

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения завода железобетонных изделий

Обучающийся

М.А. Журавлев
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Консультант

к.п.н., О.Н. Брега

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

Тольятти 2023

Аннотация

Работа посвящена «разработке проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий, который осуществляется с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [8].

«В работе решены следующие поставленные задачи» [7]:

- «анализ исходных данных» [8];
- «проектирование системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта, с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических аппаратов и оборудования подстанций» [8]. Также выбору подлежат проводники в системе электроснабжения объекта проектирования, включая питающие и распределительные сети. Принятые в работе решения обязательно проверяются на термическую и динамическую стойкость к максимальным токам короткого замыкания, рассчитанным в работе;
- расчёт релейной защиты, автоматики, а также заземления и молниезащиты ГПП системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской, а также графической частью, состоящей из 6 листов А1.

Abstract

The work is devoted to «the development of a project for the power supply system of a reinforced concrete products plant, which is carried out in order to put a new facility into operation in connection with the production need» [8].

«The following tasks were solved in the work» [7]:

- «analysis of initial data» [8];
- «designing the power supply system of the plant of reinforced concrete products of the object, with the final choice of the power supply scheme, as well as electrical apparatus and substation equipment» [8]. Also, conductors in the power supply system of the design object, including supply and distribution networks, are subject to selection. The solutions adopted in the work are necessarily checked for thermal and dynamic resistance to the maximum short-circuit currents calculated in the work;
- calculation of relay protection, automation, as well as grounding and lightning protection of the GPP of the power supply system of the plant of reinforced concrete products of the facility.

The work is presented by a settlement and explanatory note, as well as a graphic part, consisting of 6 A1 sheets.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных на выполнение работы.....	7
1.1 Техническая характеристика завода железобетонных изделий.....	7
1.2 Анализ основной нормативной литературы для проектирования системы электроснабжения завода железобетонных изделий.....	10
2 Проектирование системы электроснабжения завода железобетонных изделий.....	20
2.1 Выбор напряжений схемы электроснабжения завода железобетонных изделий.....	20
2.2 Выбор схемы электроснабжения завода железобетонных изделий	21
2.3 Расчёт электрических нагрузок предприятия	27
2.4 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов	32
2.5 Расчёт токов коротких замыканий	35
2.6 Выбор и расчёт электрических проводников.....	43
2.7 Выбор места расположения ГПП	48
2.8 Выбор основного оборудования и его проверка.....	50
3 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	61
4 Расчёт заземления и молниезащиты.....	68
4.1 Расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ	68
4.2 Расчёт заземления.....	69
Заключение	72
Список используемых источников.....	75

Введение

Железобетонные изделия широко используются в различных отраслях, включая строительную, техническую, дорожную и прочих. Перспективы развития производства железобетонных изделий в России зависят от множества факторов.

Первый фактор – это рост строительной отрасли в целом. Сейчас в России наблюдается повышенный к строительству жилья, а также к развитию. Это обуславливает повышенный спрос на железобетонные изделия, что, в свою очередь, влияет на развитие производства.

Второй фактор – это увеличение количества инноваций и современных технологий в производстве железобетонных изделий. Новые технологии требуют больших затрат на производство и высочайшее качество продукции. Например, в настоящее время широко применяются композитные материалы, такие как стекловолокно и углепластик, для увеличения прочности и надёжности железобетонных изделий.

Третий фактор – это поддержка государства. В России действует ряд мер поддержки развития строительной отрасли, включая финансирование и субсидирование производителей железобетонных изделий. Это также прогноз развития производства.

Однако необходимо отметить, что существует конкуренция на рынке железобетонных изделий. С другой стороны, повышение качества продукции и внедрение новых технологий может помочь производителям выйти на международный рынок и конкурировать с зарубежными рынками.

В целом, перспективы развития производства железобетонных изделий в России весьма оптимистичны благодаря росту строительной отрасли, отмеченному значительными достижениями и поддержкой со стороны государства. Развитие и совершенствование отечественных предприятий промышленности тесно связано с внедрением современных технологий в данном направлении. Структура и организационные формы промышленного

хозяйства весьма разнообразны и зависят от типа производства, вида выпускаемой продукции, ее конструкторской и технологической сложности и объема производства [1]. Основное направление для реализации в производстве железобетонных изделий – обеспечения изготовления качественной продукции при уменьшении затрат на энергоносители всех типов. Одним из путей решения является усовершенствование данной составляющей путём модернизации основного оборудования и сетей в системе электроснабжения как данного предприятия, так и вне его. Это обуславливает актуальность работы.

«Основной целью работы является разработка проекта внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий» [17].

«Объектом исследования в данной работе является электрическая часть внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий» [17].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема внешнего электроснабжения объекта исследования, а также её составные части» [17].

«В работе решены следующие поставленные задачи» [7]:

- «анализ исходных данных» [8];
- «проектирование системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта, с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических аппаратов и оборудования подстанций» [8]. Также выбору подлежат проводники в системе электроснабжения объекта проектирования, включая питающие и распределительные сети. Принятые в работе решения обязательно проверяются на термическую и динамическую стойкость к максимальным токам короткого замыкания, рассчитанным в работе;
- расчёт релейной защиты, автоматики, а также заземления и молниезащиты ГПП системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта.

1 Анализ исходных данных на выполнение работы

1.1 Техническая характеристика завода железобетонных изделий

Рассматриваемый в работе объект проектирования (железобетонный завод), выполняет роль предприятия, обеспечивающего производство и реализацию потребителям различных изделий из железобетона. Увеличение спроса на железобетонные изделия, а также близость логистических цепей и наличие необходимых мощностей обуславливает целесообразность ввода в эксплуатацию системы электроснабжения объекта. Исходя из технологических требований, рассматриваемое в работе ремонтно-ревизионное производство включает совокупность цехов и участков для выполнения технологических операций по производственному циклу готовой продукции. Технологическая схема производственного процесса на заводе железобетонных изделий представлена на рисунке 1.

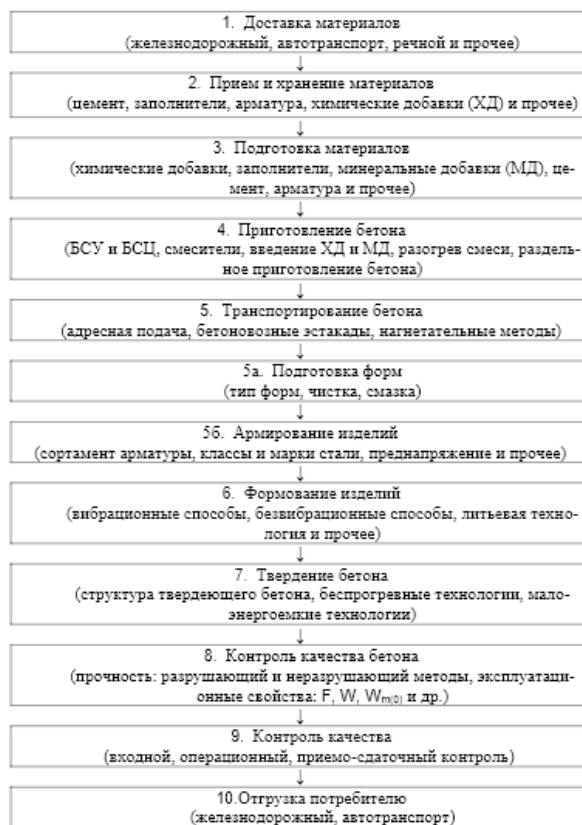


Рисунок 1 – Технологическая схема производственного процесса

Таким образом, исходя из технологической схемы производственного процесса на заводе железобетонных изделий, на объекте проектирования можно выделить следующие основные этапы производства:

- подготовительный этап – включает доставку, хранение и транспортирование исходных материалов, применяемых в технологическом процессе изготовления железобетонных изделий, а также подготовку первичного материала и форм для производства (бетонных смесей, арматуры и прочих аналогичных материалов);
- основной производственный этап – предусматривает формирование бетонных изделий (непрерывное литье, вибрационный метод, безынерционный метод) с последующим их армированием (укрепление конструкций способом введения металла) и сушкой (твердением бетонных смесей);
- заключительный этап – включает контроль качества готовой продукции, хранение и доставку потребителю.

К основному ассортименту продукции, которая производится на железобетонном заводе, относится:

- железобетонные сваи;
- железобетонные плиты перекрытия;
- железобетонные дорожные плиты;
- железобетонные фундаментные блоки;
- железобетонные опоры воздушных линий электропередачи;
- железобетонные заборы и аналогичные конструкции;
- прочие железобетонные изделия.

В рассматриваемой системе электроснабжения завода железобетонных изделий, имеется пять основных производственных корпусов, которые вносят основной вклад в технологический процесс производства готовой продукции.

Исходя из технологического процесса производства, к основным производственным корпусам завода железобетонных изделий относятся:

- корпус подготовки основного производства;

- формовочный корпус основного производства;
- армировочный корпус основного производства;
- корпус производства готовых изделий;
- корпус контроля качества готовых изделий.

Перечисленные производственные корпуса являются основными в системе электроснабжения завода железобетонных изделий.

Также на объекте проектирования находятся вспомогательные цеха (таблица 1).

Таблица 1 - Основные данные и систематизация цехов и участков завода железобетонных изделий по категориям надёжности

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт	Назначение цеха (участка)	Категория надёжности
1	Корпус подготовки основного производства	900,0	Основной производственный	I
2	Формовочный корпус основного производства	520,0	Основной производственный	I
3	Армировочный корпус основного производства	590,0	Основной производственный	I
4	Корпус производства готовых изделий	1000,0	Основной производственный	I
5	Корпус контроля качества готовых изделий	390,0	Основной производственный	I
6	Автомобильная служба	190,0	Основной вспомогательный	II
7	Ремонтно-эксплуатационная служба	660,0	Основной вспомогательный	II
8	Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	930,0	Основной вспомогательный	II
9	Складской комплекс	200,0	Неосновной вспомогательный	III
10	Административный корпус	150,0	Неосновной вспомогательный	III
Всего		5530,0	-	I, II, III

Учитывая приведённую «информацию, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по проектированию внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий» [8].

1.2 Анализ основной нормативной литературы для проектирования системы электроснабжения завода железобетонных изделий

Приводятся основные нормативные документы, применяемые в работе для проектирования системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

Правила устройства электроустановок, издание 7 [11], являются основным нормативно-техническим документом по проектированию любых электроустановок, в том числе и систем электроснабжения. В данном документе приведены основные нормативы и данные, которые необходимы для выбора и проверки схемных решений, сетей и электрооборудования. Приведены основные расчетные формулы для вычисления нормативных параметров, а также типовые схемы электрических соединений для применения в системах электроснабжения всех типов [11]. Очевидно, что источник [11] является основным источником информации по нормативным параметрам при выполнении работы.

В другом нормативном документе (ПТЭ) [9], основной акцент делается на вопросы обеспечения безопасной и надежной эксплуатации электроустановок систем электроснабжения различного назначения. В документе [9] подробно рассмотрены вопросы организации ремонта и обслуживания электроустановок, безопасности ремонтного и эксплуатационного персонала. Также приводятся различные справочные и нормативные данные. Отмечено, что руководствоваться данными Правилами [9] следует только в качестве дополнения к основным нормативно-техническим документам по проектированию любых электроустановок [3]. Также рассматриваются вопросы выполнения контура заземления и молниезащиты, приведены характеристики различного электрооборудования. Данная информация будет полезна при написании работы.

Также вопросы проектирования систем электроснабжения рассмотрены в ПТЭ [10]. В данном нормативном документе детально рассматриваются

вопросы проектирования электроэнергетических систем и обеспечения их максимальное энергоэффективности. Большое внимание уделено вопросам расчета технико-экономических показателей ТП и энергосистем в целом. Приведены основные расчетные формулы для определения технико-экономических показателей, справочные данные по электрооборудованию и нормативным показателям работы энергосистем [10]. Рассматриваются вопросы определения динамических и статических приведенных затрат на проектирование, а также обеспечение качественного ремонта, обслуживания и монтажа электроустановок всех типов.

В источнике [12], рассматривается расчет токов КЗ, особенности расчетов и допущения при расчетах токов КЗ для ТП в составе крупных энергосистем. Приводится статистика и классификация видов КЗ, типовые схемы замещения, расчетные формулы и справочные данные для расчетов токов КЗ. Особый акцент делается на вопросы термического действия токов КЗ [12]. Приведены рекомендации по расчетам токов КЗ с применением современного компьютерного ПО [12]. Очевидно, что расчет токов КЗ крайне важен для выбора и проверки оборудования в системе электроснабжения завода ЖБИ, поэтому данная информация будет полезна и необходима при написании работы [12].

В источнике [3] подробно рассматриваются типовые варианты схем РУВН и РУНН подстанций и распределительных устройств всех типов для применения в системах электроснабжения и даны рекомендации по их применению. Правильный выбор схемы РУ важен для обеспечения требуемой надежности электроснабжения потребителей системы электроснабжения завода ЖБИ и обеспечения ее оптимальных технико-экономических показателей [3]. Данное пособие согласовано с ОАО «ФСК ЕЭС» и приведенные схемы соответствуют ее требованиям [3].

В источнике [2] приведены требования к нормам качества электроэнергии систем электроснабжения всех типов. Рассмотрены предельно-допустимые отклонения параметров режимов и характеристик от

нормативных величин. Обоснованы нормы электромагнитной совместимости электрооборудования в системах электроснабжения потребителей [2]. Частично рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности в СЭС всех типов [2].

Также в работе разрабатываются вопросы по проектированию релейной защиты и автоматики основного электрооборудования системы электроснабжения завода ЖБИ. В источнике [5], рассматриваются вопросы исполнения современной микропроцессорной релейной защиты ЛЭП и ТП. Подробно рассмотрена методика расчета уставок РЗА, приведены расчетные формулы и справочные данные. Рассмотрены алгоритмы действия различных видов РЗА, приведены их типовые структурные схемы [5]. Рассматриваются современные микропроцессорные терминалы РЗА, их особенности их характеристики, даны рекомендации по выбору терминалов для различных мест установки. Данное пособие предназначено для студентов ВУЗов и будет полезно при выборе терминалов и уставок защит РЗА.

Таким образом, в результате проведенного краткого анализа основных источников литературы, которые используются при выполнении работы, установлены требования и нормы, обусловленные их природой:

- обеспечение питания потребителей систем электроснабжения согласно принятым и утверждённым схемам электроснабжения;
- высокое качество поставляемой электроэнергии потребителям, недопущение поступления в сеть электроэнергии с предельно-допустимыми параметрами и недопустимыми отклонениями;
- надёжность электроснабжения потребителей, отсутствие значительных аварийных режимов в системе электроснабжения;
- бесперебойность систем электроснабжения, недопущение значительного перерыва в снабжении потребителей электроэнергией (допустимый перерыв определяется категорией надёжности и детально рассмотрен в работе далее);
- применение защит, блокировок и прочих автоматических

- сигнализаторов для недопущения аварийного режима на всех звеньях электрической сети систем электроснабжения;
- автоматизация всех участков и звеньев электрической сети систем электроснабжения;
- обеспечение достаточного резервирования в схеме в случае потери электроснабжения, путём применения совокупности схемных решений, автоматики и быстродействующего оборудования.

Известно также, что системы электроснабжения делятся на внешнюю и внутреннюю части. При этом питание внешней части схемы системы электроснабжения может осуществляться от следующих источников:

- главная понизительная подстанция (ГПП) – как правило, это подстанции глубокого ввода классами напряжения 330(220,110,35)/35,10(6) кВ, в основе которых находится один или два понижающих трансформатора;
- центральный распределительный пункт (ЦРП) – применяется на тех же классах напряжения, что и ГПП, однако не имеет трансформаторов в своём составе, сооружается при наличии большого числа распределительных линий к цехам предприятия;
- распределительный пункт – сооружается при небольшом количестве распределительных линий к цехам предприятия.

Все перечисленные принципы распределения электроэнергии во внешней системе электроснабжения классического типа, представлены в работе на рисунке 2.

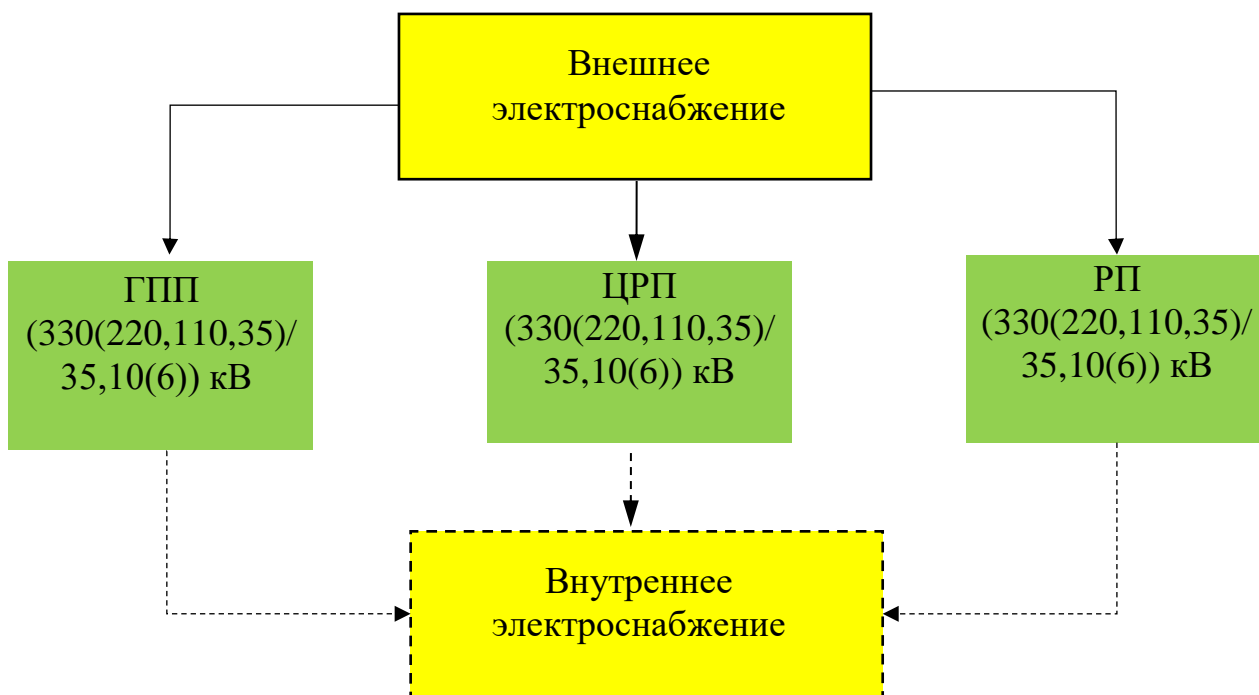


Рисунок 2 – Принципы распределения электроэнергии во внешней системе электроснабжения классического типа

Во внутренней части систем электроснабжения, осуществляется распределение электроэнергии по цехам (внутризаводская часть системы электроснабжения) и далее по конечным потребителям (внутрицеховая часть системы электроснабжения).

При этом питание внутренней части схемы системы электроснабжения может осуществляться от следующих источников:

- цеховая понизительная подстанция (ЦТП) – как правило, это подстанции с классами напряжения 6(10)/0,4 кВ, в основе которых находится один или два понижающих трансформатора;
- центральный распределительный пункт (ЦРП) – применяется на тех же классах напряжения, что и ЦРП, однако не имеет трансформаторов в своём составе, сооружается при наличии большого числа распределительных линий к цехам предприятия;
- распределительный пункт (РП) – сооружается при небольшом количестве распределительных линий к цехам предприятия;
- вводное распределительное устройство – служит для приёма и

- распределения электроэнергии на конкретном объекте или участке;
- распределительные устройства (РУ) – распределяют полученную электроэнергию от ВРУ к конечным потребителям, для силовой нагрузки применяются силовые распределительные шкафы (СРШ), для осветительной – щитки рабочего (ЩРО) и аварийного (ЩАО) освещения.

Все перечисленные принципы распределения электроэнергии во внутренней системе электроснабжения классического типа, представлены в работе на рисунке 3.

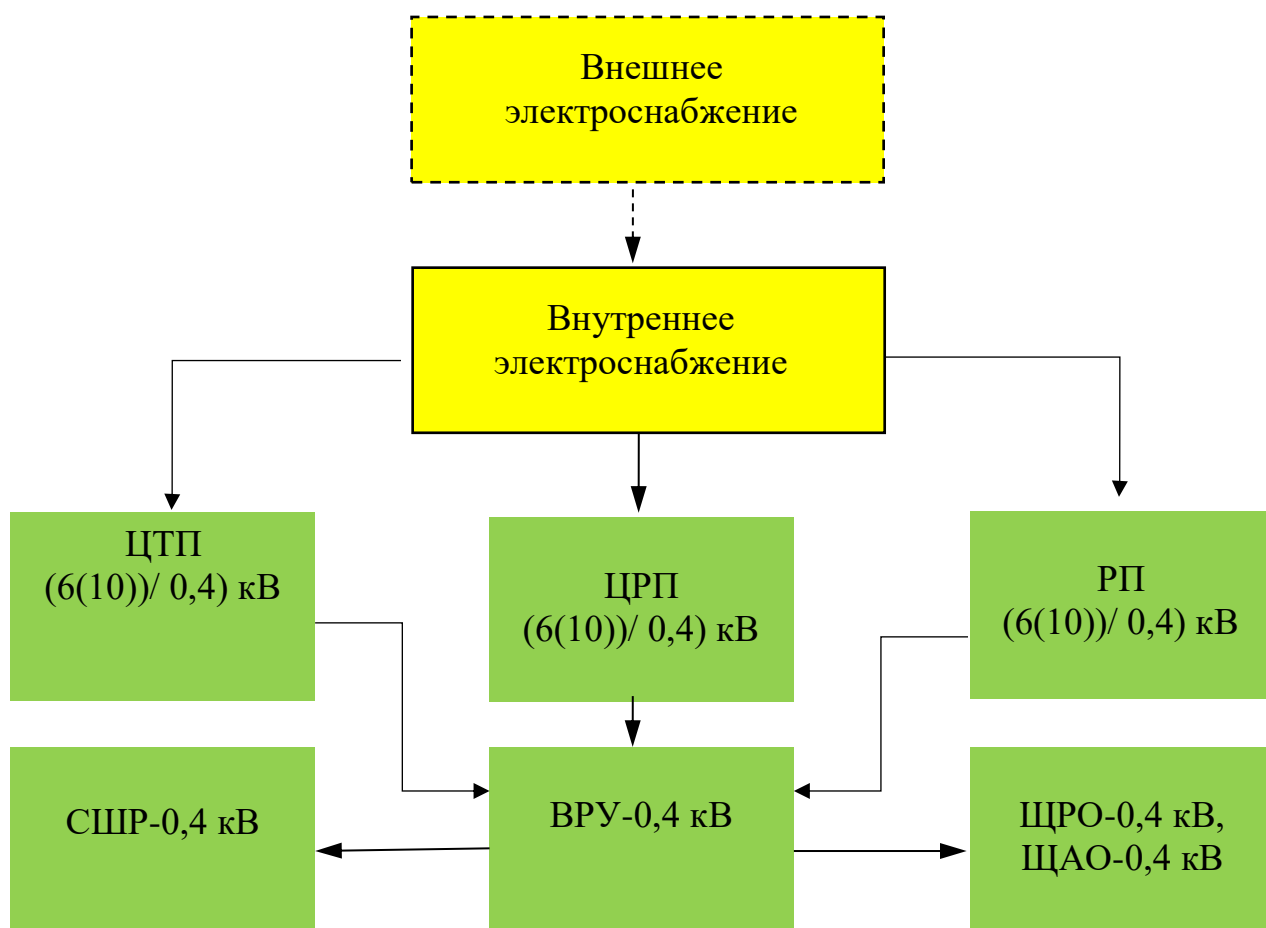


Рисунок 3 – Принципы распределения электроэнергии во внутренней системе электроснабжения классического типа

Исходя из рисунков 2 и 3, установлено основными элементами как внешней, так и внутренней систем электроснабжения классического типа, являются трансформаторные подстанции.

Известно, что к современным трансформаторным понизительным подстанциям систем электроснабжения классического типа предъявляются жёсткие требования по следующим техническим критериям, а именно:

- условия надёжности питания потребителей соответствующих категорий согласно [7];
- принцип бесперебойности передачи электроэнергии потребителям соответствующих категорий надёжности согласно принятых схем нормальных режимов;
- нормы электробезопасности при выполнении электромонтажных, ремонтных работ и работ по обслуживанию и осмотру всего оборудования подстанций;
- применение резервирования на всех ответственных участках распределительной, питающей сети и потребителей подстанции, отказ от системы «холодного» резерва (оборудование не находится в работе в нормальной схеме подстанции);
- применение секционирования на всех звеньях электрической сети в распределительных устройствах подстанции (как правило, применяется секционирование систем сборных шин распределительных устройств);
- применение стандартных разработанных схем распределительных устройств и подстанций, в которые изменения должны быть обоснованы только расчётным технико-экономическим путём;
- обеспечения коммутационной способности оборудования распределительных устройств подстанции (путём установки коммутационной аппаратуры в распределительных устройствах подстанций);
- обеспечение динамической устойчивости системы (проверяется соответствующими расчётами и моделированием всей системы, в которую входит подстанция);
- обеспечение транзита и резерва мощностей для питания других

- объектов (применяется для узловых и транзитных подстанций);
- соблюдение баланса мощностей во всех режимах, включая баланс по реактивной мощности, применение компенсирующих устройств реактивной мощности (при необходимости);
 - обеспечение защиты всех важнейших узлов и ветвей цепи подстанции, а также важнейшего оборудования (например, трансформаторов), для чего применяются аппараты защиты с установленными на их приводах устройствами релейной защиты;
 - использование термически устойчивого оборудования, способного выдерживать длительные сквозные токи короткого замыкания;
 - автоматизация силового, контрольного, измерительного оборудования путём внедрения средств и устройств автоматики в схемы нормальных режимов подстанций;
 - применение современных средств автоматизации на всех уровнях и звеньях подстанций: телеизмерений, автоматизированных систем учёта и контроля электроэнергии, автоматизированных систем управления режимами, систем управления электроснабжением подстанций;
 - ремонтнопригодность всего оборудования схемы нормальных соединений подстанции;
 - «живучесть» основных узлов, систем и оборудования трансформаторных подстанций;
 - возможность дальнейшего расширения, модернизации и реконструкции схемы главных соединений распределительных устройств подстанций;
 - применение блочных конструкций;
 - использование современного оборудования распределительных устройств подстанций (приоритет отдаётся устройствам с элегазовой и вакуумной изоляцией);
 - минимальные стоимости эксплуатации и ремонта при максимальном

технико-экономическом эффекте.

Кроме того, основным критерием, влияющим на проектирование схем электроснабжения и выбор основного оборудования, является критерий, учитывающий категорию надёжности потребителей, регламентирующий принцип резервирования.

Принципы резервирования потребителей систем электроснабжения в зависимости от категории надёжности основаны на обеспечении каждого потребителя минимально необходимым числом источников питания.

Известно, что для 1 и 2 категории надёжности их должно быть два, для третьей категории надёжности достаточно применение одного источника.

При этом особая группа первой категории предусматривает наличие резервирования с использованием третьего источника.

Данные принципы являются основными при выборе источника и схемы питания.

При этом также регламентируется время перерыва в электроснабжении: для особой и первой категории оно должно быть не больше, чем время на автоматическое включение резерва, для второй категории – не более, чем включение резервного питания (допускается ручное неавтоматическое включение), а для третьей категории перерыв в электроснабжении должен составлять не более суток [11].

Все приведённые требования должны быть учтены при дальнейшей разработке рекомендаций по проектированию схемы электрических соединений нормального режима системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

Выводы по разделу.

«В работе было приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения нового завода железобетонных изделий, с детальным их анализом и систематизацией по» [6] принадлежности к категориям надёжности, а также по условиям технологического процесса.

Обусловлена актуальность выбора темы, с последующим анализом технических данных нагрузки потребителей.

Приведён перечень основных задач, который требуется решить в работе для достижения поставленной цели.

Проведён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима систем электроснабжения завода ЖБИ.

«Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения» [14] завода железобетонных изделий, с внедрением основных групп предложенных нормативных мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, качества, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

2 Проектирование системы электроснабжения завода железобетонных изделий

2.1 Выбор напряжений схемы электроснабжения завода железобетонных изделий

Рассматриваются номинальные классы напряжения для применения во внешней и внутренней схемах электроснабжения объекта проектирования.

«В системе электроснабжения завода железобетонных изделий преобладают потребители I-й категории по надежности электроснабжения, поэтому внешнее электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой на источнике питания системы электроснабжения объекта двух силовых трансформаторов» [2].

«В качестве источника внешнего электроснабжения объекта проектирования рассматриваются три основных варианта» [5]:

- «питание от центрального распределительного пункта (далее – ЦРП)» [1];
- «питание от распределительного пункта (далее – РП)» [1];
- «питание от главной понизительной подстанции (далее – ГПП)» [1].

«Для обеспечения питания внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий, в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию» [1].

«Согласно формуле Илларионова» [15]:

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

где L – «длина питающей линии, км» [10];

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

«По условию (1) для ГПП внешней СЭС проектируемого завода

железобетонных изделий» [1]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/10 + 2500/5,53}} = 44,6 \text{ кВ.}$$

Принимается ближайшее номинальное напряжение внешней системы электроснабжения проектируемого объекта, равного значению 110 кВ (с учётом перспективы развития электрической сети промышленного района, в котором предусматривается сооружение проектируемого завода железобетонных изделий) [3]. При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого завода железобетонных изделий, исходя из той же шкалы номинальных напряжений, и учитывая рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ.

2.2 Выбор схемы электроснабжения завода железобетонных изделий

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения завода железобетонных изделий, наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 110 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ. Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого завода железобетонных изделий объекта, является двухтрансформаторная питающая ГПП-110/10 кВ. На основании полученных результатов, составляется структурная схема ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения проектируемого завода железобетонных изделий объекта (рисунок 4) [1]. Таким образом, исходя из полученных технических сведений, с учётом структурной схемы, приведённой на рисунке 4, в «работе необходимо провести обоснование и выбрать рациональные схемы

электрических соединений системы электроснабжения завода железобетонных изделий» [2]:

- схему нормальных электрических соединений РУ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ;
- схему нормальных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ;
- схему распределительной сети 10 кВ (схема питания цеховых ТП-10/0,4 кВ от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ);
- схему трансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ (схема электрических соединений 10 кВ и 0,4 кВ ЦТП);
- схему присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

Поэтапное решение данных вопросов проводится в работе далее на основе анализа литературных источников [4,20], а также важнейших результатах проведённого анализа литературы (ранее в работе).

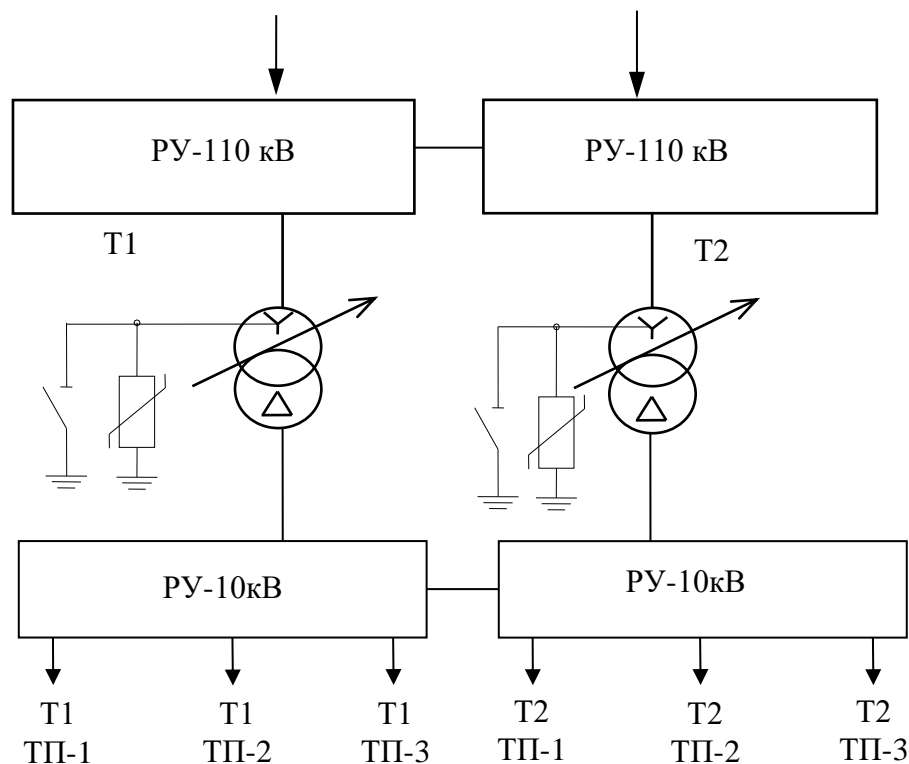


Рисунок 4 – Структурная схема ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта

Выбор указанных схем электрических соединений системы электроснабжения объекта проектирования, проводится в форме таблиц на основании требований [4]. Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-110 кВ питающей ГПП, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-110 кВ питающей ГПП-110/10 кВ

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Блок (линия-трансформатор) с разъединителем»	Схема ВН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме
«Блок (линия-трансформатор) с выключателем»		
«Два блока с выключателями неавтоматической переключкой со стороны линий»	Схема ВН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, ГПП-тупиковая	Подходит по всем критериям и параметрам
«Мостик с выключателями в цепях линий и ремонтной переключкой со стороны линий»	Схема ВН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, ГПП-ответвительная, узловая	Подходит по техническим критериям, однако по экономическому критерию является избыточно затратной

Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ завода ЖБИ представлено на рисунке 5.

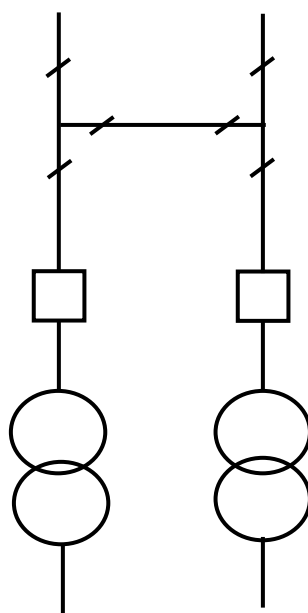


Рисунок 5 – Выбранное схемное решение для РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 2), для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [20]. Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы главных электрических соединений РУ-10 кВ питающей ГПП-110/10 кВ

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Одна несекционированная система шин»	Схема НН ГПП без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов и категории надёжности
«Одна секционированная система шин»	Схема НН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ не более 20 присоединений	Подходит по всем критериям и параметрам присоединений в РУ-10 кВ – менее 20
«Две секционированных системы шин»	Схема НН ГПП с резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ более 20 присоединений	По экономическому критерию является избыточно затратной

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 3), для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин» [4,20].

Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ завода ЖБИ представлено на рисунке 6.

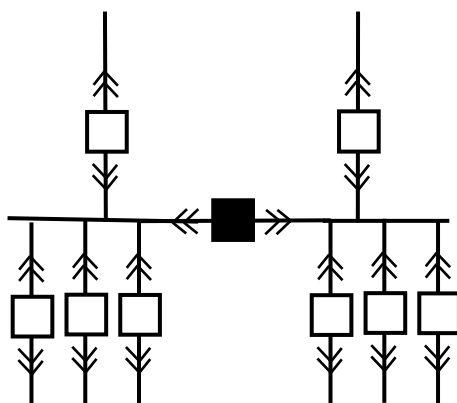


Рисунок 6 – Выбранное схемное решение для РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ завода

Результаты сравнительного анализа выбора схемы распределительной сети 10 кВ представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы распределительной сети 10 кВ

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Радиальная схема без резервирования на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе для питания потребителей 3 категории надёжности	Не подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности
«Магистральная схема без резервирования на секции шин источника питания»		
«Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Подходит по всем критериям и параметрам
«Магистральная схема с резервированием на секции шин источника питания»		Сложность выполнения, сложность выбора и согласования оборудования, сетей и уставок РЗА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы с резервированием

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 4), для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [20].

Такая схема наиболее проста в исполнении и обладает наиболее высокой надёжностью, простотой монтажа, отстройки уставок РЗА и подходит для питания ответственных потребителей.

Результаты сравнительного анализа при выборе схемы трансформаторных цеховых ТП (для питания потребителей 1 и 2 категории надёжности применяется схема с двумя трансформаторами на ЦТП, для питания потребителей 3 категории – с одним трансформатором на ЦТП), представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты сравнительного анализа при выборе схемы трансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ

Тип схемы	Условия применения	Вывод
«Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности, для питания однострансформаторных ЦТП
«Магистральная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ»	Схема распределительной сети без резервирования при одном силовом трансформаторе, либо при двух трансформаторах, питающих потребители 3 категории надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы
«Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Подходит по условиям резервирования и числу трансформаторов в схеме, а также по категории надёжности, для питания двухтрансформаторных ЦТП
«Магистральная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»	Схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности	Сложность выполнения схемы, сложность выбора и согласования уставок РЗА, меньшая надёжность, чем у радиальной схемы с резервированием

Таким образом, исходя из результатов проведённого сравнительного анализа (таблица 5), для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Также в работе проводится выбор схемы присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения завода железобетонных изделий (рисунок 7).

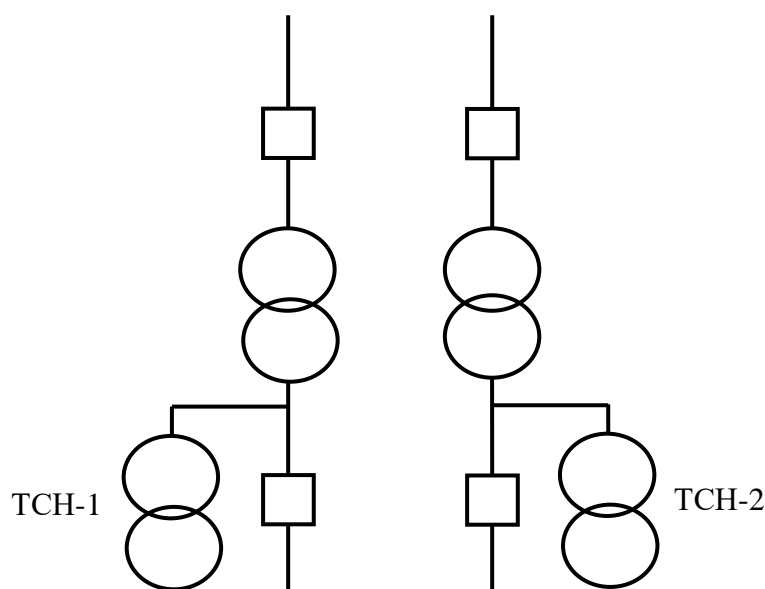


Рисунок 7 – Схема подключения ТСН

Таким образом, установлено, что все выбранные в работе схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта отвечают требованиям нормативных документов, поэтому могут быть приняты к использованию на объекте проектирования.

2.3 Расчёт электрических нагрузок предприятия

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения завода железобетонных изделий, результаты которых далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования.

Наиболее оптимальным и рациональным методом при расчёте значений электрических нагрузок, является метод коэффициента спроса, который учитывает, насколько загружены производственные мощности предприятия в зависимости от его группы принадлежности [8].

Расчёт проводится с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения завода железобетонных изделий в максимальном режиме работы системы (по фактическим данным нагрузок объекта проектирования):

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

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) проектируемого завода железобетонных изделий, кВт» [8];
 K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха» [8] (участка) проектируемого завода железобетонных изделий.

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого завода ЖБИ, квар» [6]:

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

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

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого завода железобетонных изделий, кВт» [1]:

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

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого завода железобетонных изделий» [4];

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

железобетонных изделий, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (5)$$

где $P_{уд.о}$ – «нормируемая удельная мощность освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого завода железобетонных изделий, кВт/м²» [4];

F – «площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого завода железобетонных изделий согласно генплану, м²» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого» [9] завода железобетонных изделий [1]:

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

Расчёт электрических нагрузок в работе проводится на примере корпуса подготовки основного производства системы электроснабжения завода железобетонных изделий по условиям (2) – (6).

«Расчётная активная нагрузка силовых потребителей корпуса подготовки основного производства системы электроснабжения завода железобетонных изделий по условию (2)» [4]:

$$P_p = 900 \cdot 0,8 = 720 \text{ кВт}.$$

«Расчётная реактивная нагрузка силовых потребителей корпуса подготовки основного производства системы электроснабжения» [13] завода железобетонных изделий по условию (3):

$$Q_p = 720 \cdot 0,48 = 348,71 \text{ квар.}$$

Расчётная активная нагрузка осветительных потребителей корпуса подготовки основного производства системы электроснабжения завода железобетонных изделий по условию (5):

$$P_{н.о} = 0,15 \cdot 894 \approx 134,19 \text{ кВт.}$$

Расчётная нагрузка осветительных потребителей корпуса подготовки основного производства системы электроснабжения завода железобетонных изделий по условию (4), принимается для сети освещения на стадии проектирования $K_c=1$ [15]:

$$P_{р.о} = 1 \cdot 134,19 = 134,19 \text{ кВт.}$$

Расчётная активная нагрузка силовой и осветительной сети завода железобетонных изделий суммируется, а реактивная, в виду незначительной её составляющей при выполнении искусственного освещения современными светодиодными источниками света, принимается равной расчётной реактивной нагрузке силовой сети.

С учётом данного допущения, в работе полная расчётная нагрузка силовых и осветительных потребителей корпуса подготовки основного производства системы электроснабжения завода железобетонных изделий по условию (6):

$$S_p = \sqrt{(720 + 134,19)^2 + 348,71^2} = 922,63 \text{ кВА.}$$

«Результаты расчёта электрических нагрузок выполнены аналогично и сведены в таблицу 6» [5].

Таблица 6 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения завода железобетонных изделий

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	$P_{пр},$ кВт	$P_{рс},$ кВт	$Q_{рс},$ кВар	$P_{ро},$ кВт	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
1	Корпус подготовки основного производства	900,0	720,00	348,71	134,190	854,19	348,71	922,63
2	Формовочный корпус основного производства	520,0	416,00	201,48	108,570	524,57	201,48	561,93
3	Армировочный корпус основного производства	590,0	472,00	228,60	177,660	649,66	228,60	688,71
4	Корпус производства готовых изделий	1000,0	800,00	387,46	190,428	990,43	387,46	1063,52
5	Корпус контроля качества готовых изделий	390,0	312,00	151,00	10,400	169,78	163,3	235,6
6	Автомобильная служба	190,0	123,50	126,00	13,824	137,32	126,00	186,37
7	Ремонтно-эксплуатационная служба	660,0	528,00	255,72	32,676	560,68	255,72	616,24
8	Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	930,0	744,00	360,34	66,360	810,36	360,34	886,86
9	Складской комплекс	200,0	160,00	77,49	53,038	213,04	77,49	226,69
10	Административный корпус	150,0	120,00	58,12	161,840	281,84	58,12	287,77
Всего по заводу ЖБИ		5530,0	4336,75	2755,99	1087,906	6613,10	3306,18	7508,85

Таким образом, в работе рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения завода железобетонных изделий в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы. На основе полученных расчётных значений электрических нагрузок, проводятся мероприятия по выбору оборудования в проектируемой системе электроснабжения завода железобетонных изделий объекта.

2.4 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов

Проводится выбор числа и мощности трансформаторов для установки на понизительных подстанциях проектируемой системы электроснабжения завода железобетонных изделий. Исходя из принятой схемы электроснабжения объекта проектирования, выбор трансформаторов необходимо провести на таких системных подстанциях завода [22]:

- на главной понизительной подстанции (ГПП-110/10 кВ);
- на всех цеховых трансформаторных подстанциях (в зависимости от их количества).

На ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода железобетонных изделий объекта проектирования, в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора 110/10 кВ с системой охлаждения, обладающей принудительным воздушным дутьём и регулировкой напряжения ответвлений НН под нагрузкой (система РПН). Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения завода железобетонных изделий объекта, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия.

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения завода железобетонных изделий объекта, расчётная мощность трансформатора на питающей заводской ГПП-110/10 кВ определяется из соотношения [10]:

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (7)$$

«где $k_{загр}$ – коэффициент загрузки трансформаторов, о.е.» [19];

« n – количество трансформаторов, шт.» [11].

$$S_{ном} \geq \frac{7508,85}{2 \cdot 0,7} = 5363,5 \text{ кВА.}$$

«Выбираются два трансформатора ТМН-6300/110» [14].

«Трансформатор в нормальном режиме» [11] должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7.

Это условие выражается так [15]:

$$K_{з.н.} = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,7. \quad (8)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода железобетонных изделий объекта проектирования в «нормальном режиме подходит» [12]:

$$K_{з.н.} = \frac{7508,85}{2 \cdot 6300} = 0,59 \leq 0,7.$$

В послеаварийном режиме коэффициент загрузки трансформатора не должен быть выше значения 1,4, с учётом нагрузки всей ГПП-110/10 кВ, которая будет приходиться на один силовой трансформатор, оставшийся в работе [11]:

$$K_{з.а} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,4. \quad (9)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода железобетонных изделий объекта проектирования, в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

$$K_{3.А.} = \frac{7508,85}{6300} = 1,19 \leq 1,4$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта, на ГПП-110/10 кВ целесообразно установить два трансформатора марки ТМН-6300/110. Далее в работе необходимо рассчитать суммарную нагрузку указанных ТП-10/0,4 кВ, так как они являются нагрузкой РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий. В системе внутреннего электроснабжения завода железобетонных изделий, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, в работе предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ (таблица 7).

Таблица 7 – Расчёт нагрузки и выбор цеховых ТП-10/0,4 кВ

№ цеха по плану	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности	P_p , кВт	Марка и число трансформаторов
ТП-1				
1	Корпус подготовки основного производства	I	854,19	2×ТМ-1600/10У1
2	Формовочный корпус основного производства	I	524,57	
3	Армировочный корпус основного производства	I	649,66	
Всего по ТП1		I	2028,42	
ТП2				
4	Корпус производства готовых изделий	I	990,43	2×ТМ-1600/10У1
10	Административный корпус	III	281,84	
Всего по ТП2		I, III	1171,72	
ТП3				
5	Корпус контроля качества готовых изделий	II	169,78	2×ТМ-1600/10У1
6	Автомобильная служба	II	137,32	
7	Ремонтно-эксплуатационная служба	II	560,68	
8	Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	III	810,36	
9	Складской комплекс	III	213,04	
Всего по ТП3		-	1891,18	

Для установки в системе электроснабжения объекта выбраны три цеховые ТП-10/0,4 кВ с одинаковыми трансформаторами ТМ-1600/10, что является хорошим техническим показателем, так как показывает равномерное распределение нагрузки и значительно упрощает организационные вопросы монтажа, ремонта и обслуживания данных объектов, а также синхронизирует и оптимизирует систему электроснабжения завода ЖБИ.

2.5 Расчёт токов коротких замыканий

Далее в работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-110/10 кВ проектируемой внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП и цеховых ТП.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта будут проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания (осуществляется в работе далее).

Для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта проектирования, составляется схема замещения (рисунок 8) [14].

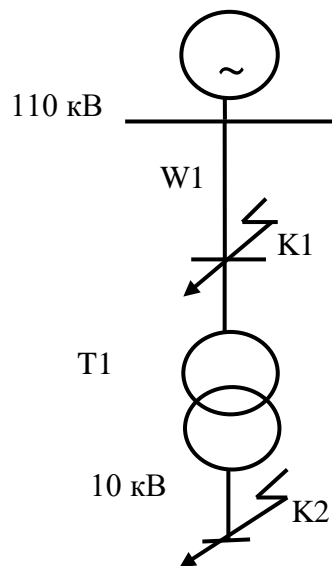


Рисунок 8 – Расчетная схема для расчета токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС завода железобетонных изделий

Таким образом, все остальные токи КЗ, по сравнению с максимальными токами КЗ в точках К1 и К2, в СЭС завода железобетонных изделий, будут меньшего значения.

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением. Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов. Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

Составляется исходная схема замещения по расчётной схеме электрической сети на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий (рисунок 9).

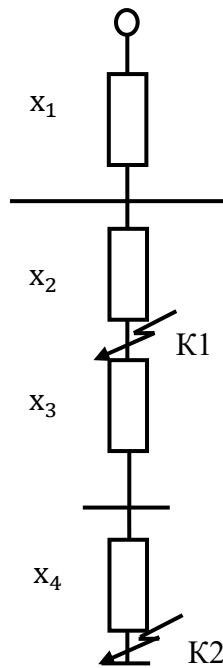


Рисунок 9 – Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС объекта

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12]. Для процесса короткого замыкания на шинах питающей подстанции энергосистемы (по данным энергосистемы): $S_{\delta} = 400 \text{ МВА}$. Величина базисного напряжения на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий «принимается больше значения номинального напряжения сети на 5%» [17].

«Базисное напряжение» [16]:

$$U_{\delta} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{кВ.} \quad (10)$$

«Для ГПП-110/10 кВ» [13]:

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

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

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

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (11)$$

«Численное значение» [10]:

$$I_{B.ВН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 2 \text{ кА.}$$
$$I_{B.НН} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 22 \text{ кА.}$$

«Сопротивление энергосистемы» [17]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{\sigma c}}. \quad (12)$$

«По условию (12)» [3]:

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

«Сопротивление питающей воздушной линии 110 кВ» [17]:

$$X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\sigma}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (13)$$

«где X_0 – удельное индуктивное сопротивление провода, Ом/км» [17];

« L - суммарная длина ВЛ, км» [17].

«По условию (13)» [7]:

$$X_2 = 0,4 \cdot 0,5 \cdot \frac{400}{115^2} = 0,006 \text{ Ом.}$$

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

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot U_{\text{квн}\%} S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (14)$$

«По условию (14)» [8]:

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 25} = 0,21 \text{ Ом.}$$

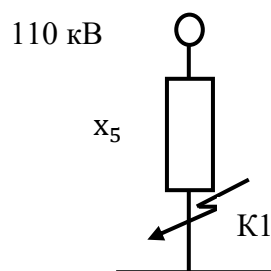
«Сопротивление обмотки НН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot U_{\text{квн}\%} S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (15)$$

«По условию (15)» [19]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot 10,5 \cdot 400}{100 \cdot 25} = 2,94 \text{ Ом.}$$

«Схема замещения для точки К1, представлена на рисунке 10» [5].



«Рисунок 10 – Схема замещения, преобразованная для точки К1» [2]

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

$$X_5 = X_1 + X_2. \quad (16)$$

«По условию (16)» [11]:

$$X_5 = 1,6 + 0,006 = 1,606 \approx 1,61 \text{ Ом.}$$

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

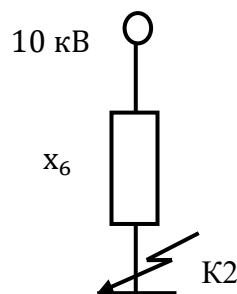
$$I_{\text{пол}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\sigma}, \quad (17)$$

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

«По условию (17)» [14]:

$$I_{\text{пол}} = \frac{1}{1,61} \cdot 2 = 1,24 \text{ кА.}$$

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 11» [16].



«Рисунок 11 – Схема замещения для расчетов в точке К2» [17]

«Расчёт для точки К2 аналогичен расчёту для точки К1» [17]:

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5. \quad (18)$$

«По условию (18)» [20]:

$$X_9 = 1,61 + 0,21 + 2,94 = 4,76 \text{ Ом.}$$

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

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_9} \cdot I_{\text{б}} \cdot K_m, \quad (19)$$

«где K_m – значение коэффициента трансформации силового трансформатора подстанции ГПП-110/10 кВ, о.е.» [17].

«По условию (19)» [20]:

$$I_{\text{по2}} = \frac{1}{4,76} \cdot 22 = 4,62 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока в расчётной точке К1» [17]:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по1}}. \quad (20)$$

«По условию (20)» [20]:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 1,24 = 2,98 \text{ кА.}$$

«Для К2» [20]:

$$i_{уд2} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_{по2}. \quad (21)$$

«По условию (33)» [22]:

$$i_{уд2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 4,62 = 9,15 \text{ кА}.$$

«Значение двухфазного тока короткого замыкания» [17]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{no}. \quad (22)$$

«В расчётной точке К1 на ГПП-110/10 кВ» [21]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,24 = 1,07 \text{ кА}.$$

«В расчётной точке К2 на ГПП-110/10 кВ» [21]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 4,62 = 4,0 \text{ кА}.$$

«Результаты расчётов токов КЗ приведены в таблице 8» [20].

«Таблица 8 – Результаты расчётов токов КЗ» [22]

Расчётная точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}$	$I_{\kappa}^{(2)}, \text{ кА}$	$i_{уд}, \text{ кА}$
К1 (выводы 110 кВ)	1,24	1,07	2,98
К2 (выводы 10 кВ)	4,62	4,00	9,15

«Результаты расчёта токов КЗ используются в работе далее при выборе и проверке аппаратов и релейной защиты» [23].

2.6 Выбор и расчёт электрических проводников

Далее в работе необходимо провести проверочный расчёт проводников СЭС системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

Все проводники в системе внешнего электроснабжения объекта – класса напряжения выше 1 кВ. Поэтому методика выбора для них будет применена также одинаковая.

Известно, что «выбор сечений проводников напряжением выше 1 кВ (питающей воздушной линии напряжением 110 кВ и распределительных кабельных линий 10 кВ)» [5] СЭС системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_p = \frac{I_p}{j_{ЭК}}, \quad (23)$$

«где I_n – расчетное значение тока линии, А» [23];

« $j_{ЭК}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [10].

«При этом» [19]:

$$I_n = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{НОМ}}, \quad (24)$$

«где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [25];

n – число рабочих цепей линии, шт.

Расчетное значение рабочего тока послеаварийного режима определяется с учётом обеспечения резервного питания от второго источника по второй цепи линии 110 кВ, и обязательном отключении нагрузки потребителей III категории надёжности в СЭС завода ЖБИ [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (25)$$

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, необходимо провести их проверку на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах работы.

«Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС объекта проектирования в нормальном режиме работы» [11]:

$$I_{доп} \geq I_p, \quad (26)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (27)$$

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

Кроме того, «по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения чем стандартное минимально-допустимое сечение для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также» [5] коронирующего разряда (для ВЛ-110 кВ).

Выполнение данного условия проверяется по следующему соотношению:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (28)$$

На основе приведённых расчётных формул согласно принятой методики выбора и проверки проводов воздушных линий электропередач, проводится выбор и проверка сечения провода питающей воздушной линии ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

Питание ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий от источника питания, осуществляется двухцепной воздушной линией электропередачи с применением провода марки АС.

В работе, для большей надежности функционирования воздушных линий, с учетом климатических условий, для установки на новой питающей ВЛ-110 кВ, выбирается провод марки АС (стандартный сталеалюминевый проводник) [7].

Расчётный ток нормального режима ВЛ-110 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, с учётом того, что на каждую из двух цепей линии приходится половина расчётной нагрузки объекта:

$$I_p = \frac{7508,85}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} \approx 19,7 \text{ А.}$$

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, с учётом обеспечения резервного питания от второго источника по второй цепи линии 110 кВ, и обязательном отключении нагрузки потребителей III категории надёжности в СЭС завода ЖБИ [11]:

$$I_a = 1,4 \cdot 19,7 = 27,6 \text{ А.}$$

«Экономически выгодное сечение провода питающей ВЛ-110 кВ» [24]:

$$F_9 = \frac{19,7}{1,1} = 17,9 \text{ мм}^2.$$

Согласно результатам расчёта, ближайшее стандартное сечение воздушной линии 110 кВ – 25 мм². Однако, данный результат нельзя применять без проверки сечения линии по условиям механической прочности и условий коронирующего разряда («короны»).

Условие проверки по минимальному сечению проводника, с учётом механических и климатических условий:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (29)$$

«Проверка выполняется» [20]:

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

«Принимается сечение провода $F_{ст} = 70 \text{ мм}^2$ марки АС-70/11 с $I_{дон} = 265 \text{ А}$ » [4].

«Проверка выполняется» [9]:

$$265 \text{ А} \geq 19,7 \text{ А}.$$

«Проверка по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [9]:

$$265 \text{ А} \geq 27,6 \text{ А}.$$

«Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий представлены в таблице 9» [18].

Таблица 9 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ

№ ТП (линии)	n, шт.	I_p, A	$I_{p.max}, A$	$F_э, мм^2$	Марка силового кабеля	$I_{доп}, A$	$\Delta U, \%$
ТП-1	2	46,2	92,5	50,0	АСБ-10 (3×50)	130,0	2,4
ТП-2	2	46,2	92,5	50,0	АСБ-10 (3×50)	130,0	1,8
ТП-3	2	46,2	92,5	50,0	АСБ-10 (3×50)	130,0	1,6

Также к проводникам в СЭС объекта относятся ошиновка и шинные конструкции распределительных устройств.

Выбор ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС завода железобетонных изделий осуществляется по значению максимального рабочего тока.

При этом проверка выбранной ошиновки проводится по току КЗ в зависимости от паспортной характеристики данных шин.

Результаты выбора и проверки ошиновки в РУ ГПП завода железобетонных изделий представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС завода железобетонных изделий

Наименование РУ ГПП	Тип/марка ошиновки	Длительный режим		Проверка
		$I_n \geq I_{p,max}, A$	Сечение $q_n, мм^2$	$q_n \geq q_{min}, мм^2$
ОРУ – 110 кВ	Гибкая/АС – 70/11	$265 \geq 27,6$	70	$70 \geq 50$
ЗРУ – 10 кВ	Жёсткая/ШАТ-60×10	$860 \geq 92,5$	600	$600 \geq 200$

Все выбранные проводники 110 кВ и 10 кВ для применения в СЭС завода железобетонных изделий, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

2.7 Выбор места расположения ГПП

Известно, что ГПП наиболее рационально размещать в центре электрических нагрузок (ЦЭН). Отклонение от центров нагрузки влечёт увеличение потерь напряжения и мощности, следовательно, они должны быть минимальными [13]. Цель построения картограммы электрических нагрузок – это визуализация информации о распределении нагрузки на электросети в определенном регионе или объекте в течение определенного периода времени.

Картограмма может помочь энергетикам и специалистам по управлению энергосистемами в планировании и оптимизации работы электросетей, прогнозировании возможных аварийных ситуаций, а также в принятии решений по увеличению мощности или расширению сети в зависимости от потребностей потребителей электроэнергии. Кроме того, картограмма может помочь предприятиям контролировать свои электрические нагрузки и оптимизировать потребление электроэнергии с целью экономии средств и снижения нагрузки на энергосистемы в периоды пиковых нагрузок.

Для расчёта ЦЭН на первом этапе проводится расчёт картограммы электрических нагрузок [13]:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m. \quad (30)$$

«Радиус окружности в принятом масштабе» [13]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi m}}, \quad (31)$$

«где $P_{p,i}$ – расчетная активная мощность i -го цеха, кВт» [9];

« m – масштаб мощности, принимается исходя из удобства геометрического построения, принимается $m = 1$ кВт/м²» [15].

Результаты расчетов картограммы нагрузок оформляются таблице 11.

Таблица 11 - Результаты расчёта картограммы нагрузок цехов и участков системы электроснабжения завода железобетонных изделий

№ цеха (участка), п/п	Наименование цеха (участка)	P_p , кВт	R_i , м	X_i , м	Y_i , м	$P_p \cdot X_i$, кВт·м	$P_p \cdot Y_i$, кВт·м
1	Корпус подготовки основного производства	854,19	16,5	40	430	34167,6	367301,7
2	Формовочный корпус основного производства	524,57	12,9	200	430	104914	225565,1
3	Армировочный корпус основного производства	649,66	14,4	370	400	240374,2	259864
4	Корпус производства готовых изделий	990,43	17,8	500	400	495215	396172
5	Корпус контроля качества готовых изделий	169,78	7,4	440	170	74703,2	28862,6
6	Автомобильная служба	137,32	6,6	170	170	23344,4	23344,4
7	Ремонтно-эксплуатационная служба	560,68	13,4	110	50	61674,8	28034,0
8	Технологический комплекс технического обеспечения основного производства	810,36	16,1	440	50	356558,4	40518,0
9	Складской комплекс	213,04	8,2	300	80	63900,0	17040,0
10	Административный корпус	281,84	9,5	50	20	14092,0	5636,8
Всего		6613,10	-	-	-	1468944	1392339

С учётом данных, полученных при расчёте картограммы нагрузок, определяются «координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) для установки в них ГПП внешней системы электроснабжения» [13]:

$$X_0 = \frac{\sum P_{p,i} X_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (32)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{p,i} Y_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (33)$$

«где X_i , Y_i – координаты центров нагрузок отдельных цехов» [13] (участков), м.

$$X_0 = \frac{1468944}{6613,1} = 222,1 \text{ м.}$$

$$Y_0 = \frac{1392339}{6613,1} = 210,5 \text{ м.}$$

В рассчитанных координатах ЦЭН (222,1 м; 210,5 м) должна быть размещена ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий.

В случае, если по технологическим либо по иным причинам разместить ГПП-110/10 кВ в определённых координатах ЦЭН невозможно, она смещается как можно ближе к ЦЭН в сторону источника питания, таким образом, уменьшая длину дорогостоящей сети 110 кВ и потери напряжения и мощности в ней.

2.8 Выбор основного оборудования и его проверка

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения завода железобетонных изделий, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-35/10 кВ.

РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ. Такая схема удобная, надёжная и практичная.

Все выбранные аппараты проверяются на соответствие условиям цепи в максимальном режиме по значениям максимального рабочего тока и тока трёхфазного КЗ.

Выбору и проверке в работе подлежат такие аппараты системы электроснабжения:

- высоковольтные выключатели – устанавливаются во всех распределительных устройствах питающей ГПП-110/10 кВ (110 кВ, 10 кВ);

- разъединители – применяются только в ОРУ-110 кВ на ГПП-110/10 кВ (в РУ-10 кВ заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-35/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

Далее проводится выбор и проверка электрических аппаратов для установки в РУ ГПП-110/10 кВ СЭС завода железобетонных изделий.

Основными аппаратами защиты и коммутации в СЭС завода железобетонных изделий являются выключатели высокого напряжения. Известно, что выключатели высокого напряжения – это основные аппараты для защиты и коммутации электрической сети и единственные аппараты на подстанции, которыми можно отключать сеть под нагрузкой, а также они отключают сеть при возникновении ненормальных режимов (в частности, токов КЗ).

Поэтому к выключателям предъявляются повышенные требования по коммутационной способности, а также по стойкости к сквозным токам КЗ и ударным токам.

Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (34)$$

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

- по максимальному рабочему току:

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

где $I_{\text{раб. макс}}$, I_n – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя).

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [23]:

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

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

где « $I_{\text{пт}}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

« $I_{\text{откн.н}}$ – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА (параметр завода-изготовителя)» [18];

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

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

где « $i_{\text{ат}}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [7];

« β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [7];

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

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

где « $t_{\text{з. мин}}$ – минимальное время действия релейной защиты, с» [7];

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

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

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

где « $i_{np.c}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [18];

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

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

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

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$ » [18];

« I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$ » [18];

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

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

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

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС объекта, высоковольтные выключатели напряжением 110 кВ и 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- высоковольтные выключатели ввода (вводные высоковольтные выключатели) – служат для приёма электроэнергии от энергосистемы с последующей её передачей на два силовых трансформатора подстанции (сеть 110 кВ), а также приёма и передачи электроэнергии от силового трансформатора на напряжении 10 кВ, в распределительную сеть РУ-10 кВ (сеть 10 кВ);

- высоковольтный выключатель секционного соединения (секционный выключатель) – необходим для обеспечения резервирования в схеме РУ-10 кВ на ГПП-35/10 кВ, автоматически включая питание оборудования от второй системы сборных шин 10 кВ;
- высоковольтные выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – необходимы для обеспечения защиты и коммутации отходящих линий 10 кВ для питания ЦТП-10/0,4 кВ.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-110/10 кВ СЭС объекта проектирования будут также различными.

Для защиты и коммутации оборудования подстанции, на ГПП-110/10 кВ по приведённым условиям (33)-(39), с учётом рассчитанных параметров электрической сети 110 кВ, проводится выбор выключателя высокого напряжения для установки на ГПП-110/10 кВ в РУ-110 кВ.

Предварительно выбирается выключатель типа ЛТВ-145D1/В-40/3150 [19] и производится его проверка по условиям (34)-(40).

По условию (34):

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

По условию (35):

$$I_{ном} = 3150 \text{ А} > I_{расч} = 46,3 \text{ А}.$$

По условию (36):

$$I_{откл} = 40 \text{ кА} > I_{к1} = 1,24 \text{ кА}.$$

По условию (37):

$$\begin{aligned} & \sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{НОМ} / 100) = \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = \\ & = 35 > \sqrt{2} \cdot 2,98 \cdot (1 + e^{-\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 14,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

По условию (39):

$$i_{пр.свб} = 40 \text{ кА} > i_{ук1} = 2,98 \text{ кА}.$$

По условию (40):

$$I_t^2 = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} > I_k^2 (t_{откл} + T_a) = 1,24^2 \cdot (5 + 0,02) = 7,71 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Таким образом, окончательно принимается выключатель типа ЛТВ-145D1/B-40/3150 для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

Выбор выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ осуществлён аналогично выбору выключателей напряжением 110 кВ по условиям (33)-(39).

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, высоковольтные выключатели напряжением 10 кВ подразделяются на следующие типы:

- выключатели ввода (вводные выключатели);
- выключатели секционного соединения (секционные выключатели);
- выключатели отходящих линий (линейные выключатели).

С учётом того, что для всех перечисленных типов выключателей технические условия и параметры электрической сети будут различными, что сказывается в различиях их рабочих токов, следовательно, в работе проводится выбор каждого из указанных типов выключателей отдельно.

Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (вводной).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 509,8 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (секционный).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 364,2 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (линейные).	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 129,5 \text{ А}$
	$I_{\text{откл.ном}} \geq I_{\text{п.о.}}^{(3)}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{п.о.}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{а.ном}} \geq i_{\text{ат}}^{(3)}$	$i_{\text{а.ном}} = 20 \text{ кА}$	$i_{\text{ат}}^{(3)} = 4,62 \text{ кА}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и линейных соединениях в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, удовлетворяют условиям выбора и проверок.

Разъединитель – это аппарат для обеспечения видимого разрыва с целью безопасного проведения работ в электроустановках.

В работе разъединителя устанавливаются в РУ-110 кВ, которое конструктивно сооружается открытым.

В работе для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий выбирается разъединитель марки РГ-110/1000У1 (таблица 13).

Таблица 13 – Результаты выбора разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Разъединитель РГ-110/1000У1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 46,3 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,98 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 100^2 \cdot 0,3 = 3000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,98^2 \cdot 0,3 = 2,66 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Окончательно для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий выбирается разъединитель марки РГ-110/1000У1.

Результаты сравнительного технического выбора и проверки данного трансформатора тока, представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТВТ-110-У3	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 300 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 46,3 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 120 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,98 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 120^2 \cdot 1 = 14400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,98^2 \cdot 0,3 = 2,66 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

«Производится выбор трансформатора тока для установки на стороне напряжением 10 кВ» [18].

«Предварительно выбирается трансформатор тока для установки в РУ-10 кВ марки ТЛО-10-У3 (таблица 15)» [12].

Таблица 15 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТЛО-10-УЗ	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 509,8 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 80^2 \cdot 1 = 6400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

В работе трансформаторы напряжения устанавливаются в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

«Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий представлены в таблице 16» [11].

Таблица 16 - Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор напряжения НАМИ-10	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 509,8 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 60 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 9,15 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 60^2 \cdot 1 = 3600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 4,62^2 \cdot 0,3 = 6,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Ограничители перенапряжения (далее – ОПН), устанавливаются на места, где ранее были установлены вентильные разрядники (на воздушных линиях – защита от атмосферных перенапряжений), а также в ячейках современных распределительных устройств напряжением 6(10)-110 кВ с кабельными и шинными вводами (для защиты от внутренних перенапряжений).

ОПН выбирают по номинальному напряжению сети, в которую они непосредственно устанавливаются (таблица 17).

Таблица 17 – Результаты выбора и проверки ограничителей перенапряжения

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Ограничитель перенапряжения ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
Ограничитель перенапряжения ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 10 \text{ кВ}$

В результате проведения расчётного выбора и проверок электрических аппаратов в проектируемой системе электроснабжения завода железобетонных изделий, установлено, что всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-110/10 кВ СЭС объекта удовлетворяет всем требуемым условиям и может быть принято для установки на объекте.

Выводы по разделу.

В работе проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по проектированию системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

Обосновано, что в работе необходимо применять главную понизительную подстанцию с высшим классом напряжения 110 кВ и низшим классом напряжения 10 кВ и двумя силовыми трансформаторами.

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения завода железобетонных изделий (объекта проектирования):

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;

- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Расчитаны «электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы» [14] системы электроснабжения объекта. На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения объекта, на ГПП-110/10 кВ целесообразно установить два силовых трансформатора ТМН-6300/110.

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС объекта (всего предусмотрено три ЦТП с установкой на каждой из них двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1600/10). Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения объекта проектирования, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка сталеалюминиевого провода АС-70/11. Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ-10 (3×50). Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП: для применения в ОРУ-110 кВ принята гибкая ошиновка, выполненная с применением проводов марки АС-70/11, а в РУ-10 кВ – ошиновка жёсткого типа марки ШАТ-60×10. Осуществлён выбор места расположения ГПП на территории предприятия. Установлено, что ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий должна быть размещена в рассчитанных координатах ЦЭН (222,1 м; 210,5 м). Выбраны аппараты РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС завода железобетонных изделий.

3 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Далее в работе выбираются уставки РЗиА для защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий. Вся РЗиА выполняется на базе современных микропроцессорных устройств «типа БЭМП РУ (производитель – АО «Чебоксарский электроаппаратный завод»)). Для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ-ТТ2, в которую входят основные релейные защиты» [16] силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

Для данной цели на первом этапе необходимо провести расчёт максимальных рабочих токов, а также выбрать первичный ток трансформатора тока и, с учётом этого, провести расчёт коэффициента трансформации.

Исходя из этого, известно выражение для расчёта максимальный рабочий ток в схеме с резервированием трансформаторов [13]:

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{раб.макс}(н)} + I_{\text{раб.макс}(д)}, \quad (42)$$

где $I_{\text{раб.макс}(н)}$, $I_{\text{раб.макс}(д)}$ – соответственно, рабочие максимальные токи основной и дополнительной нагрузки, А.

При этом [14]:

$$I_{\text{раб.макс}(н)} = K_o \cdot K_з I_{\text{max}}, \quad (43)$$

«где I_{max} – максимальный расчётный ток силового трансформатора ГПП-110/10 кВ в нормальном режиме» [16];

« K_o и $K_з$ – соответственно коэффициент одновременности и коэффициент загрузки» [16].

С учётом схемы с резервированием, принимается равенство основной и дополнительной нагрузки для трансформаторов ГПП-110/10 кВ [22]:

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = I_{\text{раб.макс(д)}} \quad (44)$$

Проводится определение максимального рабочего тока силового трансформатора ГПП-110/10 кВ. На стороне ВН (110 кВ):

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 33 = 23,8 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс(д)}} = I_{\text{раб.макс(н)}} = 23,8 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 23,8 + 23,8 = 47,6 \text{ A.}$$

На стороне НН (10 кВ):

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot 364,2 = 262,2 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс(д)}} = I_{\text{раб.макс(н)}} = 262,2 \text{ A.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 262,2 + 262,2 = 524,4 \text{ A.}$$

На сторонах ВН и НН трансформаторов ГПП-110/10 кВ принимается соединение ТТ и реле в схему «неполная звезда», имеющая ряд преимуществ по сравнению с другими схемами соединения ТТ и реле (таблица 18).

Таблица 18 – Результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий

Номинальное напряжение	Элемент (присоединение)	$I_{\text{раб.макс}}, \text{ A}$	$I_{\text{ТТ}}, \text{ A}$	K_{T}
110 кВ	Силовые трансформаторы (сторона ВН)	47,6	50	10
10 кВ	Силовые трансформаторы (сторона НН)	524,4	600	120

Далее в работе, на основании полученные результаты выбора первичных токов и коэффициентов трансформации ТТ, использующихся для дальнейшего выбора уставок РЗА силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, проводится выбор уставок РЗА трансформаторов подстанции.

В качестве защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий «от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью» [18].

Ток срабатывания этой защиты определяется путём отстройки от тока небаланса [25]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot (I_{раб.макс.НН} - I_{раб.макс.ВН}), \quad (45)$$

где $I_{раб.макс.НН}$, $I_{раб.макс.ВН}$ – соответственно максимальный рабочий ток на сторонах НН (10 кВ) и ВН (110 кВ) силового трансформатора ГПП-110/10 кВ, А;
 K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Коэффициент чувствительности дифференциальной токовой защиты должен удовлетворять условию [24]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.нач.мин}}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5. \quad (46)$$

Ток срабатывания продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ:

$$I_{с.з} \geq 1,3 \cdot (524,4 - 47,6) = 619,8 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий удовлетворяет требованиям [14]:

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{1070}{619,8} = 1,7 > 1,5.$$

Окончательно принимается для продольной дифференциальной токовой защиты трансформаторов ГПП-110/10 кВ $I_{\text{с.з}} = 619,8$ А.

Проводится выбор уставки защиты от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

Известно, что в двухобмоточных силовых трансформаторах защита от перегрузки устанавливается со стороны питания [13], значит, в работе данная защита устанавливается на стороне 110 кВ.

Для микропроцессорных блоков защит, защита от перегрузки отстраивается от максимального рабочего тока на стороне ВН силового трансформатора [14]:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_n \cdot I_{\text{раб.макс.ВН}}, \quad (47)$$

где K_n – коэффициент надёжности [13,14].

Ток срабатывания защиты от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ:

$$I_{\text{с.з}} \geq 1,05 \cdot 47,6 \approx 50 \text{ А.}$$

Защита от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий выполняется с

действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

Проводится выбор уставки максимальной токовой защиты (МТЗ) трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий. В работе МТЗ устанавливается как на стороне ВН (110 кВ), так и на стороне НН (10 кВ) силового трансформатора, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность. Следовательно, в работе на силовом трансформаторе принимается два комплекта МТЗ. Ток срабатывания МТЗ силового трансформатора должен удовлетворять условиям [19], приведённым ниже.

Первое условие заключается в отстройке от максимального рабочего тока трансформатора [23]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}, \quad (48)$$

где $K_{отс}$ - коэффициент отстройки;

$K_{сзн}$ - коэффициент самозапуска.

Второе условие – МТЗ «не должна срабатывать в момент подключения дополнительной нагрузки» [22]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot (I_{раб.макс(н)} + K_{сзн} \cdot I_{раб.макс(д)}). \quad (49)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [1]:

$$K_{ч} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.мин}^{(к)}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (50)$$

«где $I_{к\ мин}^{(к)}$ - минимальный ток при КЗ в конце защищенной линии» [16];

« $K_{сх}^{(3)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле» [16];

« $K_{сх}^{(к)}$ - коэффициент схемы соединения ТТ и реле при КЗ» [16];

« $I_{c.3}$ - ток срабатывания защиты» [24].

«Коэффициент чувствительности для рассчитываемой МТЗ силового трансформатора должен быть не менее 1,2» [24].

По приведённым выше условиям, далее в работе проводится расчёт МТЗ на сторонах 110 кВ и 10 кВ силового трансформатора ГПП-110/10 кВ.

Для комплекта МТЗ силового трансформатора ГПП-110/10 кВ на стороне ВН (110 кВ):

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 47,6 = 83,8 \text{ A},$$

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot (23,8 + 1,6 \cdot 23,8) = 68,1 \text{ A}.$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне ВН, $I_{c.3} = 83,6 \text{ A}$.

«Коэффициент чувствительности МТЗ трансформатора на стороне ВН удовлетворяет требованиям» [17]:

$$K_u = \frac{1}{1} \cdot \frac{1070}{83,6} = 12,8 > 1,2.$$

Окончательно принимается для МТЗ силового трансформатора на стороне ВН $I_{c.3} = 860 \text{ A}$.

Так как селективность МТЗ обеспечивается подбором времени срабатывания (со стороны источника питания оно будет минимальное), принимается время срабатывания МТЗ силового трансформатора на стороне ВН, равное $t_{c.3} = 0,5 \text{ с}$. Для комплекта МТЗ силового трансформатора ГПП-110/10 кВ на стороне НН (10 кВ):

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot 1,6 \cdot 524,4 = 922,9 \text{ A};$$

$$I_{c.3} \geq 1,1 \cdot (262,2 + 1,6 \cdot 262,2) = 749,9 \text{ A}.$$

Принимается для МТЗ трансформатора на стороне НН, $I_{c.3} = 922,9$ А.

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

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{4000}{922,9} = 4,33 > 1,2.$$

«Окончательно принимается для МТЗ силового трансформатора на стороне НН $I_{c.3} = 922,9$ А, $t_{c.3} = 1,0$ с» [25].

В качестве газовой защиты силовых трансформаторов марки ТМН-6300/110, установленных на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, 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]. Принцип действия газового реле для защиты силового трансформатора основан на контроле давления газа. Разогретые газы стремятся попасть в расширитель устройства, проходя через корпус реле. В случае слабого нагрева, давление газа будет нарастать постепенно и газовое реле даст предупреждающий сигнал, при этом не отключая силовой трансформатор. В случае интенсивного давления газа, которое свидетельствует о сильном разогреве, что, как правило, бывает связано с внутренним КЗ или явлением «пожара стали» магнитопровода, данное газовое реле отключает силовой трансформатор.

Выводы по разделу.

В разделе проведён выбор современных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики.

Проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ГПП (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты).

4 Расчёт заземления и молниезащиты

4.1 Расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ

Проводится расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

«Для молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий принимается четыре стержневых молниеотвода, установленные по периметру понизительной подстанции» [7].

Зона их защиты определяется по известному выражению [17]:

$$r_X = h_a \cdot \left[1,6 / \left(1 + (h_X / h) \cdot p \right) \right]. \quad (51)$$

$$h_a = h - h_X. \quad (52)$$

Минимальная ширина зоны защиты [17]:

$$b_X = 4 \cdot r_X \cdot \left[(7 \cdot h_a - a) / (14 \cdot h_a - a) \right], \quad (53)$$

где a – расстояние между молниеотводами, м.

«Должно соблюдаться условие» [17]:

$$D \leq 8 \cdot h_a \cdot p, \quad (54)$$

где D – наибольшая диагональ четырёхугольника, м.

Зона защиты молниеотводов спроектированной молниезащиты ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий по приведённым выше условиям:

$$r_X = (19 - 11) \cdot \left[1,6 / \left(1 + (11/19) \cdot 1 \right) \right] = 8,11 \text{ м.}$$

$$b_X^I = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[(7 \cdot 8 - 21) / (14 \cdot 8 - 21) \right] = 12,48 \text{ м.}$$

$$b_X^{II} / 2 = 2,96 \text{ м.}$$

$$b_X^I / 2 = 6,24 \text{ м.}$$

$$b_X^{II} = 4 \cdot 8,11 \cdot \left[(7 \cdot 8 - 43,5) / (14 \cdot 8 - 43,5) \right] = 5,92 \text{ м.}$$

$$D_1 \leq 8 \cdot 8 \cdot 1 = 64 \text{ м.}$$

$$D_1 = \sqrt{21^2 + 43,5^2} = 48,3 \leq 64 \text{ м.}$$

Таким образом, в работе осуществлён расчёт молниезащиты основных объектов данной главной понизительной подстанции 110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий с применением основных четырёх вертикальных молниеотводов, способных обеспечить защиту объектов подстанции от прямых ударов молнии и отвести возникшее атмосферное перенапряжение через заземление в грунт.

Схема спроектированной молниезащиты главной понизительной подстанции 110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, которая выполнена с применением основных четырёх вертикальных молниеотводов, представлена в графической части работы.

4.2 Расчёт заземления

Производится расчёт контура защитного заземления питающей ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий согласно методике [18].

«Расчётное удельное сопротивление грунта на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий» [7]:

$$\rho_p = \rho_{zp} \cdot K_u, \quad (55)$$

где ρ_{zp} – значение удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом.

$$\rho_p = 7,5 \cdot 1,6 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Определяется расчётное сопротивление заземления трубы» [6]:

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (56)$$

«где h – расстояние до середины заземлителя, м» [15].

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{120}{2,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,07} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 76,45 \text{ Ом}.$$

«Расчётное число одиночных заземлителей» [7]:

$$N_3 = \frac{R_3}{R_{3,н}}, \text{ шт}. \quad (57)$$

$$N_3 = \frac{76,45}{10} = 7,65 \text{ шт}.$$

Принимается целое число, т.е. $N_3 = 14$ шт.

Расстояние между заземлителями в проектируемом контуре заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий:

$$L_T = l \cdot m, \text{ м}. \quad (58)$$

$$L_T = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ м}.$$

Количество заземлителей в проектируемом контуре заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, с учётом коэффициента экранирования [25]:

$$N_{з.э} = \frac{R_з}{R_{з.н} \cdot \eta_э}, \text{шт.} \quad (59)$$

$$N_{з.э} = \frac{76,45}{10 \cdot 0,2} = 38,225 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается к установке в контуре заземления рассматриваемой в работе ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий, сорок вертикальных заземлителей (электродов). Конструктивно контур заземления выполняется в форме сетки прямоугольной формы. Такое расположение вертикальных и горизонтальных электродов является наиболее оптимальным [1]. Кроме того, в случае обрыва одного соединения (горизонтального электрода) контур заземления не выходит из строя за счёт того, что соседние электроды будут «резервировать» друг друга. Расстояние между вертикальными электродами в контуре заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий составляет 2,5 м. Конструктивное выполнение контура заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий показано в графической части работы.

Выводы по разделу.

В разделе осуществлён расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ с использованием четырёх вертикальных молниеотводов, обеспечивающих достаточный радиус защиты от прямых ударов молнии. Рассмотрено обеспечение безопасности жизнедеятельности на объекте проектирования с расчётом защитного заземления в виде прямоугольной сетки, состоящей из сорока вертикальных электродов для защиты обслуживающего персонала.

Заключение

«В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения завода железобетонных изделий» [7].

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, проведено аргументированное обоснование и выбраны рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения завода железобетонных изделий объекта:

- для применения в РУ-110 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»;
- для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин»;
- для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)»;
- для применения на однострансформаторных ЦТП, питающих потребители 3 категории надёжности, принимается «Радиальная схема без резервирования на секции шин РУ-10 кВ», а для применения на двухтрансформаторных ЦТП, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ».

Рассчитаны электрические нагрузки и токи короткого замыкания в максимальном режиме работы системы электроснабжения объекта.

На основании полученных результатов, установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения объекта, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110).

Выбраны и проверены номинальные мощности трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ внутренней СЭС объекта (всего предусмотрено три ЦТП с установкой на каждой из них двух силовых трансформаторов марки ТМГ-1600/10).

Согласно дальнейшей перспективе по развитию системы электроснабжения объекта проектирования, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка сталеалюминиевого провода АС-70/11.

Для питания ЦТП от РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ–10 (3×50).

Выбрана и проверена ошиновка для применения в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП СЭС объекта проектирования: для применения в ОРУ-110 кВ, принята гибкая ошиновка, выполненная с применением проводов марки АС-70/11, а в РУ-10 кВ – ошиновка жёсткого типа марки ШАТ-60×10.

Осуществлён выбор места расположения ГПП на территории предприятия.

Установлено, что ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения завода железобетонных изделий должна быть размещена в рассчитанных координатах ЦЭН (222,1 м; 210,5 м).

Произведён расчёт токов короткого замыкания во внешней системе электроснабжения завода железобетонных изделий.

Осуществлён выбор современных электрических аппаратов ГПП, для их установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ подстанции.

На стороне 110 кВ выбраны и проверены: выключатели ЛТВ-145D1/В-40/3150, разъединитель марки РГ-110/1000У1, трансформаторы тока ТВТ-110-У3, ограничители перенапряжения ОПН-У/TEL-110/84-УХЛ1.

На стороне 10 кВ выбраны и проверены: выключатель вакуумные ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (вводные, секционный и линейные), трансформаторы тока ТЛО-10-У3, трансформаторы напряжения НАМИ-10, а также ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ.

Проведён выбор современных микропроцессорных блоков релейной защиты и автоматики.

«Для применения на подстанции выбрана модификация блока РЗиА марки БЭМП РУ-ТТ2, в которую входят основные релейные защиты» [7] силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода железобетонных изделий.

Проведён расчёт уставок основных защит трансформаторов ГПП (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, газовой защиты).

В работе осуществлён расчёт молниезащиты ГПП-110/10 кВ с использованием четырёх вертикальных молниеотводов, обеспечивающих достаточный радиус защиты от прямых ударов молнии.

Рассмотрено обеспечение безопасности жизнедеятельности на объекте проектирования с расчётом защитного заземления в виде прямоугольной сетки, состоящей из сорока вертикальных электродов для защиты обслуживающего персонала.

Список используемых источников

1. Батяновский Э. И. Технология производства железобетонных изделий: учебное пособие / Э. И. Батяновский. Минск: Вышэйшая школа, 2019. 319 с.
2. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 26.01.2023).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 26.02.2023).
4. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие / С. А. Ерошенко. УрФУ им. Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд. УрФу, 2019. 104 с.
5. Захаров О.Г. Цифровые устройства релейной защиты. Алгоритмы и уставки. М.: Энергоиздат, 2018. 640 с., ил.
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
8. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 26.02.2023).
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок

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

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

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

12. 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: 25.02.2023).

13. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.

14. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.

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

16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

18. Технология производства ЖБИ. [Электронный ресурс]: URL: <http://www.probeton.su/info/raboty/tekhnologija-proizvodstva-zhbi/> (дата обращения: 25.02.2023).

19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.

20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.

21. Barker R. CASE Method. Entity-Relationship Modeling. N.Y.: Addison-Wesley Publishing Company, 2021. 112 p.

22. Bunn D.W. Experimental study of a Bayesian method for daily electricity

load forecasting. Appl. Math. Model. 2020. №2. P. 113 – 116.

23. Farmer E.D. Development of on-line load prediction techniques with trails in the south-western region of the CEGB. Proc. EE. 2018. 115 p.

24. Galiana F. Identification of stochastic electric load models from physical data IEEE Trans. AC. 2019. №6. P. 887-893.

25. Irisarri G.D. On-line load forecasting for energy control center application. Ibid., 2022. №1. P. 71 – 78.