивление энергетической системы» [13]:

$$x_{c*} = \frac{S_{\delta}''}{S_{\kappa}}, \text{ o.e.}, \quad (26)$$

«где S_{κ}'' - полная мощность трёхфазного КЗ энергосистемы» [2].

$$x_{c*} = \frac{16}{500} = 0,032 \text{ o.e.}$$

«Сопротивление питающей ВЛ-110 кВ» [10]:

$$x_{l*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \text{ o.e.}, \quad (27)$$

«где x_0 - удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км;

L - суммарная длина ВЛ, км» [15].

$$x_{l*} = 0,4 \cdot 20 \cdot \frac{10}{115^2} = 0,006 \text{ o.e.}$$

«Аналогично для питающей КЛ-10 кВ (к ЦТП-1)» [13]:

$$x_{*} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{10}{10^2} = 0,04 \text{ о.е.}$$

«Для обмотки ВН (110 кВ) трансформатора ГПП» [13]:

$$X_{\sigma} = \frac{0,125 \cdot U_{\text{квн}\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}}, \quad (28)$$

$$X_{\sigma} = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 16}{100 \cdot 16} = 0,01 \text{ о.е.}$$

«Для обмотки НН (10 кВ) трансформатора ГПП» [13]:

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot U_{\text{квн}\%} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}}, \quad (29)$$

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 16}{100 \cdot 16} = 0,18 \text{ о.е.}$$

«Для трансформатора ЦТП-10/0,4 кВ» [13]:

$$X_m = \frac{1,75 \cdot 7,5 \cdot 10}{100 \cdot 2,5} = 0,525 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах» [12]:

$$I'' = \frac{E''}{x_{\text{рез}}^*} \cdot I_{\sigma}. \quad (30)$$

«Результирующее сопротивление к точке К1 в относительных расчётных единицах» [13]:

$$x_{рез} = x_c + x_l, o.e., \quad (31)$$

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 = 0,038 o.e.$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах» [12]:

$$I''_{к1} = \frac{1}{0,038} \cdot 0,16 = 4,21 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах» [18]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_b + x_n, o.e., \quad (32)$$

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 + 0,01 + 0,18 \approx 0,228 o.e.$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах» [18]:

$$I''_{к2} = \frac{1}{0,228} \cdot 0,88 = 3,86 \text{ кА.}$$

«Результирующее сопротивление к точке К3 в относительных расчётных единицах» [18]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_g + x_H + x_K + x_m, \text{ о.е.}, \quad (33)$$

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 + 0,01 + 0,18 + 0,04 + 0,525 \approx 0,993 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К3» [18]:

$$I''_{к3} = \frac{1}{0,993} \cdot 23,1 = 23,24 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётных точках схемы» [12]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_K, \text{ кА}, \quad (34)$$

«Где $k_{уд}$ – ударный коэффициент, о.е.» [12].

«Для расчётных точек схемы К1 и К2, значение ударных токов» [13]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 4,21 = 10,72 \text{ кА},$$

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 3,86 = 7,64 \text{ кА},$$

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 23,24 = 36,15 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока К3» [13]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_K, \text{ кА}. \quad (35)$$

Значение двухфазного тока К3 в расчётных точках схемы» [13]:

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,21 = 3,65 \text{ кА.}$$

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,86 = 3,34 \text{ кА.}$$

$$I_{no(min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 23,24 = 20,13 \text{ кА.}$$

«Полученные результаты расчёта токов КЗ на шинах 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы системы электроснабжения трубопрокатного завода, представлены в таблице 8» [13].

«Таблица 8 – Результаты расчёта токов короткого замыкания» [13]

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1 (сеть 110 кВ)	Точка К2 (сеть 10 кВ)	Точка К3 (сеть 0,4 кВ)
$I_K^{(3)}$, кА	4,21	3,86	23,24
$I_K^{(2)}$, кА	3,65	3,34	20,13
$i_{\nu\phi}$, кА	10,72	7,64	36,15

«Полученные в работе результаты расчёта токов КЗ используются для соответствующих проверок современного оборудования на ГПП и ЦТП системы электроснабжения трубопрокатного завода» [13].

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения трубопрокатного завода – это важнейший этап проектирования, который направлен на обеспечение надежной и безопасной работы не только самой системы электроснабжения данного предприятия, но и всей энергосистемы в целом.

В работе выбор и проверка электрических аппаратов проводится в распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ и ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Известно, что наиболее важным высоковольтным электрическим аппаратом на подстанциях переменного напряжения энергосистем являются высоковольтные выключатели. Поэтому в первую очередь проводится выбор и проверки.

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

- по номинальному напряжению» [18]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (36)$$

где « $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [18];

- «по максимальному рабочему току» [16]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (37)$$

где « $I_{раб.макс}$, I_n – соответственно, максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя)» [16];

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

$$I_{п\tau} \leq I_{откн}. \quad (38)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (39)$$

где « $i_{a\tau}$ – значение апериодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов;

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

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

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (40)$$

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

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

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

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (41)$$

где « $i_{нр.с}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ;

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

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

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (42)$$

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

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

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

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

$$B_K = I_K^2 (t_{отк} + T_a). \quad (43)$$

Результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода, представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели 110 кВ марки ВРС-110-31,5	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 117,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 4,21 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,72 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 52 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,21^2 \cdot 3 = 53,17 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx 2977 \text{ кА}^2\text{с.}$
Выключатели 10 кВ марки ВВЭ-М-10-20	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 117,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 3,86 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,72 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,86^2 \cdot 3 = 44,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Таким образом, по результатам выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода, выбраны и проверены:

- выключатели 110 кВ марки ВРС-110-31,5;
- выключатели 10 кВ марки ВВЭ-М-10-20.

Разъединители служат для видимого разрыва электрической цепи при ремонтно-эксплуатационных работах.

Они устанавливаются в схеме объекта проектирования только в РУ-110 кВ. Результаты выбора разъединителей в электрической сети 110 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора и проверки высоковольтных разъединителей в электрической сети 110 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 117,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 4,21 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,72 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 63 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,21^2 \cdot 3 = 53,17 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx 2977 \text{ кА}^2\text{с.}$

Важным является выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения для установки в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы тока 110 кВ марки ТОГФ-110	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 117,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,72 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 80 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,21^2 \cdot 3 = 53,17 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 80^2 \cdot 3 \approx 19200 \text{ кА}^2\text{с.}$
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТПЛ-Э-12	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 117,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,72 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 12 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,86^2 \cdot 3 = 44,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 12^2 \cdot 3 = 432 \text{ кА}^2\text{с.}$

Результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы напряжения 110 кВ марки НКФ-110	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 117,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,72 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 31,5 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 4,21^2 \cdot 3 = 53,17 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 31,5^2 \cdot 3 \approx 2977 \text{ кА}^2\text{с.}$
Трансформаторы напряжения 10 кВ марки НТМИ-10-У3	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 117,6 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 10,72 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 12 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,86^2 \cdot 3 = 44,7 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 12^2 \cdot 3 = 432 \text{ кА}^2\text{с.}$

«Всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте проектирования» [6].

Выводы по разделу.

В работе практически осуществлено техническое обоснование технических решений по проектированию системы электроснабжения трубопрокатного завода.

В результате проведения исследования по принятию схемных решений, приведены сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения трубопрокатного завода. На основании приведённых сводных технических условий, проведён выбор схемных решений в системе электроснабжения трубопрокатного завода.

На стороне ВН ГПП принята схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

На стороне ВН ГПП принята схема «Одна секционированная выключателем система сборных шин».

Установлено, что данные схемы подходят для питания завода с потребителями 1 и 2 категории надёжности.

Для питания потребителей 0,4 кВ применяется сеть ЦТП-10/0,4 кВ, для питания потребителей 10 кВ – радиальные линии от РУ НН ГПП.

Осуществлён выбор двух силовых трансформаторов марки ТДН-16000/110 для установки на главной понижающей подстанции 110/10 кВ трубопрокатного завода. Данные трансформаторы проверены на соответствие номинальной мощности расчётным параметрам, а также на загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку трансформатора в послеаварийном режиме.

С учётом принятой схемы распределения электроэнергии, в проектируемой системе электроснабжения трубопрокатного завода предлагается установить девять двухтрансформаторных цеховых трансформаторных подстанций классом напряжения 10/0,4 кВ.

Таким образом, схема электроснабжения трубопрокатного завода будет надёжной и экономичной.

Проведён выбор и проверка мощности силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ трубопрокатного завода. На всех ЦТП-10/0,4 кВ обусловлена установка двух силовых трансформаторов масляного типа марки ТМ различных типономиналов.

В работе для установки в системе электроснабжения трубопрокатного завода, проведены непосредственный выбор и проверка следующих проводников:

- питающей сети 110 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от энергосистемы (воздушная линия электропередачи 110 кВ, выполненная с применением провода марки АС-70/11);

- распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ и далее, конечных потребителей цехов, в системе электроснабжения трубопрокатного завода (кабельные линии электропередачи 10 кВ с применением кабелей марки АСБ-10 различных сечений).

Проведён выбор и проверки высоковольтных электрических аппаратов для установки в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода:

- выключатели 110 кВ марки ВРС-110-31,5;
- выключатели 10 кВ марки ВВЭ-М-10-20;
- разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000;
- трансформаторы тока 110 кВ марки ТОГФ-110;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТПЛ-Э-12;
- трансформаторы напряжения 110 кВ марки НКФ-110;
- трансформаторы напряжения 10 кВ марки НТМИ-10-УЗ.

Таким образом, по результатам расчётов можно сделать вывод, что предложенные мероприятия по внедрению технических решений в схему электрических соединений трубопрокатного завода, обусловленными вводом в эксплуатацию данного предприятия, являются технически обоснованными и могут быть рекомендованы на объекте исследования.

3 Расчёт уставок и выбор схемы релейной защиты и автоматики завода

3.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики завода

При выборе основных типов релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения трубопрокатного завода, предлагается применить новые типы защит трансформаторов, а также вводных, линейных и секционных присоединений, и выбрать современные микропроцессорные блоки РЗА для выполнения данной функции.

Как известно, устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) устанавливаются на выключателях системы электроснабжения трубопрокатного завода. Поэтому в работе устройства РЗА должны быть установлены на ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

На ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода защите подлежат силовые трансформаторы данной подстанции, а также отходящие, питающие и секционные присоединения сетей напряжением 110 кВ и 10 кВ.

Согласно [1], для защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита (ДЗ) – является высокочувствительной РЗА трансформатора от всех видов короткого замыкания и прочих повреждений, рекомендуется применение продольной ДЗ на микропроцессорной основе;
- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой силового трансформатора от внутренних и внешних коротких замыканий, рекомендуется установка двух комплектов МТЗ (на стороне ВН и на стороне НН трансформатора);
- защита от перегрузки (ЗП) – защищает силовой трансформатор от токов перегрузки, работает на сигнал;

- газовая защита – единственный вид РЗиА, реагирующий на внутренние короткие замыкания и явление «пожара стали» в трансформаторе;
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает силовой трансформатор от коротких замыканий на землю.

Согласно [1], на главных понизительных подстанциях на вводных, линейных и секционных присоединениях систем электроснабжения предприятий, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

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

Помимо релейной защиты, в схеме ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода необходимо предусмотреть также устройства автоматики и сигнализацию.

Из устройств автоматики для питающих воздушных линий 110 кВ предусматривается автоматическое повторное включение (далее – АПВ), а для секционных присоединений – устройство автоматического включения резерва (далее – АВР).

Все принятые в работе дополнительные виды РЗиА при их внедрении способны значительно повысить надёжность релейной защиты, её быстродействие, селективность (избирательность), что в конечном итоге позволит значительно снизить риск аварий в схеме главных электрических соединений всей ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода, предлагается принять микропроцессорный блок релейной защиты марки МІСОМ Р-632 [1].

Для защиты линий трубопрокатного завода применяется микропроцессорный блок дифференциально-фазной защиты линии марки МiСОМ Р-547 [1].

Такие блоки РЗиА марки имеют ряд существенных преимуществ:

- высокая надежность: блоки релейной защиты марки МІСОМ разрабатываются с учетом высокой степени надежности для обеспечения защиты силовых трансформаторов и линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстрое действие: блоки РЗиА марки МІСОМ способны быстро обнаруживать и реагировать на повреждения в электрических цепях силовых трансформаторов и линий, что позволяет предотвратить их повреждения оборудования и обеспечить безопасность работы всей энергосистемы;
- доступная ценовая категория, значительно меньшая стоимость, чем аналогичных продуктов других компаний;
- простота и удобство монтажа, ремонта и эксплуатации, доступный интерфейс, что упрощает их установку и обслуживание, а также настройку параметров и уставок срабатывания.

Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗиА марки МІСОМ Р-632 представлены на рисунке 7.



Рисунок 7 – Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗа для защиты силовых трансформаторов подстанции марки MICOM P-632

Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗа марки MICOM P-547 представлены на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид, функционал и конструктивное выполнение микропроцессорных блоков РЗа для защиты линий подстанции марки MICOM P-547

Таким образом, выбор микропроцессорных блоков РЗа марки MICOM, для непосредственного применения на ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода в результате проведения выбора её релейной защиты и автоматики, обоснован.

3.2 Расчёт релейной защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения трубопрокатного завода

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов, установленных на ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

Рабочие токи и токи максимального режима силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода рассчитаны в работе ранее.

«В качестве защиты трансформаторов подстанции 110/10 кВ от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью» [13].

«Ток срабатывания этой защиты определяется путём отстройки от тока небаланса» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (44)$$

где $I_{раб.макс.НН}$, $I_{раб.макс.ВН}$ – «соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН и ВН силового трансформатора с учётом коэффициента запаса» [13];

K_n – коэффициент надёжности» [13].

«Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию» [13]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.мин}}{I_{с.з}} \geq 1,5. \quad (45)$$

«Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформатора подстанции 110/10 кВ» [13]:

$$I_{с.з} \geq 1,5 \cdot (1294,8 - 117,6) = 1765,8 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов подстанции 110/10 кВ удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_{\psi} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4210}{1765,8} = 2,38 > 1,5.$$

«Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (46)$$

где K_n – «коэффициент надёжности» [13].

«Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформатора подстанции 110/10кВ» [13]:

$$I_{с.з} \geq 1,05 \cdot 117,6 \approx 123,5 \text{ A.}$$

«Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условию» [13]:

$$I_{с.з} \geq K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс}}, \quad (47)$$

где $K_{\text{отс}}$ – «коэффициент отстройки» [13];

$K_{\text{сзн}}$ – «коэффициент самозапуска» [13].

«Коэффициент чувствительности МТЗ определяется по формуле» [14]:

$$K_q = \frac{K_{cx}^{(k)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{k.мин}^{(k)}}{I_{c.з}} \geq 1,2, \quad (48)$$

«где $I_{k.мин}^{(k)}$ - минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии» [14];

« $K_{cx}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле» [14];

« $K_{cx}^{(k)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ» [14];

« $I_{c.з}$ - ток срабатывания защиты» [14].

«Для комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне ВН (110 кВ) значение тока срабатывания защиты» [13]:

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 117,6 \approx 207 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформаторов подстанции на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{4210}{207} \approx 20,3 > 1,2.$$

«Аналогично проводится расчёт уставки тока срабатывания комплекта МТЗ силового трансформатора на стороне НН (10 кВ)» [13]:

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 1294,8 \approx 2278,8 \text{ A.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне НН удовлетворяет требованиям» [13]:

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{3860}{2278,8} = 1,69 > 1,2.$$

«В качестве газовой защиты силовых трансформаторов, установленных на подстанции 110/10кВ, в работе используются усовершенствованные газовые реле типа РГТ-80 (производитель – ООО «ЕССО-Технолоджи», г. Чебоксары), которые зарекомендовали себя с положительной стороны и характеризуются высокой надёжностью и быстродействием» [14].

Такие газовые реле имеют современный функционал с несколькими поплавками, которые резервируют друг друга и повышают надёжность защиты. Чувствительная мембрана обеспечивает практически безотказную работу газового реле.

«Принимается в работе для ЗОЗ трансформаторов подстанции $I_{c.з} = 5 \text{ А}$, $t_{c.з} = 0 \text{ с}$ (без выдержки времени)» [13].

В работе для защиты силовых трансформаторов принимаются все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение».

Защита от перегрузки выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы.

Результаты выбора уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты выбора типа защит и уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода

Тип РЗиА	$I_{c.з.}, \text{ А}$	$t_{c.з.}, \text{ с}$	Работа защиты
ДЗ	1765,8	-	отключение
ЗП	123,5	5,0	сигнал
МТЗ (ВН)	207,0	1,0	отключение
МТЗ (НН)	2278,8	1,5	отключение
ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГЗ	-	-	отключение

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

«Уставки РЗиА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода показаны на графическом листе б» [13].

3.2 Расчёт релейной защиты линейных присоединений системы электроснабжения трубопрокатного завода

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты линейных присоединений (вводных, секционных и линейных), установленных на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Рабочие токи и токи максимального режима линейных присоединений проектируемой системы электроснабжения ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода рассчитаны в работе ранее.

«Ток срабатывания ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.з} \geq K_o \cdot I_{\text{раб.макс.}} \quad (49)$$

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

«Коэффициент чувствительности ДЗЛ» [13]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{c.з}} \geq 1,5. \quad (50)$$

«Для питающей воздушной линии 110 кВ к трансформатору ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода, токовая уставка ДЗЛ» [13]:

$$I_{c.з} \geq 1,3 \cdot 117,6 = 152,9 \text{ A.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4210}{152,9} = 27,5 \geq 1,5.$$

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

$$I_{c.3} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс} \quad (51)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [13]:

$$K_{\chi} = \frac{K_{сх}^{(\kappa)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\kappa.мин}^{(\kappa)}}{I_{c.3}} \geq 1,2, \quad (52)$$

«Для питающей линии 110 кВ к трансформатору ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода, уставка МТЗ» [13]:

$$I_{c.3} \geq 1,05 \cdot 1,1 \cdot 117,6 = 135,8 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ питающей линии 110 кВ ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода» [13]:

$$K_{\chi} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4210}{135,8} = 31 \geq 1,2.$$

«Принимается в работе для ЗОЗ всех линий подстанции $I_{c.3} = 5 \text{ А}$, $t_{c.3} = 0$ с (без выдержки времени)» [10].

«Для устройств автоматики принимаются следующие уставки времени срабатывания согласно рекомендациям:

- для АПВ на питающей линии 110 кВ – $t_{c.3} = 1$ с;
- для АВР на секционном соединении – $t_{c.3} = 2$ с» [10].

На кабельных линиях электропередачи распределительной сети 10 кВ устройства АПВ не устанавливаются.

Аналогично рассчитаны уставки РЗиА остальных линейных присоединений ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений

Наименование линии	Тип РЗиА	$I_{с.з.}, A$	$t_{с.з.}, c$	Работа РЗиА
Питающая ВЛ-110 кВ	ДЗ	152,9	-	отключение
	МТЗ	135,8	0,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АПВ	-	1,0	включение
Ввод 10 кВ	ДЗ	1683,2	-	отключение
	МТЗ	1482,3	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
Секционное присоединение 10 кВ	ДЗ	2719,1	-	отключение
	МТЗ	2075,3	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АВР	-	2,0	включение
ГПП-ЦТП-1	ДЗ	135,5	-	отключение
	МТЗ	125,0	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-2	ДЗ	78,3	-	отключение
	МТЗ	72,2	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-3	ДЗ	151,1	-	отключение
	МТЗ	139,4	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-4	ДЗ	126,4	-	отключение
	МТЗ	116,6	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-5	ДЗ	96,7	-	отключение
	МТЗ	89,3	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-6	ДЗ	209,3	-	отключение
	МТЗ	193,2	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-7	ДЗ	336,4	-	отключение
	МТЗ	310,6	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-8	ДЗ	436,8	-	отключение
	МТЗ	403,2	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-9	ДЗ	231,9	-	отключение
	МТЗ	214,1	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-Насосная	ДЗ	139,1	-	отключение
	МТЗ	128,4	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-Компрессорная	ДЗ	196,0	-	отключение
	МТЗ	181,0	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение

Все выбранные уставки РЗиА показаны на графическом листе 6.

Выводы по разделу.

В работе проведён выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений (вводных, секционных и отходящих) ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов подстанции, предложено применить микропроцессорный блок релейной защиты марки МІСОМ Р-632 [1].

Для защиты линий применяется микропроцессорный блок дифференциально-фазной защиты линии марки МiСОМ Р-547 [1].

В работе для защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ и линейных присоединений принимаются все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение».

Защита от перегрузки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы.

Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода, а также все линейные присоединения системы электроснабжения объекта проектирования, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

Заключение

В результате выполнения работы, проведена разработка проекта системы электроснабжения нового трубопрокатного завода.

В работе приведено описание, а также анализ технологического процесса и производственного цикла, основных и вспомогательных цехов и участков проектируемой системы электроснабжения трубопрокатного завода.

Указано, что все подразделения предприятия выполняют свою важную технологическую роль в системе производства продукции трубопрокатного завода, исходя из назначения, нагрузки и категории надёжности.

Из анализа исходных технических данных и условий можно сделать выводы, что на территории проектируемого трубопрокатного завода планируется ввести в эксплуатацию 21 производственный и непромышленный объект, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу.

Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) проектируемого трубопрокатного завода варьируется в широком диапазоне (от 75 кВт до 8075 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения.

Также установлено, что в системе электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода присутствуют объекты с преобладанием потребителей 1,2 и 3 категории надёжности.

В результате проведённого анализа литературы по вопросу норм и требований, которые предъявляются к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий Российской Федерации, установлено, что разработка проекта системы электроснабжения нового трубопрокатного завода является чрезвычайно важной, ответственной и необходимой задачей, сопряжённой со значительными техническими и финансовыми издержками.

Следовательно, при разработке схемы электроснабжения проектируемого трубопрокатного завода необходимо учесть совокупность приведённых исходных данных.

В работе практически осуществлено техническое обоснование технических решений по проектированию системы электроснабжения трубопрокатного завода.

В результате проведения исследования по принятию схемных решений, приведены сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения трубопрокатного завода. На основании приведённых сводных технических условий, проведён выбор схемных решений в системе электроснабжения трубопрокатного завода.

На стороне ВН ГПП принята схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

На стороне ВН ГПП принята схема «Одна секционированная выключателем система сборных шин».

Установлено, что данные схемы подходят для питания завода с потребителями 1 и 2 категории надёжности.

Для питания потребителей 0,4 кВ применяется сеть ЦТП-10/0,4 кВ, для питания потребителей 10 кВ – радиальные линии от РУ НН ГПП.

Осуществлён выбор двух силовых трансформаторов марки ТДН-16000/110 для установки на главной понижающей подстанции 110/10 кВ трубопрокатного завода. Данные трансформаторы проверены на соответствие номинальной мощности расчётным параметрам, а также на загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку трансформатора в послеаварийном режиме.

С учётом принятой схемы распределения электроэнергии, в проектируемой системе электроснабжения трубопрокатного завода предлагается установить девять двухтрансформаторных цеховых трансформаторных подстанций классом напряжения 10/0,4 кВ.

Таким образом, схема электроснабжения трубопрокатного завода будет надёжной и экономичной.

Проведён выбор и проверка мощности силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ трубопрокатного завода. На всех ЦТП-10/0,4 кВ обусловлена установка двух силовых трансформаторов масляного типа марки ТМ различных типонаименований.

В работе для установки в системе электроснабжения трубопрокатного завода, проведены непосредственный выбор и проверка следующих проводников:

- питающей сети 110 кВ для питания двух силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от энергосистемы (воздушная линия электропередачи 110 кВ, выполненная с применением провода марки АС-70/11);
- распределительной сети 10 кВ для обеспечения питания ЦТП-10/0,4 кВ от шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ и далее, конечных потребителей цехов, в системе электроснабжения трубопрокатного завода (кабельные линии электропередачи 10 кВ с применением кабелей марки АСБ-10 различных сечений).

Проведён выбор и проверки высоковольтных электрических аппаратов для установки в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения трубопрокатного завода:

- выключатели 110 кВ марки ВРС-110-31,5;
- выключатели 10 кВ марки ВВЭ-М-10-20;
- разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000;
- трансформаторы тока 110 кВ марки ТОГФ-110;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТПЛ-Э-12;
- трансформаторы напряжения 110 кВ марки НКФ-110;
- трансформаторы напряжения 10 кВ марки НТМИ-10-УЗ.

Таким образом, по результатам расчётов можно сделать вывод, что предложенные мероприятия по внедрению технических решений в схему электрических соединений трубопрокатного завода, обусловленными вводом

в эксплуатацию данного предприятия, являются технически обоснованными и могут быть рекомендованы на объекте исследования.

В работе проведён выбор устройств и расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений (вводных, секционных и отходящих) ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов подстанции, предложено применить микропроцессорный блок релейной защиты марки МІСОМ Р-632 [1].

Для защиты линий применяется микропроцессорный блок дифференциально-фазной защиты линии марки МiСОМ Р-547 [1].

В работе для защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ и линейных присоединений принимаются все защиты мгновенного действия (ДЗ, МТЗ, ЗОЗ), работающие на «отключение».

Защита от перегрузки силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ выполняется с действием на сигнал, информируя оператора (диспетчера) о явлении перегрузки в цепи трансформатора и необходимости разгрузки системы.

Осуществлён расчёт уставок релейной защиты силовых трансформаторов и линейных присоединений ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода.

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ трубопрокатного завода, а также все линейные присоединения системы электроснабжения объекта проектирования, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

Все выбранные и проверенные в работе аппараты, оборудование и сети соответствуют требуемым техническим нормативам и могут быть окончательно рекомендованы для установки в соответствующих распределительных устройствах СЭС трубопрокатного завода.

Таким образом, все принятые технические решения в работе подтверждены соответствующими расчётами.

Список используемых источников

1. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.gostrf.com/normadata/1/4294845/4294845729.pdf> (дата обращения: 21.11.2023).
2. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 21.11.2023).
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: 21.11.2023).
4. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: КноРус, 2019. 236 с.
5. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
6. Немировский А.Е., Сергиевская И.Ю., Крепышева Л.Ю. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
7. Никитенко Г.В., Коноплев Е.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 21.11.2023).
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок

потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.

12. Процесс производства труб - бесшовные и сварные трубы [Электронный ресурс]: URL: https://emk24.ru/wiki/truby_kruglye/protsess-proizvodstva-trub-besshovnye-i-svarnye-truby_8122343/ (дата обращения: 21.11.2023).

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

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

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

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

17. Трубопрокатный завод – производство бесшовных труб [Электронный ресурс]: URL: <https://victorborisov.livejournal.com/203791.html> (дата обращения: 21.11.2023).

18. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/ (дата обращения: 21.11.2023).

19. Фризен В.Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург:

Издательство УГУ, 2018. 184 с.

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