

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электроснабжение завода сельхозтехники

Обучающийся

Н. А. Миц

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. А. Г. Сорокин

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

Тольятти 2023

## Аннотация

«В работе осуществлено проектирование системы электроснабжения нового» [3] завода сельхозтехники.

Проведён анализ исходных данных, включающий анализ сведений по технологии производства на заводе сельхозтехники, а также перечень основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для «проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий» [7]. На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий завода сельхозтехники, разработан комплекс мероприятий по проектированию системы электроснабжения объекта.

Осуществлены выбор и проверка основных технических решений в электрической части завода сельхозтехники, включая выбор основного электрооборудования (силовых трансформаторов главной понизительной и цеховых подстанций, электрических аппаратов), а также сечения электрических сетей всех классов напряжения, системы учёта и контроля электроэнергии и релейной защиты объекта проектирования.

Расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word» и содержит 77 печатных страниц. Она состоит из введения, четырёх 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 сельхозтехники, схема электроснабжения завода сельхозтехники, план-разрез ГПП завода сельхозтехники, план-разрез цеховых ТП завода сельхозтехники, схема системы учёта и контроля электроэнергии завода сельхозтехники и схема релейной защиты ГПП завода.

## Содержание

Введение .....	4
1 Характеристика исходных данных завода сельхозтехники .....	7
1.1 Краткая характеристика технологического процесса, технических условий и объектов завода сельхозтехники.....	7
1.2 Анализ требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий .....	13
2 Проектирование системы электроснабжения завода сельхозтехники .....	18
2.1 Выбор схемы электроснабжения завода сельхозтехники .....	18
2.2 Расчёт электрических нагрузок .....	22
2.3 Выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции.....	27
2.4 Выбор и проверка трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	30
2.5 Выбор и проверка проводников завода сельхозтехники.....	34
2.6 Расчёт токов короткого замыкания .....	40
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов .....	48
3 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии завода .....	56
4 Расчёт релейной защиты и автоматики завода сельхозтехники .....	60
4.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики завода .....	60
4.2 Расчёт релейной защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения завода сельхозтехники.....	63
4.3 Расчёт релейной защиты линейных присоединений системы электроснабжения завода сельхозтехники.....	67
Заключение .....	71
Список используемых источников.....	75

## Введение

Техническое развитие промышленных предприятий в Российской Федерации является важным аспектом 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. При этом ориентация промышленности была направлена, в основном, на ведущие страны «западного мира» (США, ЕС, Япония, Южная Корея).

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» [2] – это сложный и ответственный процесс, направленный на создание эффективной и надёжной 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 отечественных промышленных предприятий. Таким образом, процесс проектирование системы электроснабжения типичного отечественного 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 завода сельхозтехники. 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 заводе сельхозтехники, а также перечень основных сведений и положений нормативных документов, необходимых для «проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий» [2]. На основании анализа последних, с учётом исходных технических и технологических условий завода сельхозтехники, необходимо разработать комплекс мероприятий по проектированию системы электроснабжения объекта.

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

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 завода сельхозтехники;
- предметом исследования» [8] в работе являются, с одной стороны, электрическое оборудование, аппараты, сети, схема объекта проектирования, а с другой – показатели, характеризующие параметры надёжности, безопасности, экономичности и прочих аналогичных нормативных параметров проектируемой системы электроснабжения завода сельхозтехники.

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

Представленная расчётно-пояснительная записка выполнена в приложении «Microsoft Word». Она состоит из введения, четырёх 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 сельхозтехники, схема электроснабжения завода сельхозтехники, план-разрез ГПП завода сельхозтехники, план-разрез цеховых ТП завода сельхозтехники, схема системы учёта и контроля электроэнергии завода сельхозтехники и схема релейной защиты ГПП завода.

# **1 Характеристика исходных данных завода сельхозтехники**

## **1.1 Краткая характеристика технологического процесса, технических условий и объектов завода сельхозтехники**

В работе объектом проектирования является новый завод сельхозтехники.

На первом этапе проектирования необходимо привести краткую характеристику технологического процесса, технических условий и объектов завода сельхозтехники.

Технологический процесс на заводе сельхозтехники представляет собой строгую последовательность операций и этапов производства, направленных на получение готовой продукции – сельскохозяйственной техники, оборудования, а также запасных частей и комплектующих к ним.

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 заводе сельхозтехники [14]:

- подготовка сырья: начальный этап, на котором металлическое сырье (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 изделия, на этом этапе могут проводиться дополнительные операции,

такие, как подгонка формы, сверление отверстий, обточка краев и другие виды обработки;

- термическая обработка: некоторые изделия требуют термической обработки для получения нужных механических свойств. Это может включать в себя отжиг (процесс устранения внутренних напряжений), закалку или отпуск;
- сборка узлов и механизмов: на данном этапе все подготовленные изделия собираются в узлы, а те, в свою очередь – в механизмы;
- тестирование и контроль качества: важная часть процесса – это проверка качества готовой продукции с помощью различных методов, таких как ультразвуковой контроль, испытания на механическую и термическую прочность и другие;
- отделка и упаковка: готовые изделия должны проходить этап обработки поверхности (например, покрытие антикоррозионными материалами, окраску и маркировку) и последующую упаковку для защиты от повреждений при транспортировке и длительном хранении.

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

- спецификация материалов: определение требований к химическому составу, механическим свойствам и другим характеристикам материалов, используемых при производстве продукции [14];
- технические стандарты: определение стандартов и требований к размерам, геометрии, толщине стенок и другим параметрам материалов [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 заводе сельхозтехники играют важную роль в обеспечении качества и надежности производимой продукции. С учётом реалий современного рынка сбыта, предлагается также учесть в технологическом процессе производства продукции, запасные части и комплектующие для вторичной сельскохозяйственной техники, бывшей в употреблении. Таким образом, данный сегмент будет приносить дополнительную прибыль. Технологическая схема организации производства и рынка сбыта на проектируемом заводе сельхозтехники представлена на рисунке 1 [19].



Рисунок 1 – Технологическая схема организации производства

«Технологическая схема производственного процесса производства готовой продукции на проектируемом заводе сельхозтехники представлена на рисунке» [7] 2.

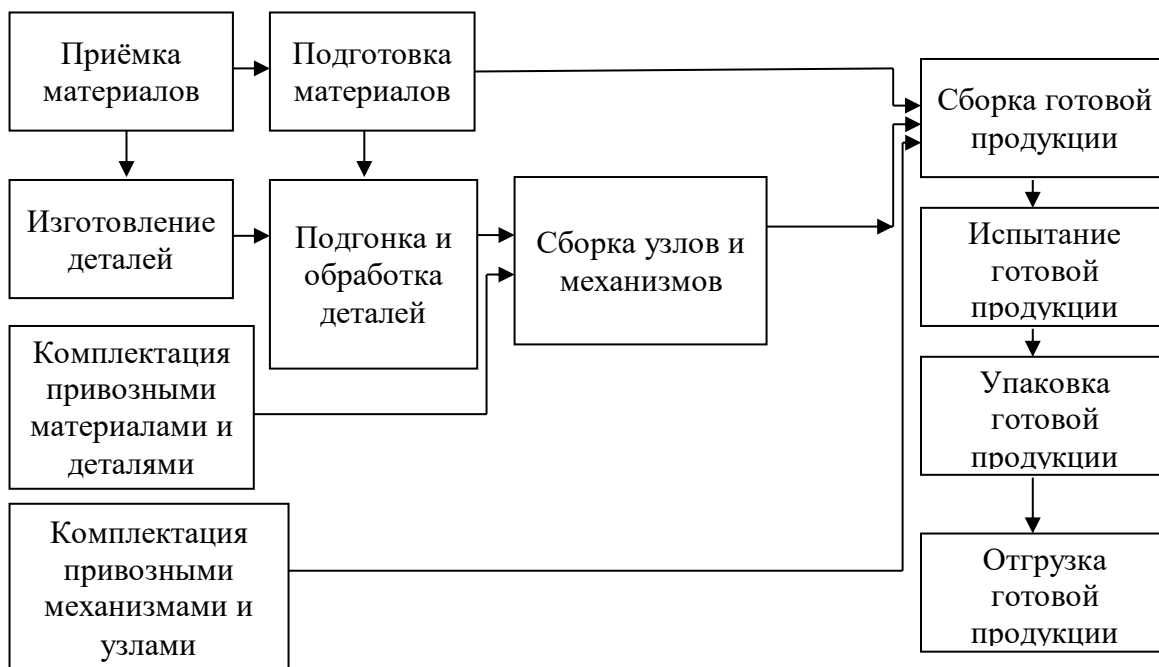


Рисунок 2 – Технологическая схема производственного процесса

«Следовательно, исходя из схемы производственного процесса производства готовой продукции на проектируемом заводе сельхозтехники, представленного на рисунке» [11] 2, можно сделать вывод, что на объекте проектирования существуют три основных производственных блока, а именно:

- блок подготовки основного производства – включает приёмку и хранение материалов для собственного производства, а также приёмку и хранение материалов, механизмов, деталей и узлов, произведённых на предприятиях-партнёрах, с последующей их обработкой и «доводкой» до нужного состояния с целью использования в основном технологическом процессе;
- производственный блок – необходим для непосредственного производства готовой продукции, включает в себя этапы сборки и комплектации узлов и механизмов сельскохозяйственной техники.

Этапов сборки может быть несколько, в зависимости от типа и вида производимой продукции;

- блок контроля, упаковки и отгрузки готовой продукции – предусматривает процессы контроля (проверки и испытаний), а также упаковки, маркировки, хранения и отгрузки (сбыта) готовой продукции.

«Также на объекте проектирования также есть необходимые неосновные цеха и участки, выполняющие производственную вспомогательную функцию (основную и неосновную). К ним относятся складские помещения, ремонтные службы и службы эксплуатации оборудования, подразделения обеспечения основного технологического процесса производства (таблица 1)» [16].

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов проектируемого завода сельхозтехники

Номер объекта на плане	Наименование объекта	$P_m$ , кВт	Категория надёжности потребителей
1	Административное здание	140	3
2	Блок подготовки основного производства	480	1
3	Блок контроля, упаковки и отгрузки готовой продукции	260	1
4	Бойлерная	180	2
5	Насосная (10 кВ)	1850	2
	Насосная (0,38/0,22 кВ)	150	
6	Котельная	270	2
7	Ремонтно-механический участок	290	3
8	Компрессорная (10 кВ)	1350	2
	Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	210	
9	Торгово-выставочный комплекс	34	3
10	Склад комплектующих	17	3
11	Электроцех и служба главного энергетика	50	3
12	Производственный блок	1920	1
13	Гараж и служба главного механика	50	3
14	Склад готовой продукции	620	3
15	Склад привозных материалов, узлов и комплектующих	110	3
Всего по заводу		7981	1,2,3

«План расположения объектов завода сельхозтехники представлен на рисунке 3» [4].

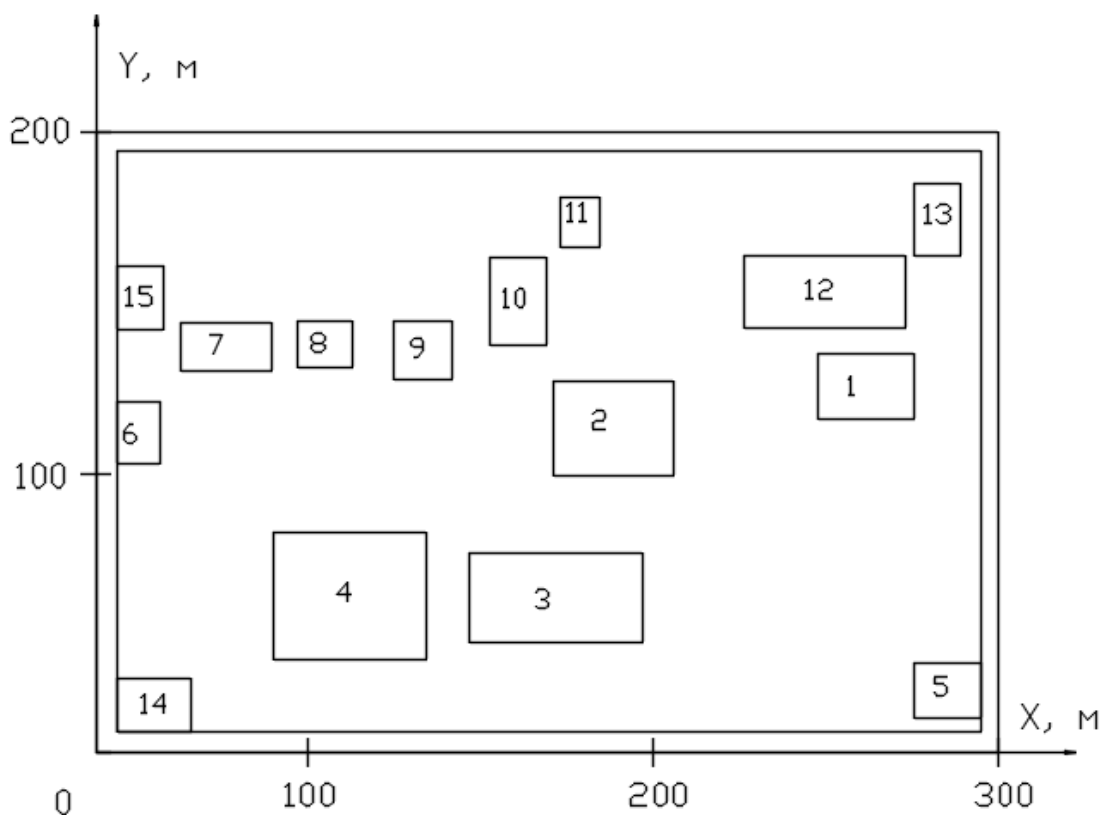


Рисунок 3 – План расположения подразделений

Из данных таблицы 1 можно сделать выводы, что на территории проектируемого завода сельхозтехники планируется ввести в эксплуатацию 15 производственных и непроизводственных объектов, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу. Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) проектируемого завода сельхозтехники варьируется в широком диапазоне (от 17 кВт до 1920 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения. Также установлено, что в системе электроснабжения проектируемого завода сельхозтехники присутствуют объекты с преобладанием потребителей 1,2 и 3 категории надёжности. Следовательно, при разработке схемы электроснабжения завода сельхозтехники необходимо учесть совокупность приведённых факторов.

## 1.2 Анализ требования к проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий

Далее в работе, для решения поставленных задач, проводится анализ требования к «проектированию систем электроснабжения промышленных предприятий» [17].

Требования к «системам электроснабжения промышленных предприятий» [5] включают в себя ряд аспектов, которые обеспечивают надежное, безопасное и эффективное функционирование электрических систем.

Типичная (классическая) система электроснабжения промышленных предприятий представлена на рисунке 4. Такая система состоит из источника питания (ИП), пункта приёма электроэнергии (ППЭ) и электроприёмника (ЭП). В данной системе есть три подсистемы: система питания, система распределения и система потребления электроэнергии.

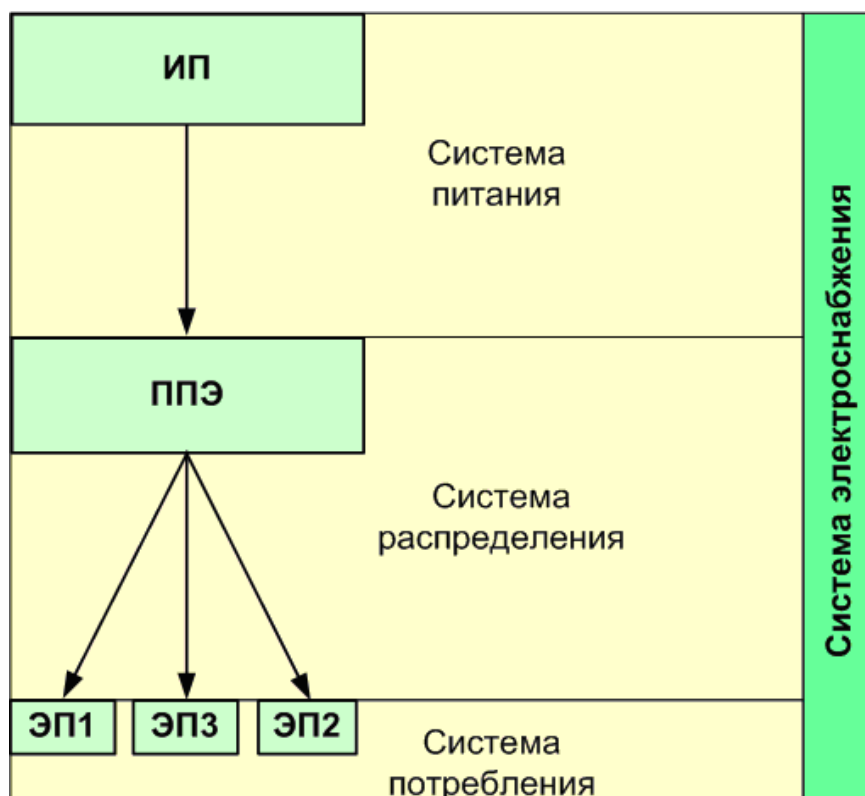


Рисунок 4 – Типичная (классическая) система электроснабжения промышленных предприятий

«Принципы распределения электроэнергии в системах электроснабжения промышленных предприятий классического типа представлены на рисунке 5» [18].

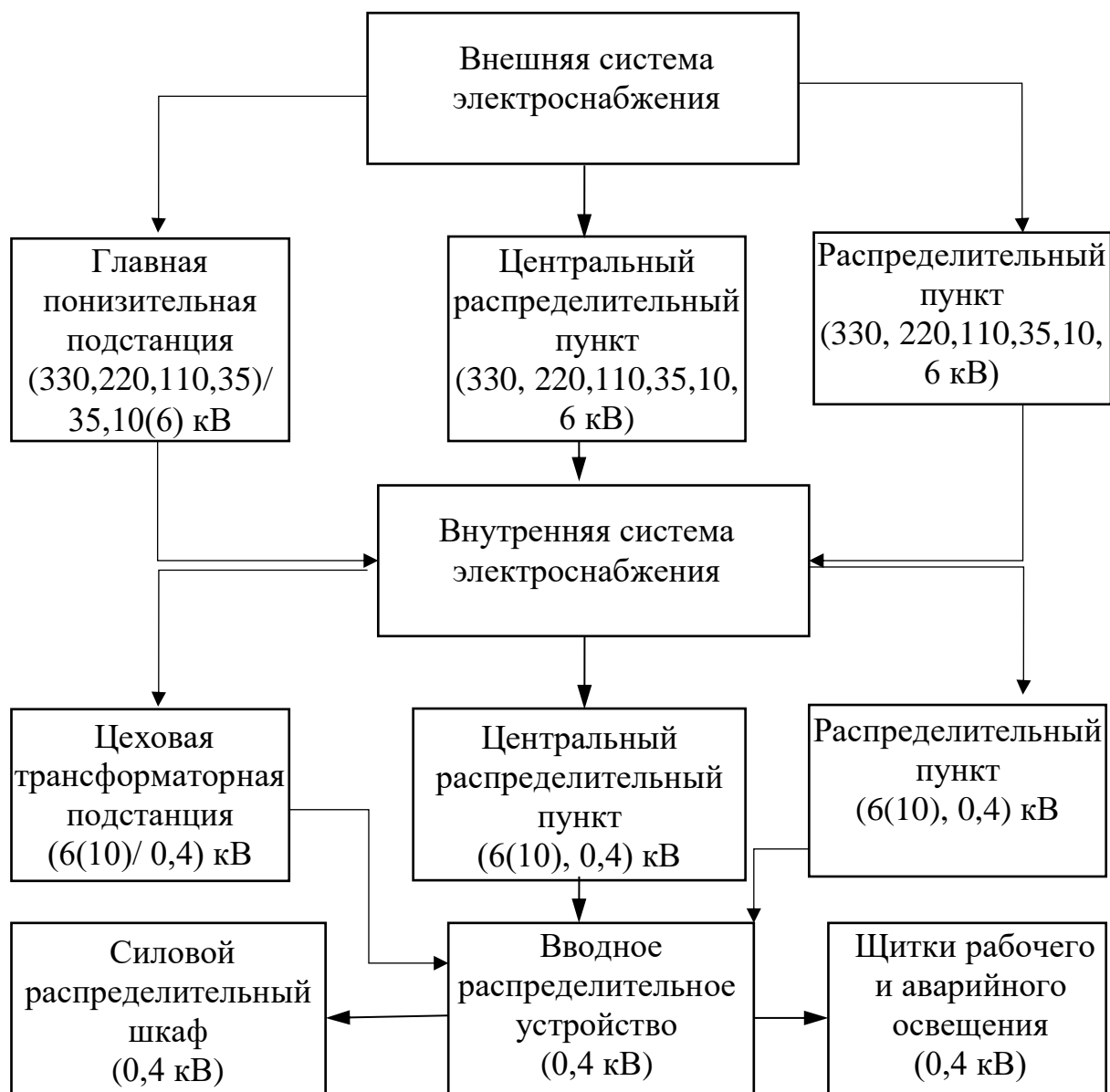


Рисунок 5 – Основные принципы распределения электроэнергии

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: необходимо проводить проектирование 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 может 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: данный аспект состоит в проектировании системы электроснабжения таким образом, чтобы она могла быть легко модернизирована или расширена в будущем. Включает применение современных решений по модульным подстанциям, элегазовому оборудованию и комплектным устройствам распределения электроэнергии;
- 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 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 проектируемого завода сельхозтехники должна соответствовать требованиям [11], [12], [13] и другим принятым стандартам.



Выводы по разделу.

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

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

Из анализа исходных технических данных и условий можно сделать выводы, что на территории проектируемого завода сельхозтехники планируется ввести в эксплуатацию 15 производственных и непромышленных объектов, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу.

Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) проектируемого завода сельхозтехники варьируется в широком диапазоне (от 17 кВт до 1920 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения.

Также определено, что в системе электроснабжения проектируемого завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники является чрезвычайно важной, ответственной и необходимой задачей, сопряжённой со значительными техническими и финансовыми издержками.

Следовательно, при разработке схемы электроснабжения проектируемого завода сельхозтехники необходимо учесть совокупность приведённых исходных данных и факторов, обуславливающих правильность процесса проектирования системы электроснабжения данного объекта.

## 2 Проектирование системы электроснабжения завода сельхозтехники

### 2.1 Выбор схемы электроснабжения завода сельхозтехники

Выбор рациональной схемы электроснабжения завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники. Сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения завода сельхозтехники, сведены в таблицу 2.

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

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

При выборе схемы внешнего электроснабжения завода сельхозтехники, крайне важно выбрать источник питания и величину номинального напряжения.

В качестве источника питания для объекта проектирования предлагается выбрать главную понизительную подстанцию (далее – ГПП), на которой необходимо установить два силовых трансформатора (так как большинство потребителей относится к 1 и 2 категории надёжности, следовательно, они требуют резервирования в виде двух независимых линий к источникам питания).

Для выбора величины внешнего номинального напряжения завода сельхозтехники, предлагается использовать известную формулу Стилла, дающей не более 10% суммарной погрешности [8]:

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

«где  $L$  – длина питающей линии, км;

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

Суммарная передаваемая мощность в сеть, которая необходима для полноценного питания проектируемой «системы электроснабжения завода сельхозтехники, определена ранее в таблице 1» [10].

«По условию (1) для внешней СЭС завода сельхозтехники» [1]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{7,5 + 16 \cdot 7,981} = 50,46 \text{ кВ}.$$

«Исходя из ряда номинальных напряжений, принимается ближайшее большее значение номинального напряжения внешней системы электроснабжения завода сельхозтехники, равного значению 110 кВ» [3].

Следовательно, в схеме принята одна двухцепная линия 110 кВ для питания внешней системы электроснабжения проектируемого завода

сельхозтехники (по одной цепи на каждый силовой трансформатор).

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

Таблица 3 – Выбор схемных решений в системе электроснабжения завода сельхозтехники

Параметр (критерий)	Решение	Примечание
Источник питания внешней СЭС завода	Главная понизительная подстанция (ГПП)	110 кВ
Источник питания ГПП от энергосистемы	Двухцепная линия 110 кВ	Две цепи должны получать питание от разных источников
Количество трансформаторов на ГПП	2 единицы	Трансформаторы двухобмоточные масляные систем ТМ, ТДН, ТМН
Схема на стороне ВН ГПП (110 кВ)	«Два блока с выключателями и неавтоматической переключкой со стороны линий»	Подходит для питания тупиковой подстанции с потребителями 1 и 2 категории надёжности
Схема на стороне НН ГПП (10 кВ)	«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 переключка, 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 завода сельхозтехники представлены на структурной схеме (рисунок 6).

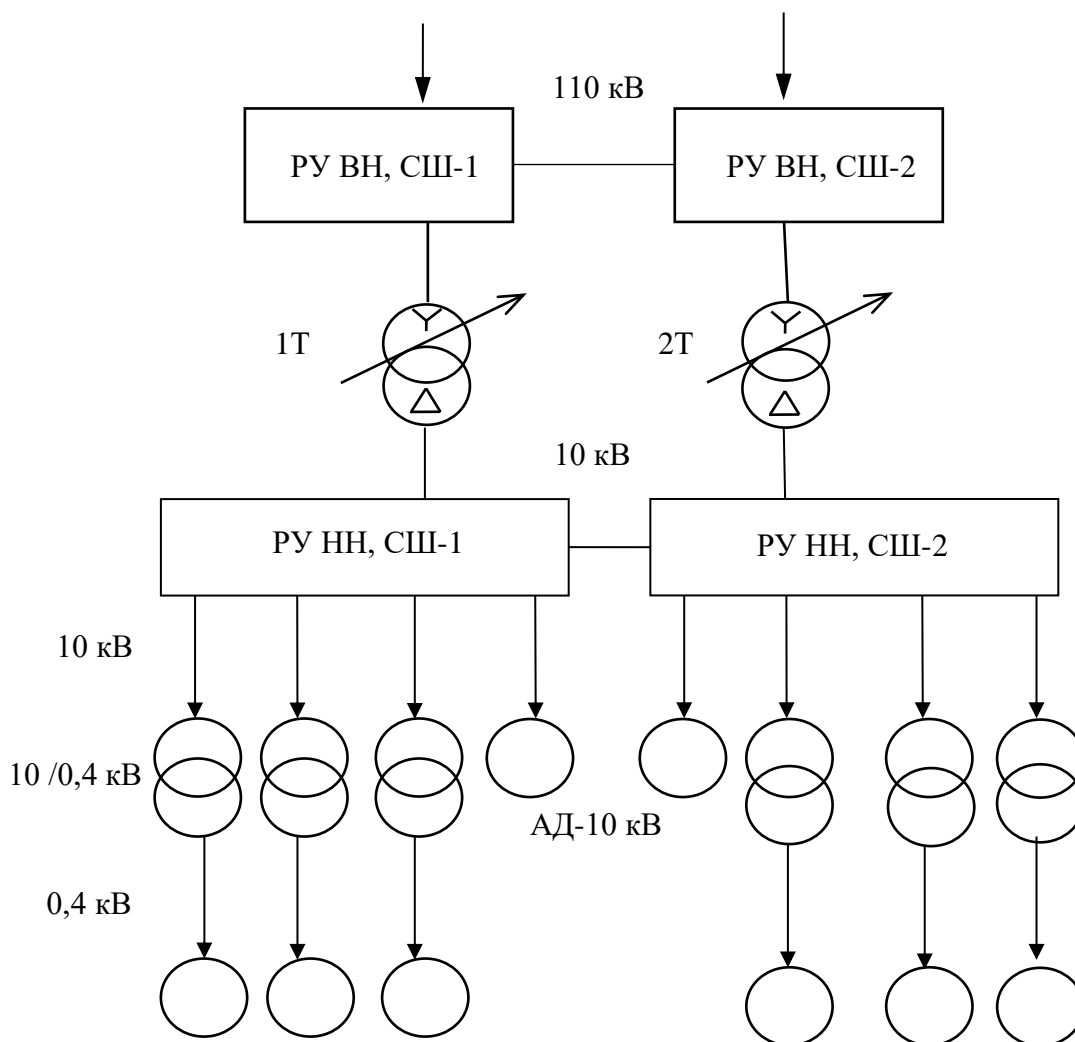


Рисунок 6 – Структурная схема ГПП системы электроснабжения завода сельхозтехники

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

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

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок

«Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок электрической части проектируемой системы электроснабжения» [13] завода сельхозтехники.

Очевидно, что расчёт электрических нагрузок проектируемой системы электроснабжения завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники, но и всей электроэнергетической инфраструктуры в целом [2].

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

- сбор исходных данных. На первом этапе необходимо собрать информацию о всех потребителях, получающих питание от проектируемой системы электроснабжения завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники: 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 завода сельхозтехники;

- проверочный расчёт допустимых перегрузок: известно, что электрическое оборудование и сети проектируемой системы электроснабжения завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники выполняется с учётом коэффициента спроса [8].

Данный метод позволяет провести определение нагрузок объектов, находящихся на стадии проектирования, с учётом рассчитанных коэффициентов спроса для объектов каждого типичного предприятия (завода, учреждения).

Активная нагрузка объектов проектируемой «системы электроснабжения завода сельхозтехники, кВт» [13]:

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

«где  $P_n$  – суммарная номинальная активная мощность нагрузки объекта

завода, кВт;

$K_c$  – справочное значение коэффициента спроса» [8].

«Расчетная реактивная нагрузка» [2]:

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

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

«В работе принимается нормируемое предельное значение коэффициента реактивной мощности» [5] системы электроснабжения, обеспечивающее передачу и приём электроэнергии без превышения компенсации реактивной мощности в энергосистеме.

Таким образом, в работе принято значение  $\operatorname{tg}\varphi = 0,4$  [5].

«Расчетная полная нагрузка» [6]:

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

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников» [1]:

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

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

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

«При этом» [1]:

$$P_{н.o} = P_{уд.o} F, \quad (6)$$

где  $P_{уд.o}$  – «нормируемая удельная мощность освещения, кВт/м<sup>2</sup>» [4];

$F$  – «площадь, м<sup>2</sup>» [1].



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

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

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах (ЦТП) и в трансформаторах ГПП системы электроснабжения завода сельхозтехники» [16]:

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

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

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

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

«Расчёт электрических нагрузок в работе проводится на примере блока подготовки основного производства (объект 1 категории надёжности) системы электроснабжения завода» [16] сельхозтехники по (2) – (4):

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

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

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

По полученным значениям нагрузки блока подготовки основного производства (объект 1 категории надёжности) системы электроснабжения завода сельхозтехники далее в работе будут выбраны защитные аппараты и сечения кабельных линий, а также уставки РЗиА.

«Результаты расчёта электрических нагрузок остальных объектов проектируемой системы электроснабжения завода сельхозтехники рассчитаны представлены в форме таблицы 4» [19].

Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок

Наименование цеха	$P_{p.н.}$ кВт	$P_{p.о.}$ кВт	$Q_{p.н.}$ квар	$Q_{p.о.}$ квар	$P_p$ кВт	$Q_p$ квар	$S_p$ кВА	$\Delta P_m$ кВт	$\Delta Q_m$ квар
Административное здание	49	3,79	65,17	1,63	52,79	66,80	85,14	1,70	8,51
Блок подготовки основного производства	192	7,58	224,64	3,27	199,58	227,91	302,94	3,99	19,96
Блок контроля, упаковки и отгрузки готовой продукции	104	17,96	121,68	7,74	121,96	129,42	177,83	3,56	17,78
Бойлерная	117	28,73	136,89	12,38	145,73	149,27	208,61	4,17	20,86
Насосная (0,38/0,22 кВ)	120	2,84	90,00	1,23	122,84	91,23	153,01	3,06	15,30
Котельная	175,5	1,80	205,34	0,77	177,30	206,11	271,87	5,44	27,19
Ремонтно-механический участок	232	2,15	174,00	0,93	234,15	174,93	292,28	4,68	23,42
Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	136,5	1,92	159,71	0,83	138,42	160,53	211,96	4,24	21,20
Торгово-выставочный комплекс	27,2	4,26	20,40	1,84	31,46	22,24	38,53	0,77	3,85
Склад комплектующих	11,05	4,49	12,93	1,94	15,54	14,86	21,50	0,43	2,15
Электроцех и служба главного энергетика	40	2,15	30,00	0,93	42,15	30,93	52,28	0,84	4,22
Производственный блок	1248	14,96	1460,16	6,45	1262,96	1466,61	1935,46	38,71	193,55
Гараж и служба главного механика	40	4,99	30,00	2,15	44,99	32,15	55,29	1,11	5,53
Склад готовой продукции	403	4,49	471,51	1,94	407,49	473,45	624,66	12,49	62,47
Склад привозных материалов, узлов и комплектующих	88	1,80	66,00	0,77	89,80	66,77	111,90	1,80	8,98
Наружное освещение	-	239,40	-	103,20	239,40	103,20	260,70	5,21	26,07
Итого на стороне 10 кВ, без КРМ	2983,2	343,30	3268,42	147,99	3326,55	3416,41	4803,99	92,21	461,03
Потери в трансформаторах ГПП	-	-	-	-	158,74	1144,31	1174,99	23,11	115,53
Итого по заводу	-	-	-	-	3485,29	2272,10	4160,49	-	-

Полученные результаты используются в работе далее.

### 2.3 Выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции

Выбор силовых трансформаторов для установки на главной понижающей подстанции (ГПП) завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники.

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

Следующий этап предусматривает непосредственный выбор количества и мощности силовых трансформаторов для установки на ГПП завода сельхозтехники.

Технические аспекты выбора трансформаторов ГПП завода сельхозтехники 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.

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

$$S_{ном.т} \geq \frac{S_{м.эпп}}{N \cdot K_3}, \quad (12)$$

«Где  $S_{м.ГПП}$  – максимальное значение полной расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода сельхозтехники» [12].

$$S_{ном} \geq \frac{4160,49}{2 \cdot 0,7} = 2971,78 \text{ кВА.}$$

«Исходя из полученных результатов выбора силовых трансформаторов для установки на» [9] ГПП-110/10 кВ, принимается ближайшее большее номинальное значение из стандартного ряда мощностей, равное 6300 кВА и тип трансформаторов – ТМН-6300/110.

Далее осуществляется комплекс проверок с целью принятия окончательного решения по выбору силовых трансформаторов ГПП завода сельхозтехники.

Основные виды 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]:

$$S_{ном.т.} \geq S_{ном.т.р.}, \text{ МВА.} \quad (13)$$
$$S_{ном.т.} = 6300 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р.} = 4160,49 \text{ кВА.}$$

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

Далее проводится проверочный расчёт силовых трансформаторов ГПП завода сельхозтехники 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]:

$$K_{з.н} = \frac{0,5 \cdot S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (14)$$

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

$$K_{з.н} = \frac{S_{ПС}}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (15)$$

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

$$K_{з.н.} = \frac{4160,49}{2 \cdot 6300} = 0,33 \leq 0,7.$$

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

$$K_{з.н.} = \frac{4160,49}{6300} = 0,66 \leq 1,4.$$

«В результате проведения проверки силовых трансформаторов на ГПП завода сельхозтехники было установлено, что условия всех требуемых

проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМН-6300/110» [9], которые были предварительно выбраны по результатам расчёта фактических нагрузок завода сельхозтехники, подходят для установки на данном объекте.

Таким образом, на питающей ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники окончательно принимаются к установке два силовые трансформатора марки ТМН-6300/110.

#### **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 завода сельхозтехники имеется 15 объектов, 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 завода сельхозтехники предлагается установить девять двухтрансформаторных цеховых подстанций (ЦТП) классом напряжения 10/0,4 кВ.

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

Далее проводится выбор и проверка мощности силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ завода сельхозтехники.

На всех ЦТП планируется установка двух силовых трансформаторов масляного типа марки ТМГ-10/0,4 кВ (герметичный тип) без наличия расширительного бака.

При этом, исходя из исходного расположения объектов на плане завода сельхозтехники, с учётом их номинальных и расчётных нагрузок, а также категорий надёжности, предусматривается к установке 3 цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

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

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_T}, \quad (16)$$

«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 завода сельхозтехники» [8]:

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

«Для установки на цеховой ТП-1 завода сельхозтехники, предварительно приняты два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10» [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» [14] ЦТП-1 завода сельхозтехники, в нормальном режиме работы соответствует нормативным данным:

$$K_{3.n} = \frac{0,5 \cdot 919,49}{1000} \approx 0,46 \leq 0,8.$$

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

$$K_{3.n} = \frac{919,49}{1000} \approx 0,92 \leq 1,6.$$

«В результате проведения проверки силовых трансформаторов на ЦТП-1 завода сельхозтехники было установлено, что условия всех требуемых проверок соблюдается, следовательно, силовые трансформаторы марки» [15] ТМГ-1250/10, которые были предварительно выбраны по результатам расчёта фактических нагрузок объектов завода сельхозтехники, 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 трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ

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

«Таким образом, в результате проведения выбора и проверки мощности и количества силовых трансформаторов на цеховых подстанциях системы электроснабжения завода сельхозтехники, определены мощности, количество и место установки трансформаторов на ЦТП» [11]:

- ЦТП-1 – устанавливается в здании блока подготовки основного производства (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-2 – устанавливается в здании блока контроля, упаковки и отгрузки готовой продукции (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;

- ЦТП-3 – устанавливается в здании производственного блока (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1600/10У1.

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

## **2.5 Выбор и проверка проводников завода сельхозтехники**

«Известно, что выбор и проверка проводников в системе электроснабжения» [18] завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники является эффективная и надёжная передача электроэнергии с минимальными значениями её потерь электроэнергии.

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

- выбор типа проводников в зависимости от электрической схемы системы электроснабжения завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники является важным заданием, которое требует комплексного подхода.

В работе для установки в системе электроснабжения завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники (кабельные линии электропередачи 10 кВ).

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

$$S_3 = \frac{I_{p.}}{j_3}, \quad (17)$$

где « $j_3$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

«Нормируемое значение экономической плотности тока в работе принимается равным 1,1 для неизолированных» [20] проводов питающей воздушной линии 110 кВ, и равным 1,6 для изолированных проводников (кабельных линий 10 кВ распределительной сети).

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

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ.}}, \quad (18)$$

«где  $S_p$  – расчётная полная нагрузка линии, кВ;

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

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

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ.}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (19)$$

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

$$I_{доп} \geq I_{p.}, \quad (20)$$

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

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

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (21)$$

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

Проверка проводников по условиям механической прочности:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (22)$$

Принимаются к установке на питающей линии 110 кВ (ВЛ-110 кВ), необходимой для питания главной понизительной подстанции 110/10 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники» [20]:

$$I_p = \frac{6305,39}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} \approx 16,5 \text{ А.}$$

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

$$I_{p.max} = 1,4 \cdot 16,5 = 23,17 \text{ А.}$$

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

$$S_3 = \frac{16,5}{1,1} = 15 \text{ мм}^2.$$

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

Это – минимальное сечение воздушной линии 110 кВ, исходя из климатических и механических условий, с учётом минимального сечения на «коронирующий разряд», который возникает в «воздушных линиях 110 кВ и выше во время грозы» [12].

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [19]:

$$265 \text{ А} \geq 16,5 \text{ А}.$$

«Условия проверки выполняются.

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

$$265 \text{ А} \geq 23,17 \text{ А}.$$

«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-70/11с сечением токоведущей жилы –  $70 \text{ мм}^2$  и допустимой токовой нагрузкой  $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [5].

«В распределительной сети системы электроснабжения» [3] завода сельхозтехники необходимо провести проверку на допустимое падение напряжения на концах сети 10 кВ.

Для питающей сети и линии 10 кВ такая проверка не проводится [16].

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

$$\Delta U_{\%} = \frac{P \cdot \frac{r_0 \cdot l}{n} + Q \cdot \frac{x_0 \cdot l}{n}}{U^2} \leq 5\%, \quad (23)$$

«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 завода сельхозтехники представлены в работе в форме таблицы 6» [4].

Таблица 6 – Результаты выбора кабелей

Линия	Длина, м	Расчётные значения			Результаты выбора кабельной линии		$\Delta U, \%$
		$I_{p \text{ норм}}, A$	$F_{\Sigma}, \text{мм}^2$	$F_{\text{ст.}}, \text{мм}^2$	Марка	$I_{\text{дд}}, A$	
ГПП-ТП-1	170,0	35,12	21,9	25	АСБ-10(3×25)	94,0	1,52
ГПП-ТП-2	180,0	34,63	21,6	25	АСБ-10(3×25)	94,0	1,67
ГПП-ТП-3	150,0	68,6	42,8	50	АСБ-10(3×50)	132,0	0,96
ГПП-АД-10 кВ (насосная)	120,0	53,4	33,3	35	АСБ-10(3×35)	112,0	0,74
ГПП-АД-10 кВ (компрессорная)	140,0	38,99	24,4	25	АСБ-10(3×25)	94,0	0,87

Все выбранные проводники принимаются к установке на объекте.

## 2.6 Расчёт токов короткого замыкания

«Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения» [11] завода сельхозтехники 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)» [17]: 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 завода сельхозтехники 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.

При проведении расчёта, где есть несколько ступеней напряжения, выбирается одна из них в качестве базисной.

Расчёт токов КЗ в системе электроснабжения завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники [20].

Исходя из этого, в «исходной схеме представлены все три класса напряжения, которые применяются в системе электроснабжения завода сельхозтехники: 110 кВ и 10 кВ» [16] (рисунок 7).

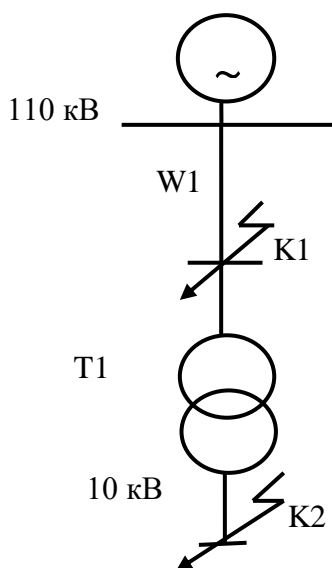


Рисунок 7 – Исходная расчётная схема

«Далее в работе составляется исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения завода сельхозтехники (рисунок 8)» [13].

«В схему замещения вносятся активные и индуктивные сопротивления основных элементов расчётной схемы системы электроснабжения завода сельхозтехники» [19].

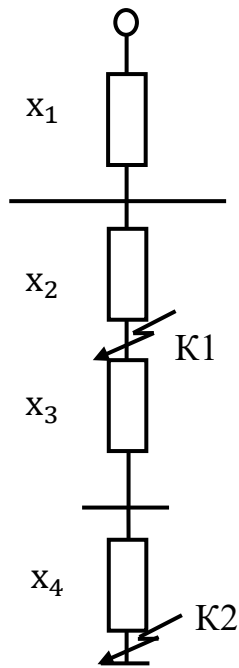


Рисунок 8 – Исходная схема замещения

Расчёты проводятся до каждой из точек КЗ поочерёдно.

«Базисное напряжение» [16]:

$$U_{\bar{o}} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (24)$$

«Для напряжений на ГПП-110/10 кВ» [2]:

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

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

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

$$I_B = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (25)$$

«Базисный ток на стороне ВН (110 кВ) (численное значение)» [17]:

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

«Базисный ток на стороне ВН (10 кВ) схемы (численное значение)» [17]:

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

«Индуктивное сопротивление энергосистемы при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\bar{o}c}}. \quad (26)$$

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

«Сопротивление питающей воздушной линии 110 кВ при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (27)$$

«где  $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км;

$L$  – суммарная длина питающей линии 110 кВ, км» [17].

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

«Сопротивление обмотки ВН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (28)$$

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

«Сопротивление обмотки НН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} S_{б.}}{100 \cdot S_{н.м.}}. \quad (29)$$

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

«Схема замещения для точки К1, представлена на рисунке 9» [17].

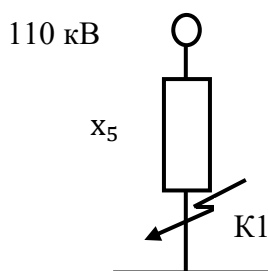


Рисунок 9 – Схема замещения до точки К1

«Результирующее сопротивление до расчётной точки К1» [17]:

$$X_5 = X_1 + X_2. \quad (30)$$

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

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К1» [17]:

$$I_{\text{пол}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{б.} \quad (31)$$

«где  $E_c$  - сверхпереходная ЭДС энергосистемы,  $E_c=1$ » [17].

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

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 10» [17].

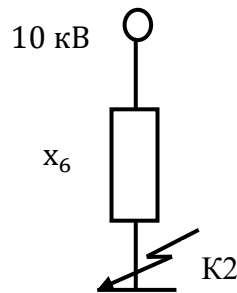


Рисунок 10 – Схема замещения до точки К2

«Расчёт для точки К2 аналогичен расчёту для точки К1 (с учётом большего числа сопротивлений, входящих в цепь К3)» [17]:

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5. \quad (32)$$

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

«Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в точке К2» [17]:

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_6} \cdot I_{\sigma}. \quad (33)$$

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

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

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

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

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

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

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

«Значение двухфазного тока 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]:

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

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

«Полученные результаты расчёта токов К3 на шинах 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы системы электроснабжения завода сельхозтехники, представлены в таблице 7» [13].

Таблица 7 – Результаты расчёта токов К3

Расчётная точка К3	$I_K^{(3)}, \text{ кА}$	$I_K^{(2)}, \text{ кА}$	$i_{y\partial}, \text{ кА}$
К1 (выводы 110 кВ)	1,18	1,02	2,84
К2 (выводы 10 кВ)	1,55	1,34	3,07

«Полученные в работе результаты расчёта токов К3 используются для соответствующих проверок современного оборудования на ГПП и ЦТП системы электроснабжения завода сельхозтехники» [13].

## 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

«Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения завода сельхозтехники – 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» [7].

«В работе выбор и проверка электрических аппаратов проводится» [14] в распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ и ЦТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники.

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]:



$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (38)$$

где « $I_{пт}$  – 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]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (39)$$

где « $i_{ат}$  – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов;

$\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;

$\tau$  – 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]:

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (41)$$

где « $i_{пр.с}$  – 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]:

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

«Предварительно выбирается современный выключатель бакового типа с элегазовой изоляцией марки 145PM40-20 и производится его проверка по условиям (36)-(43)» [19]:

$$U_{ном} = 145 \text{ кВ} \geq U_{сети} = 110 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 2000 \text{ А} > I_{расч} = 23,17 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 40 \text{ кА} > I_{к1} = 1,18 \text{ кА}.$$

$$\sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) = \sqrt{2} \cdot 20 (1 + 0,25) =$$

$$= 35 > \sqrt{2} \cdot 2,84 \cdot (1 + e^{-\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 14,8 \text{ кА}^2 \cdot c.$$

$$i_{пр.скв} = 40 \text{ кА} > i_{ук1} = 2,84 \text{ кА}.$$

$$I_t^2 t = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 c > I_k^2 (t_{откл} + T_a) = 1,18^2 \cdot (5 + 0,5 + 0,3) = 7,71 \text{ кА}^2 c.$$

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели элегазовые 110 кВ марки 145PM40-20	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 145 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 23,17 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 2000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,18 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,84 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,18^2 \cdot 3 = 4,18 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 \approx 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Выключатели вакуумные 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,55 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 20 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

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

- выключатели высоковольтные элегазовые напряжением 110 кВ марки 145PM40-20;
- выключатели высоковольтные вакуумные напряжением 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48.

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

Они устанавливаются в схеме объекта проектирования только в РУ-110 кВ.

Сводные результаты выбора разъединителей в электрической сети 110 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники представлены в работе в форме таблицы 9.

Таблица 9 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных разъединителей в электрической сети 110 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 23,17 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 1000 \text{ А.}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном.}$	$I_{н.т} = 1,18 \text{ кА.}$	$I_{отк.ном.} = 40 \text{ кА.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,84 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,18^2 \cdot 3 = 4,18 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 \approx 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

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

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов тока в электрической сети 110 кВ и 10 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы тока 110 кВ марки ТВТ-110-У3	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 110 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 110 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 23,17 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 300 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 2,84 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 1,18^2 \cdot 3 = 4,18 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 \approx 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-У3	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном.} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А.}$	$I_{ном.} = 630 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с.}$

Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения в электрической сети 10 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Сводные результаты «выбора и проверки высоковольтных трансформаторов напряжения в электрической сети 10 кВ системы электроснабжения завода сельхозтехники» [17]

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы напряжения 10 кВ марки НАМИ-10	$U_{сети} \leq U_{ном.}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ.}$
	$I_{max} \leq I_{ном.}$	$I_{max} = 509,8 \text{ А.}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А.}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 3,07 \text{ кА.}$	$i_{дин.} = 40 \text{ кА.}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T.$	$I_T^2 \cdot t_T = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2\text{с.}$	$B_K = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2\text{с.}$

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

Выводы по разделу.

В результате проведения исследования по принятию схемных решений, приведены сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения завода сельхозтехники. На основании приведённых сводных технических условий, проведён выбор схемных решений в системе электроснабжения завода сельхозтехники. 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 ТМН-6300/110 для установки на главной понижающей подстанции 110/10 кВ завода сельхозтехники. Данные трансформаторы проверены на соответствие номинальной мощности расчётным параметрам, а также на загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку трансформатора в послеаварийном режиме.

При этом, исходя из исходного расположения объектов на плане завода сельхозтехники, с учётом их номинальных и расчётных нагрузок, а также категорий надёжности, предусматривается к установке три цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Проведён выбор и проверка мощности силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ завода сельхозтехники. На всех ЦТП-10/0,4 кВ обусловлена установка двух силовых трансформаторов масляного типа марки ТМГ (герметичный тип трансформаторов) различных типономиналов.

В результате проведения выбора и проверки мощности и количества силовых трансформаторов на цеховых подстанциях системы электроснабжения завода сельхозтехники, определены мощности, количество и место установки трансформаторов на ЦТП:

- ЦТП-1 – устанавливается в здании блока подготовки основного производства (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-2 – устанавливается в здании блока контроля, упаковки и отгрузки готовой продукции (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-3 – устанавливается в здании производственного блока (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1600/10У1.

Все ЦТП системы электроснабжения завода сельхозтехники выполнены комплектными.

В работе для установки в системе электроснабжения завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники (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 завода сельхозтехники:

- выключатели высоковольтные элегазовые напряжением 110 кВ марки 145PM40-20;
- выключатели высоковольтные вакуумные напряжением 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48;
- разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000;
- трансформаторы тока 110 кВ марки ТВТ-110-У3;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-У3;
- трансформаторы напряжения 10 кВ марки НАМИ-10.

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

### **3 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии завода**

Далее в работе для решения поставленных задач, необходимо осуществить выбор системы учёта и контроля электроэнергии для применения в системе электроснабжения завода.

Выбор системы учёта и контроля электроэнергии для применения в системе электроснабжения завода зависит от различных факторов, таких как масштаб завода, требования к учету энергопотребления, бюджет, цели мониторинга и контроля, а также регулирующие нормы и стандарты.

В результате проведения анализа открытых источников, приведены некоторые ключевые аспекты, которые необходимо учесть при выборе системы учёта и контроля электроэнергии на проектируемом заводе сельхозтехники:

- требования к точности: в случае, если требуется высокая точность учёта электроэнергии для внутренней учетной политики или для соблюдения норм и стандартов, то современные системы АИИСКУЭ системы с более высокой точностью измерений будут более предпочтительны;
- масштаб производства: в зависимости от размера и масштабов производственного процесса, возникает необходимость в применении современных систем с возможностью масштабирования, чтобы охватить все устройства и потребители электроэнергии;
- типы устройств: различные устройства и оборудование могут потреблять электроэнергию по-разному. Выбор системы учёта и контроля электроэнергии на проектируемом заводе сельхозтехники должен учитывать разнообразие потребителей и их характеристики;
- мониторинг и управление: если необходимо не только учитывать энергопотребление, но и иметь возможность мониторинга и удаленного управления потреблением электроэнергии, то стоит рассмотреть системы с такими функциями;



- совместимость системы учёта и контроля электроэнергии на проектируемом заводе сельхозтехники: при выборе системы учёта и контроля стоит убедиться, что она совместима с существующими системами автоматизации и управления на заводе;
- бюджет и стоимость монтажа: системы учёта и контроля электроэнергии могут значительно различаться по стоимости. Поэтому предпочтение отдаётся высокоточным современным системам, способным реализовать нужные функции в системе учёта и контроля электроэнергии на проектируемом заводе сельхозтехники;
- аналитика и отчетность: если планируется проводить мониторинг и анализировать данные о потреблении электроэнергии, а также составлять отчеты для оптимизации процессов, необходимо обратить внимание на данные функции в системе учёта и контроля электроэнергии на проектируемом заводе сельхозтехники;
- надежность и безопасность: система учёта и контроля электроэнергии на проектируемом заводе сельхозтехники должна быть надежной и обеспечивать безопасность данных о потреблении электроэнергии;
- использование современных технологий для более эффективного мониторинга и управления, включая сопровождение и поддержку программной базы от изготовителя.

Исходя из этих факторов, рассмотрены различные варианты систем учёта и контроля электроэнергии, такие как счетчики с дистанционным доступом, сетевые устройства для мониторинга, системы управления энергопотреблением и другие.

В результате проведённого анализа схемных решений, для внедрения в систему электроснабжения на проектируемом заводе сельхозтехники, предложена система учёта и контроля электроэнергии на базе универсального электроизмерительного прибора SATEC PM130 PLUS.

Проводится краткое исследование по возможности и целесообразности внедрения данной системы на объекте проектирования.

Основное внимание при этом уделяется функциональности прибора, его техническим характеристикам, а также возможностям интеграции в современные системы электроснабжения промышленных объектов.

Системы учета и контроля электроэнергии являются существенным элементом эффективного управления электроснабжением промышленных предприятий. В данной работе кратко исследуется универсальный электроизмерительный прибор SATEC PM130 PLUS как потенциальный компонент системы учета и контроля электроэнергии.

SATEC PM130 PLUS представляет собой многофункциональное устройство, спроектированное для точного измерения и учета различных параметров электроэнергии в системе АИИСКУЭ. Основные характеристики прибора включают высокую точность измерений, широкий диапазон рабочих напряжений и токов, а также поддержку различных типов сетей переменного и постоянного тока. SATEC PM130 PLUS обладает способностью измерения и учета активной и реактивной электроэнергии, напряжения, тока, мощности и других важных параметров электросети. Прибор также входит в систему АИИСКУЭ и обеспечивает функции сбора данных и их передачи для дальнейшего анализа.

Одним из значимых аспектов SATEC PM130 PLUS является его способность интеграции в современные системы электроснабжения. Прибор поддерживает протоколы коммуникации, такие как Modbus и Profibus, что облегчает его интеграцию в системы автоматизации и мониторинга на заводе.

Универсальный электроизмерительный прибор SATEC PM130 PLUS представляет собой ценный инструмент для систем учета и контроля электроэнергии на промышленных объектах. Его высокая функциональность, точность измерений и возможности интеграции делают его перспективным решением для обеспечения не только измерения и учёта потребления электрической энергии, но и эффективного управления электроснабжением завода. Конструктивное выполнение и основной функционал универсального электроизмерительного прибора SATEC PM130 PLUS показан на рисунке 11.



Рисунок 11 – Конструктивное выполнение SATEC PM130 PLUS

Таким образом, в результате проведения краткого исследования о внедрении универсального электроизмерительного прибора SATEC PM130 PLUS, установлено, что данная АИИСКУЭ является одной из лучших вариантов для внедрения в проектируемую систему электроснабжения завода сельхозтехники, так как обладает высокой надёжностью, малой погрешностью, удобным интерфейсом, поддержкой программного обеспечения, а также полностью адаптирован для применения в системе технического и коммерческого учёта отечественных предприятий.

Выводы по разделу.

Проведён анализ требований к системам учёта и контроля электроэнергии на отечественных промышленных предприятиях. В результате проведения краткого исследования о внедрении в систему электроснабжения объекта проектирования универсального электроизмерительного прибора SATEC PM130 PLUS, установлено, что данная АИИСКУЭ является одной из лучших вариантов для внедрения в проектируемую систему электроснабжения завода сельхозтехники, так как обладает высокой надёжностью, малой погрешностью, удобным интерфейсом, поддержкой программного обеспечения, а также полностью адаптирован для применения в системе технического и коммерческого учёта отечественных предприятий.

## **4 Расчёт релейной защиты и автоматики завода сельхозтехники**

### **4.1 Выбор основных типов релейной защиты и автоматики завода**

При выборе основных типов релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники. Поэтому в работе устройства РЗА должны быть установлены на ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники.

На ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники, 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» [1] (ЗОЗ) – защищает линии и присоединения от коротких замыканий на землю.

Помимо релейной защиты, в схеме ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, а также всех линий завода сельхозтехники, предлагается принять микропроцессорный блок релейной защиты серии БЗП [1]. «Внешний вид и функционал микропроцессорных блоков серии БЗП представлен на рисунке 12» [13].

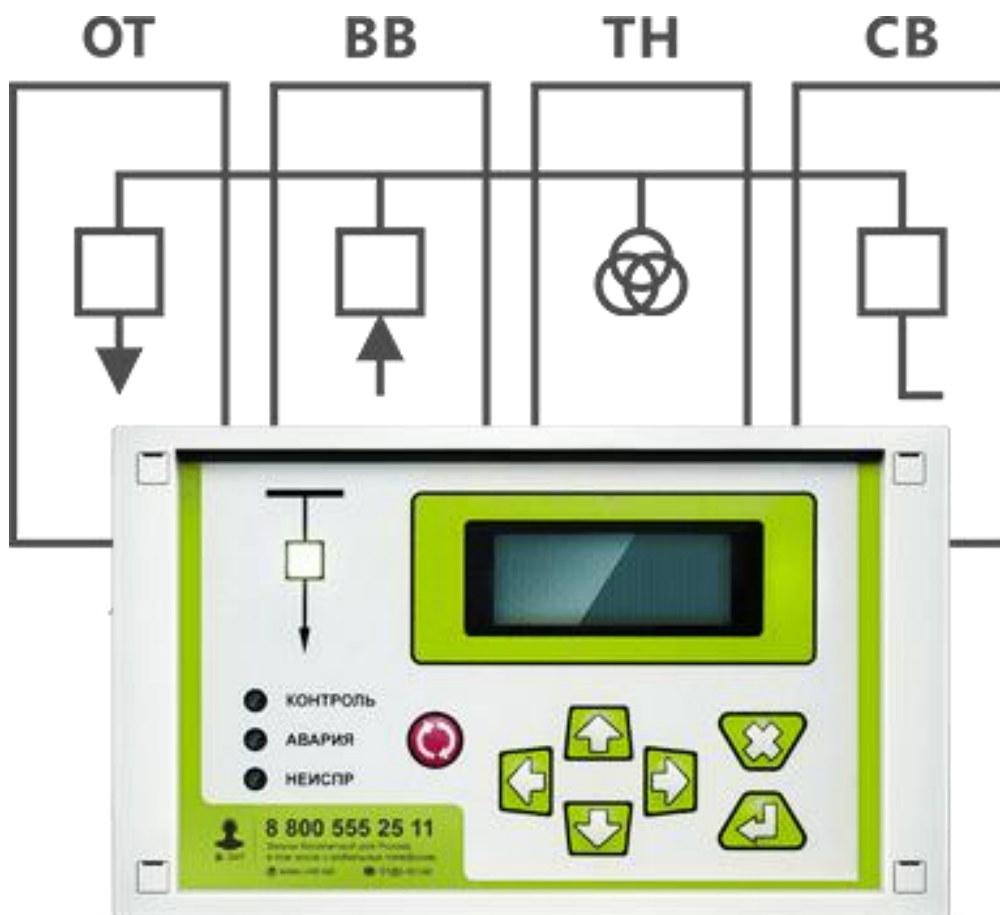


Рисунок 12 – Внешний вид РЗаА серии БЗП

Такие блоки РЗаА серии БЗП марки имеют ряд существенных преимуществ:

- высокая надежность: блоки релейной защиты серии БЗП разрабатываются с учетом высокой степени надежности для обеспечения защиты силовых трансформаторов и линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстроедействие: блоки РЗаА серии БЗП 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.

Таким образом, выбор микропроцессорных блоков РЗиА серии БЗП, для непосредственного применения на ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники в результате проведения выбора её релейной защиты и автоматики, обоснован.

#### **4.2 Расчёт релейной защиты силовых трансформаторов системы электроснабжения завода сельхозтехники**

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

Рабочие токи и токи максимального режима силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники 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]:

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

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

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,5 \cdot (509,8 - 23,17) = 729,9 \text{ А.}$$

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

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{729,9} = 1,6 > 1,5.$$

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

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

где  $K_n$  – «коэффициент надёжности» [13].

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



$$I_{c.3} \geq 1,05 \cdot 23,17 \approx 24,3 \text{ A.}$$

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

$$I_{c.3} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}, \quad (47)$$

где  $K_{отс}$  - «коэффициент отстройки» [13];

$K_{сзн}$  - «коэффициент самозапуска» [13].

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [14]:

$$K_{\chi} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{c.3}} \geq 1,2, \quad (48)$$

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

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

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

« $I_{c.3}$  - ток срабатывания защиты» [14].

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

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 23,17 \approx 40,8 \text{ A.}$$

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

$$K_{\chi} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1180}{40,8} \approx 28,9 > 1,2.$$

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

$$I_{c.з} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 509,8 \approx 897,2 \text{ A.}$$

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

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{3070}{897,2} = 3,42 > 1,2.$$

«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  $I_{c.з} = 5 \text{ A}$ ,  $t_{c.з} = 0 \text{ с}$  (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 завода сельхозтехники представлены в таблице 12» [2].

Таблица 12 – Результаты выбора типа защит и уставок РЗиА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники

Тип РЗиА	$I_{с.з.}, A$	$t_{с.з.}, c$	Работа защиты
ДЗ	729,9	-	отключение
ЗП	24,3	5,0	сигнал
МТЗ (ВН)	40,8	1,0	отключение
МТЗ (НН)	897,2	1,5	отключение
ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГЗ	-	-	отключение

«Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ» [8] завода сельхозтехники, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

#### 4.3 Расчёт релейной защиты линейных присоединений системы электроснабжения завода сельхозтехники

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 завода сельхозтехники.

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

«Ток срабатывания ДЗЛ» [13]:

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

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

«Коэффициент чувствительности ДЗЛ» [13]:

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

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

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

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

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

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

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [13]:

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

«Уставка МТЗ питающей линии 110 кВ к трансформатору ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники» [13]:

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

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

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

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

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

- для АПВ на питающей линии 110 кВ –  $t_{с.з} = 1$  с;
- для АВР на секционном соединении –  $t_{с.з} = 2$  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 завода сельхозтехники.

«Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений ГПП-110/10 кВ завода сельхозтехники представлены в таблице 13» [19].

Таблица 13 – 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	30,1	-	отключение
	МТЗ	23,17	0,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АПВ	-	1,0	включение
Ввод 10 кВ	ДЗ	662,7	-	отключение
	МТЗ	611,8	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
Секционное присоединение 10 кВ	ДЗ	927,5	-	отключение
	МТЗ	856,5	2,0	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
	АВР	-	2,0	включение
ГПП-ЦТП-1	ДЗ	105,2	-	отключение
	МТЗ	97,1	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-2	ДЗ	105,2	-	отключение
	МТЗ	97,1	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-ЦТП-3	ДЗ	168,4	-	отключение
	МТЗ	155,4	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-Насосная	ДЗ	97,2	-	отключение
	МТЗ	89,8	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение
ГПП-Компрессорная	ДЗ	71,0	-	отключение
	МТЗ	65,5	2,5	отключение
	ЗОЗ	5,0	-	отключение

Всё оборудование системы электроснабжения завода защищено РЗиА.

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 завода сельхозтехники.

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, а также всех линий завода сельхозтехники, предлагается принять микропроцессорный блок «релейной защиты серии БЗП.

В работе для защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ» [6] 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 завода сельхозтехники.

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ» [9] завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники» [12].

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

Из анализа исходных технических данных и условий можно сделать выводы, что на территории проектируемого завода сельхозтехники планируется ввести в эксплуатацию 15 производственных и непромышленных объектов, которые требуются на предприятии согласно технологическому процессу. Установлено также, что нагрузка отдельных объектов (цехов, участков и подразделений) проектируемого завода сельхозтехники варьируется в широком диапазоне (от 17 кВт до 1920 кВт), что предусматривает комплексный подход к выбору схемы системы электроснабжения. Также определено, что в системе электроснабжения проектируемого завода сельхозтехники 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 завода сельхозтехники является чрезвычайно важной, ответственной и необходимой задачей, сопряжённой со значительными техническими и финансовыми издержками.

В результате проведения исследования по принятию схемных решений, приведены сводные технические условия, необходимые для выбора схемы электроснабжения завода сельхозтехники.

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

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 ТМН-6300/110 для установки на главной понижающей подстанции 110/10 кВ завода сельхозтехники. Данные трансформаторы проверены на соответствие номинальной мощности расчётным параметрам, а также на загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку трансформатора в послеаварийном режиме.

При этом, исходя из исходного расположения объектов на плане завода сельхозтехники, с учётом их номинальных и расчётных нагрузок, а также категорий надёжности, предусматривается к установке три цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Проведён выбор и проверка мощности силовых трансформаторов для установки на ЦТП-10/0,4 кВ завода сельхозтехники. На всех ЦТП-10/0,4 кВ обусловлена установка двух силовых трансформаторов масляного типа марки ТМГ (герметичный тип трансформаторов) различных типономиналов.

В результате проведения выбора и проверки мощности и количества силовых трансформаторов на цеховых подстанциях системы электроснабжения завода сельхозтехники, определены мощности, количество и место установки трансформаторов на ЦТП:

- ЦТП-1 – устанавливается в здании блока подготовки основного производства (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;



- ЦТП-2 – устанавливается в здании блока контроля, упаковки и отгрузки готовой продукции (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1000/10У1;
- ЦТП-3 – устанавливается в здании производственного блока (1 категория надёжности), 2 трансформатора марки ТМГ-1600/10У1.

Все ЦТП системы электроснабжения завода сельхозтехники выполнены комплектными.

В работе для установки в системе электроснабжения завода сельхозтехники, 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 завода сельхозтехники (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 завода сельхозтехники:

- выключатели высоковольтные элегазовые напряжением 110 кВ марки 145PM40-20;
- выключатели высоковольтные вакуумные напряжением 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20-630-У2-48;
- разъединители 110 кВ марки РГ-110/1000;
- трансформаторы тока 110 кВ марки ТВТ-110-У3;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛО-10-У3;
- трансформаторы напряжения 10 кВ марки НАМИ-10.

Проведён анализ требований к системам учёта и контроля электроэнергии на отечественных промышленных предприятиях. В результате проведения краткого исследования о внедрении в систему электроснабжения объекта проектирования универсального электроизмерительного прибора SATEC PM130 PLUS, установлено, что данная АИИСКУЭ является одной из лучших вариантов для внедрения в проектируемую систему электроснабжения завода сельхозтехники, так как обладает высокой надёжностью, малой погрешностью, удобным интерфейсом, поддержкой программного обеспечения, а также полностью адаптирован для применения в системе технического и коммерческого учёта отечественных предприятий.

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

Для реализации всех перечисленных функций, с целью качественной защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ, а также всех линий завода сельхозтехники, предлагается принять микропроцессорный блок релейной защиты серии БЗП.

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 завода сельхозтехники.

Таким образом, силовые трансформаторы, установленные на ГПП-110/10 кВ» [20] завода сельхозтехники, а также все линейные присоединения системы электроснабжения объекта проектирования, будут надёжно защищены от основных ненормальных и аварийных режимов.

## Список используемых источников

1. Абрамова Е.Я. Электроснабжение промышленных предприятий. Электронный ресурс]: URL: <https://ka.z-library.se/book/3097396/90277a/Электроснабжение-промышленных-предприятий.html> (дата обращения: 18.11.2023).
2. ГОСТ 29322-2014. «Напряжения стандартные» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115397> (дата обращения: 15.08.2023).
3. 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: 18.11.2023).
4. 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: 18.11.2023).
5. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах. Учебное пособие. УрФУ им. Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд. УрФу, 2019. 104 с.
6. Иванов А.А. Модернизация промышленных предприятий на базе современных систем автоматизации и управления. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2020. 384 с.
7. Киреева Э.А. Электроснабжение жилых и общественных зданий. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.zodchii.ws/books/info-753.html> (дата обращения: 18.11.2023).
8. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. М.: Кнорус, 2019. 236 с.
9. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021.

400 с.

10. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.

11. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. СПб.: БВХ-Петербург, 2014. 608 с.

12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

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

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

15. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 18.11.2023).

16. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования [Электронный ресурс]: URL: [https://www.elec.ru/files/2020/01/14/Rozhkova\\_L.D.\\_Karneeva\\_L.K.\\_Chirkova\\_T.V..PDF](https://www.elec.ru/files/2020/01/14/Rozhkova_L.D._Karneeva_L.K._Chirkova_T.V..PDF) (дата обращения: 18.11.2023).

17. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок [Электронный ресурс]: URL: <https://staff.tiame.uz/storage/users/351/books/nBNx7IKdrD9CBS1Lob2Dek9z12OIKBM9FDsTBnR8.pdf> (дата обращения: 18.11.2023).

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

19. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение

промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

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