

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение завода холодильного оборудования

Обучающийся

А. Н. Трубецкая

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. А. Г. Сорокин

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

Тольятти 2023

Аннотация

«Работа посвящена разработке проекта системы электроснабжения завода холодильного оборудования, который осуществляется с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [3].

«Выбраны основные составляющие объекта исследования, а также его составные части (силовые трансформаторы ГПП, цеховых ТП, электрические сети, основная аппаратура распределительных устройств)» [5].

Рассчитаны и выбраны рациональные сечения проводников в системе электроснабжения объекта проектирования, включая питающие и распределительные сети. Выбраны устройства релейной защиты на объекте проектирования.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской объёмом 70 страниц, содержащая 10 рисунков и 14 таблиц, а также шестью чертежами формата А1.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных завода холодильного оборудования	6
2 Проектирование системы электроснабжения завода холодильного оборудования.....	14
2.1 Выбор напряжений в системе электроснабжения завода холодильного оборудования.....	14
2.2 Выбор схемы электроснабжения завода холодильного оборудования .	15
2.3 Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения завода холодильного оборудования.....	20
2.4 Выбор силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения завода холодильного оборудования	27
2.5 Расчёт токов коротких замыканий	34
2.6 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения_завода холодильного оборудования.....	42
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов системы_электроснабжения завода холодильного оборудования	48
3 Выбор устройств и компоновки релейной защиты завода холодильного оборудования.....	61
Заключение	66
Список используемых источников.....	69

Введение

Известно, что заводы холодильного оборудования – это перспективные предприятия, особенно в условиях быстрого роста потребления и роста экономики.

Они имеют такие перспективы развития:

- развитие новых технологий: в зависимости от того, на какой стадии технологического развития находится завод, можно рассмотреть возможность разработки новых технологий для производства холодильного оборудования, таких как использование более эффективных компрессоров, более точных терморегуляторов;
- расширение линейки продукции: разработка новых моделей и типов холодильного оборудования может привести к расширению линейки продукции, что расширяет потенциальную покупательскую аудиторию;
- повышение качества продукции: конкуренция на рынке холодильного оборудования может быть очень высокой, поэтому необходимо выделяться на фоне других производителей, следовательно, завод должен стремиться к постоянному обеспечению высокого качества производимой продукции.

«Основной целью работы является разработка проекта внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования, осуществляемая с целью ввода данного объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [5].

«Объектом исследования в данной работе является электрическая часть внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования» [18].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема внешнего электроснабжения объекта исследования, а также её составные части» [3].

Известно, что современные предприятия производственного цикла предприятий по производству холодильной техники, к которым относится проектируемый в работе завод холодильного оборудования, «являются энергоёмкими подразделениями, требующие значительных энергетических ресурсов» [8].

Для реализации основной цели работы, решаются следующие основные поставленные задачи:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением характеристик потребителей и технологического процесса завода холодильного оборудования;
- определение расчетных нагрузок по отдельным цехам (подразделениям) и в целом по системе внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования;
- выбор количества, типа и номинальной мощности цеховых трансформаторов на питающей ГПП и цеховых ТП в проектируемой системе внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования;
- анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории завода холодильного оборудования;
- расчет токов короткого замыкания в максимальном режиме работы системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования;
- выбор электрических аппаратов и проводников на ГПП системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования;
- выбор устройств релейной защиты системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования.

Указанные основные мероприятия по проектированию системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования решаются в работе далее.

1 Анализ исходных данных завода холодильного оборудования

В «работе разрабатывается проект системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования, являющимся отдельным самостоятельным подразделением производственного цикла крупного» [11] промышленного узла.

Увеличение спроса на изделия бытовой техники, а также близость логистических цепей и наличие необходимых производственных мощностей, обуславливает целесообразность ввода в эксплуатацию системы электроснабжения данного объекта.

Рассматриваемый в работе объект проектирования (завод холодильного оборудования), выполняет роль предприятия, обеспечивающего производство и реализацию промышленным и бытовым потребителям различной продукции холодильной и криогенной техники.

Продукция завода холодильного оборудования может присутствовать в различных видах холодильных систем и оборудования, в том числе:

- промышленные холодильные камеры и оборудование для хранения и охлаждения пищевых продуктов, лекарственных препаратов и других продуктов;
- коммерческие холодильные витрины и шкафы для супермаркетов, магазинов и предприятий, в которых обнаруживаются продукты;
- морозильные камеры и шкафы для заморозки продуктов, в том числе мороженого, мяса, рыбы и других замороженных продуктов;
- холодильные установки для транспортировки продуктов на дальние следствия;
- кондиционеры и системы вентиляции для общественных и жилых помещений;
- холодильные установки для промышленных продуктов, например, в производстве молочных продуктов, кондитерских изделий и других продуктов;

- системы обогрева и охлаждения воды, используемые в промышленности, медицинских учреждениях, офисах и жилых домах;
- оборудование для бытового использования, например, холодильники, морозильники, кондиционеры и вентиляционные системы для домашнего использования.

Продукция завода может быть разнообразной, в зависимости от предпочтений клиентов и рынков, на которых работает компания.

Исходя из технологических требований, рассматриваемое в работе производство холодильной и криогенной техники, включает совокупность цехов и участков для выполнения технологических операций по производственному циклу готовой продукции.

На проектируемом заводе холодильного оборудования выпускается широкий ассортимент продукции.

Технологическая схема производства завода холодильного оборудования может отличаться в зависимости от типа продукции и конкретных технических особенностей производства.

Однако, в целом, можно выделить несколько этапов, которые часто присутствуют в технологической схеме производства основных видов продукции завода:

- разработка и проектирование: на этом этапе разрабатываются конструкции, технические характеристики и дизайн будущего продукта;
- закупка материалов и комплектующих: необходимые материалы и комплектующие закупаются у поставщиков и проходят приемку на качество;
- резка, сварка и сборка: на этом этапе выполняются работы по резке и сварке металлических деталей, после чего происходит сборка конструкции;
- установка электронных компонентов: этот этап включает установку электронных компонентов, таких как датчики температуры и

контроллеры;

- тестирование и контроль качества: после завершения сборки и установки компонентов, продукция проходит тестирование и проверку на соответствие техническим характеристикам и качеству;
- упаковка и доставка: готовая продукция упаковывается и готовится к доставке заказчику.

Эти этапы производства могут проходить параллельно и изменяться в зависимости от конкретной продукции и технологического процесса. Однако, в целом, они представляют собой общую технологическую схему производства на заводе холодильного оборудования. Далее можно более подробно рассмотреть каждый этап производства в зависимости от типа продукции и используемых технологий.

Например, если говорить о производстве промышленных холодильных камер, то на этапе разработки и проектирования проводится анализ потребностей заказчика и разработка технических характеристик камеры. Затем, на этапе закупки материалов, компания закупает металлоконструкции, утеплители, облицовочные материалы, двери, оборудование для охлаждения и прочие комплектующие.

На этапе резки, сварки и сборки производится изготовление металлических конструкций и их сборка в единую систему. После этого производится установка системы охлаждения и контроля температуры. По окончании сборки камера проходит тестирование и контроль качества. Затем камера упаковывается и доставляется заказчику.

Упрощённая технологическая схема производства промышленных холодильных камер на заводе холодильного оборудования, описанная выше, с учётом основных элементов схемы произведённого продукта, представлена на рисунке 1.

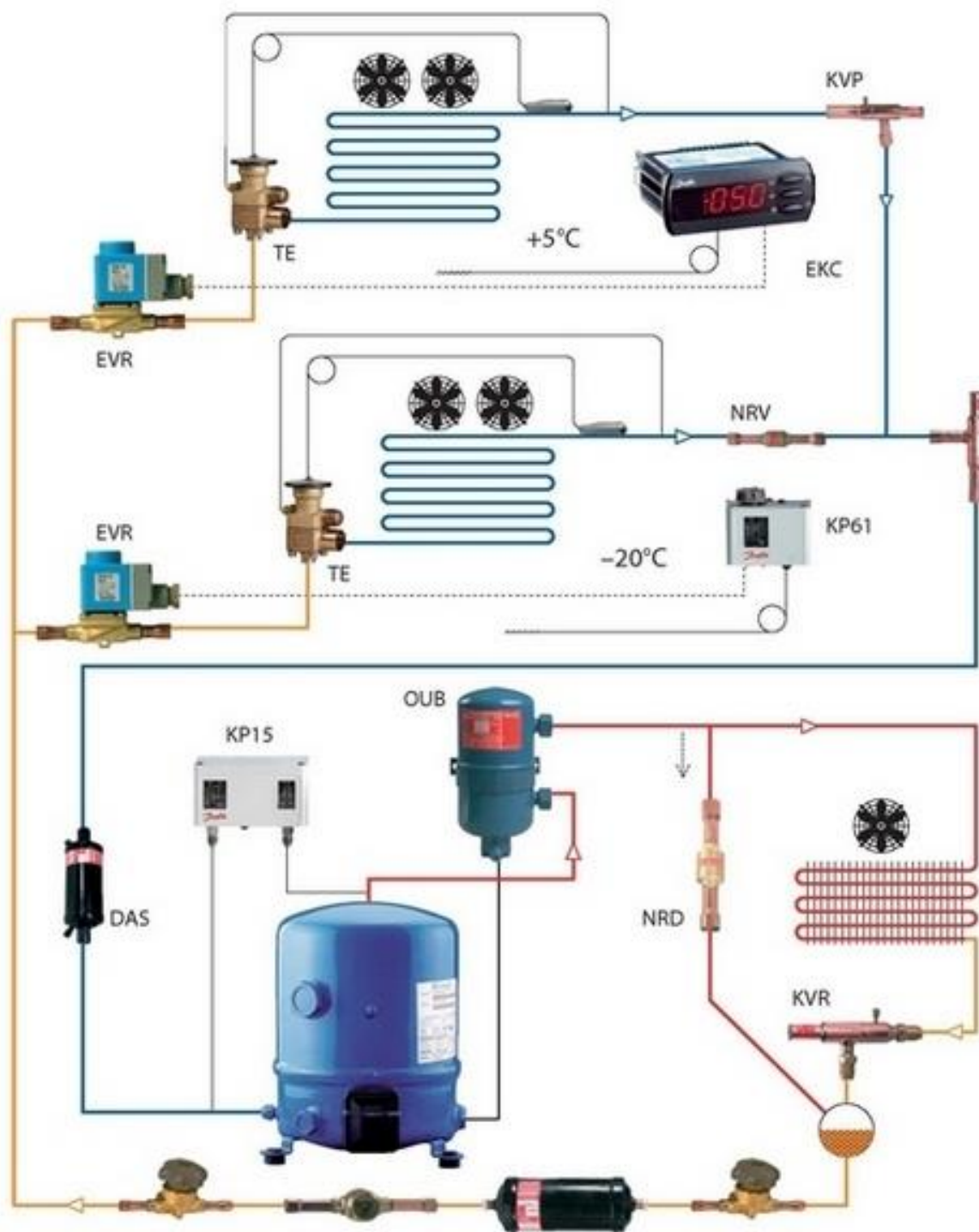


Рисунок 1 – Упрощённая технологическая схема производства промышленных холодильных камер на заводе холодильного оборудования

Для других типов продукции, таких как морозильные камеры, холодильные витрины или кондиционеры, технологическая схема производства может отличаться в зависимости от используемых материалов и компонентов, методов сборки и других факторов.

В целом, технологический процесс производства на заводе

холодильного оборудования включает в себя множество этапов, которые должны быть строго организованы и контролируемы, чтобы обеспечить высокое качество продукции и удовлетворить потребности заказчиков.

Таким образом, исходя из технологической схемы производственного процесса производства продукции завода холодильного оборудования, на объекте проектирования можно выделить следующие основные этапы производства:

- подготовительный этап – включает доставку, хранение и транспортирование исходных материалов, применяемых в технологическом процессе изготовления продукции, а также подготовку первичного материала и сырья для производства;
- основной производственный этап – предусматривает непосредственное изготовление продукции, в зависимости от их вида и типа, с последующей упаковкой и маркировкой готовой продукции (холодильников различных типов, морозильных камер, промышленных холодильных агрегатов, специальной медицинской холодильной продукции и прочих аналогичных изделий);
- заключительный этап – включает контроль качества готовой продукции, маркировку, упаковку, а также хранение и доставку потребителю.

В рассматриваемой системе электроснабжения завода холодильного оборудования, имеется три основных производственных корпуса, которые вносят основной вклад в технологический процесс производства готовой продукции.

Исходя из технологического процесса производства, с учётом исходных данных на выполнение задания, к основным производственным корпусам завода холодильного оборудования относятся:

- цех сборки бытового холодильного оборудования;
- цех сборки промышленного холодильного оборудования;
- цех сборки специального холодильного оборудования.

Перечисленные производственные корпуса являются основными в системе электроснабжения завода холодильного оборудования.

Помимо них, «на объекте проектирования также есть необходимые неосновные цеха и участки, выполняющие производственную вспомогательную функцию (основную и неосновную)» [13].

«К таким подразделениям относятся (таблица 1)» [19]:

- «технологический комплекс обеспечения основного производства – состоит из совокупности служб, цехов и участков, которые обеспечивают основной техникой процесс производства» [2];
- «технический комплекс обеспечения основного производства. Это – одни из наиболее энергоёмких комплексных подразделений предприятия, включает в себя оборудование насосной, котельной и компрессорной с мощными» [15] высоковольтными электродвигателями напряжением 10 кВ;
- «ремонтно-эксплуатационные службы – состоят из цехов и служб, обеспечивающих ремонт, монтаж и эксплуатацию всего оборудования и сетей предприятия. В данную структуру входит электроцех» [20], ремонтно-механический участок, гараж, участок изготовления поддонов;
- «складской комплекс – состоит из совокупности складских помещений и служит для хранения первичного сырья и запасных материалов» [17], включает склад готовой продукции и склад комплектующих;
- прочие объекты – не является непосредственным звеном основного технологического процесса, к ним относятся: административное здание и торгово-выставочный комплекс.

Таким образом, установлено, что в структуре проектируемого завода холодильного оборудования присутствует пятнадцать структурных комплексов (подразделений), из них три являются основными производственными подразделениями, остальные – вспомогательными.

Таблица 1 – Основные данные и систематизация подразделений завода холодильного оборудования по категориям надёжности

№ цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка)	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт	Назначение цеха (участка)	Категория надёжности
1	Административное здание	140	Неосновной вспомогательный	III
2	Цех сборки бытового холодильного оборудования	480	Основной производственный	I
3	Цех сборки промышленного холодильного оборудования	260	Основной производственный	I
4	Бойлерная	180	Основной вспомогательный	II
5	Насосная (10 кВ)	1850	Основной вспомогательный	II
	Насосная (0,38/0,22 кВ)	150		
6	Котельная	270	Основной вспомогательный	II
7	Ремонтно-механический участок	290	Неосновной вспомогательный	III
8	Компрессорная (10 кВ)	1350	Основной вспомогательный	II
	Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	210		
9	Торгово-выставочный комплекс	34	Неосновной вспомогательный	III
10	Склад комплектующих	17	Неосновной вспомогательный	III
11	Электроцех и служба главного энергетика	50	Неосновной вспомогательный	III
12	Цех сборки специального холодильного оборудования	1920	Основной производственный	I
13	Гараж и служба главного механика	50	Неосновной вспомогательный	III
14	Склад готовой продукции	620	Неосновной вспомогательный	III
15	Участок изготовления поддонов	110	Неосновной вспомогательный	III
Всего по завод холодильного оборудования		7981	-	I, II, III

По номинальному напряжению потребителей основных подразделений проектируемой системы электроснабжения цехов и участков завода холодильного оборудования можно сделать вывод, что все потребители

объекта относятся к электроприёмникам низкого номинального напряжения (0,38/0,22 кВ).

Выводы по разделу 1.

«Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового завода холодильного оборудования, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [15] условиям технологического процесса.

Обусловлена актуальность темы работы, с последующим анализом технических данных установленных проектных нагрузок потребителей цехов, участков и подразделений системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

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

Осуществлён анализ основных требований, предъявляемых к схемам главных электрических соединений нормального режима систем электроснабжения предприятий по производству бытовой и специальной холодильной техники.

Показано, что разработка качественного проекта внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, качества, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Приведённая информация является основой для проектирования системы электроснабжения завода холодильного оборудования, которое осуществляется в работе далее.

2 Проектирование системы электроснабжения завода холодильного оборудования

2.1 Выбор напряжений в системе электроснабжения завода холодильного оборудования

Далее в работе проводится выбор рациональных номинальных напряжений схемы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования.

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

«Согласно формуле Стила [8]:

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

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

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

В формуле (1) принимаются суммарные значения проектной нагрузки с коэффициентом одновременности, равном единице [9].

«По условию (11) для ГПП внешней СЭС проектируемого завода холодильного оборудования» [1]:

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

Исходя из номинальных напряжений, применяемых в электрической сети Российской Федерации, принимается ближайшее большее стандартное значение номинального напряжения внешней системы электроснабжения проектируемого объекта, равного значению 110 кВ (с учётом перспективы развития электрической сети промышленного района, в котором

предусматривается сооружение проектируемого завода холодильного оборудования) [3].

При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого завода холодильного оборудования, исходя из той же шкалы номинальных напряжений, и учитывая рекомендации [7], принимается номинальное напряжение 10 кВ, которое эффективнее напряжения 6 кВ.

Таким образом, окончательно установлено, что питание проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ.

На основе полученных расчётных данных, далее в работе проводится решение поставленных основных задач по выбору трансформаторов ГПП-110/10 В и цеховых ТП-10/0,4 кВ.

2.2 Выбор схемы электроснабжения завода холодильного оборудования

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что в проектируемой системе электроснабжения завода холодильного оборудования, наиболее целесообразно использовать высшее напряжение, равное 110 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – номинальное напряжение 10 кВ.

Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого завода холодильного оборудования, является двухтрансформаторная питающая ГПП-110/10 кВ.

На основании полученных результатов, составляется структурная схема ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения проектируемого завода холодильного оборудования (рисунок 2) [1].

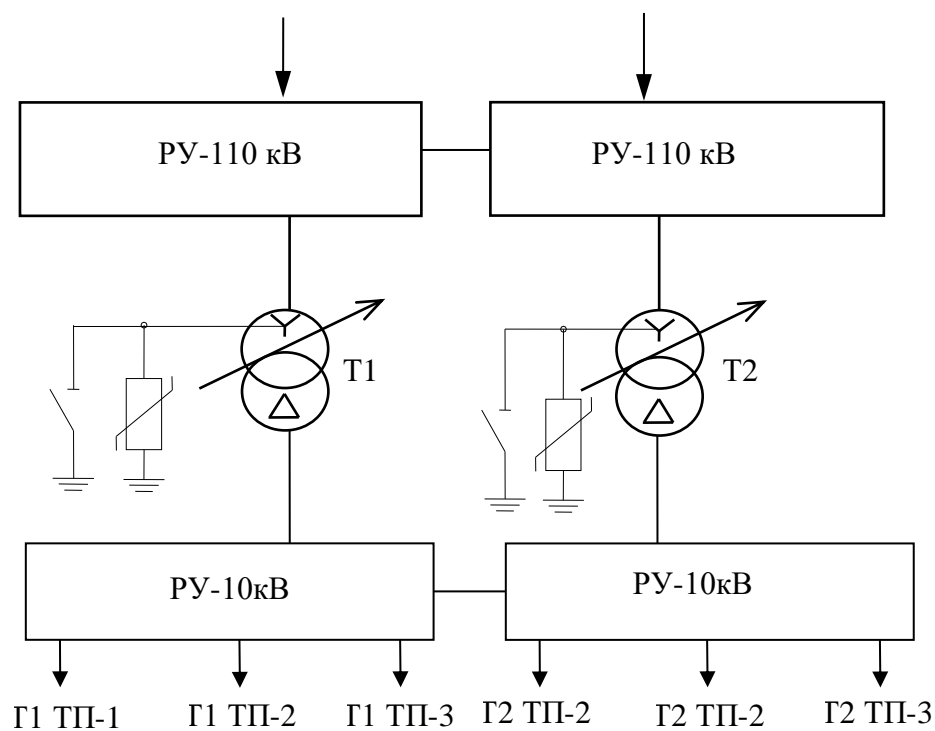


Рисунок 2 – Структурная схема ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Таким образом, исходя из полученных технических сведений, с учётом структурной схемы, приведённой на рисунке 5, в «необходимо провести обоснование и выбрать рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения завода холодильного оборудования» [3]:

- 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 холодильного оборудования.

Поэтапное решение данных вопросов проводится в работе далее на

основе анализа литературных источников [4].

Для применения в ОРУ-110 кВ на питающей ГПП-110/10 кВ, в работе принимается схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

Такая схема ВН ГПП-110/10 кВ с резервированием применяется при двух силовых трансформаторах, причём ГПП-тупиковая [15].

Данные условия полностью выполнены в схеме ОРУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

Схема обеспечивает резервирование и возможность транзита электроэнергии по одной из питающих линий ВЛ-110 кВ в энергосистеме (в случае необходимости с перспективой дальнейшего расширения и реконструкции схемы).

Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ завода холодильного оборудования представлено на рисунке 3.

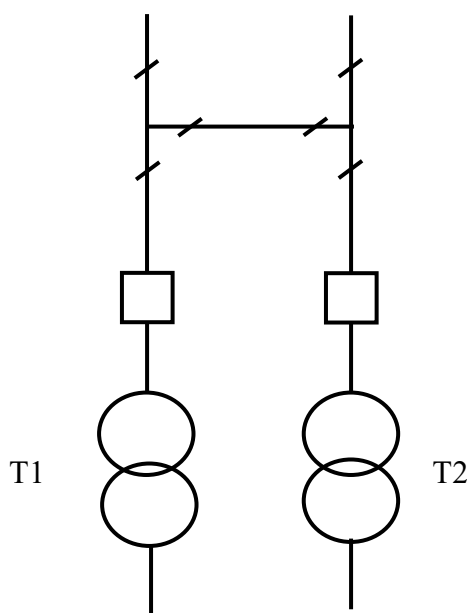


Рисунок 3 – Выбранное схемное решение для РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ завода холодильного оборудования

Для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [20]. Такая схема НН ГПП с выполняется с

резервированием при двух силовых трансформаторах, в РУ-10 кВ не более 20 присоединений. Данные условия выполнены в схеме электрических соединений РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ объекта проектирования.

Выбранное схемное решение для применения на РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ завода холодильного оборудования представлено на рисунке 4.

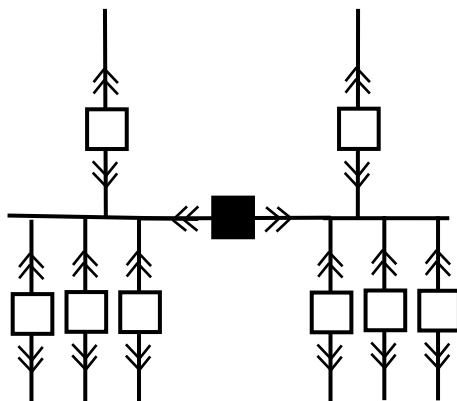


Рисунок 4 – Выбранное схемное решение для РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ завода холодильного оборудования

Распределительная сеть 10 кВ выполняется кабельными линиями от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ до РУ-10 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ проектируемого завода холодильного оборудования.

Для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [4].

Такая схема распределительной сети с резервированием при двух силовых трансформаторах, принимается для питания потребителей 1 и 2 категорий надёжности, что характерно объекту проектирования [20].

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

Исходя из результатов проведённого сравнительного анализа, для применения на всех двухтрансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ, питающих

потребители 1 и 2 категории надёжности, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ» [11].

Также в работе проводится выбор схемы присоединения системы собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

Исходя из расчётной нагрузки системы «собственных нужд, к установке на ГПП системы внешнего электроснабжения объекта, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП. Мощность трансформатора выбрана, исходя из» [17] типичных решений в рабочих проектах предприятий данного типа [17].

На стороне НН предусматривается отдельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи [20].

Схема подключения ТСН главной понизительной подстанции переменного напряжения 110/10 кВ представлена на рисунке 5.

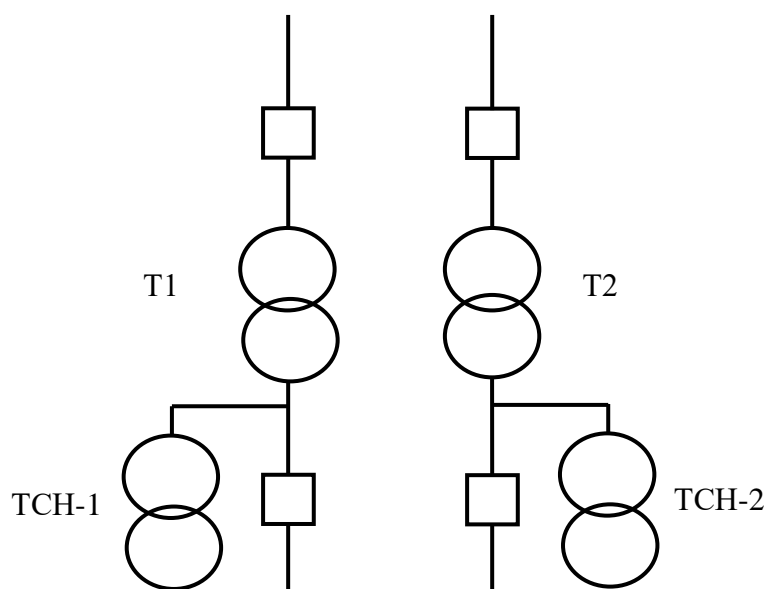


Рисунок 5 – Схема подключения ТСН главной понизительной подстанции переменного напряжения 110/10 кВ завода холодильного оборудования

Таким образом, установлено, что все выбранные в работе схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования, отвечают требованиям нормативных документов, поэтому могут быть приняты к использованию на объекте проектирования. Все принятые в работе схемные решения показаны в графической части работы.

2.3 Расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения завода холодильного оборудования, 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.

На основании рассчитанных значений электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения завода холодильного оборудования, далее в работе будет рассчитано значение следующих токов, по которым необходимо провести выбор основного оборудования ГПП-110/10 кВ объекта проектирования:

- токов нормального режима;
- максимальных рабочих токов (токов послеаварийного режима).

Также на основе расчётных данных суммарной нагрузки узлов, необходимо выбрать трансформаторы для установки на ГПП и цеховых ТП.

«Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения завода холодильного оборудования является установленная номинальная нагрузка потребителей, $P_{уст}$, которая принимается равной расчётной активной нагрузке» [19] с учётом коэффициента спроса,

показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [19].

По известному числу и мощности потребителей на заданном напряжении, определяется значения активной нагрузки потребителей электрической части системы электроснабжения завода холодильного оборудования 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 холодильного оборудования, кВт» [8];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха (участка) проектируемого завода холодильного оборудования» [8].

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

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

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

«Расчетная полная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого завода холодильного оборудования, кВА» [6]:

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

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников, кВт» [1]:

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

«где $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса освещения цеха (участка) проектируемого завода холодильного оборудования» [4];
 « $P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения цеха (участка) проектируемого завода по производству холодильников, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{n.o} = P_{уд.o} F, \quad (6)$$

«где $P_{уд.o}$ – нормируемая удельная мощность освещения цеха (участка) проектируемого завода холодильного оборудования, кВт/м²» [4];
 F – «площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого завода холодильного оборудования согласно генплану, м²» [1].

«Полная нагрузка, кВА» [1]:

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

Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП системы электроснабжения завода холодильного оборудования [16]:

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

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

Потери активной мощности в трансформаторах ГПП системы электроснабжения завода холодильного оборудования [16]:

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

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

Расчёт электрических нагрузок в работе проводится на примере цеха сборки бытового холодильного оборудования системы электроснабжения завода холодильного оборудования по условиям (2) – (4).

«Расчётная активная нагрузка по условию (2)» [16]:

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

«Расчётная реактивная нагрузка цеха по условию (3)» [14]:

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

Расчётная полная расчётная нагрузка силовых потребителей цеха сборки бытового холодильного оборудования системы электроснабжения завода холодильного оборудования по условию (4):

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

Результаты расчёта электрических нагрузок остальных цехов системы электроснабжения завода холодильного оборудования рассчитаны аналогично.

В работе проводится отдельные расчёты для силовой, осветительной и суммарной нагрузки при проектировании системы электроснабжения завода холодильного оборудования (таблицы 2-4).

«Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети системы электроснабжения завода холодильного оборудования представлены в таблице 2» [6].

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Наименование цеха	$A, м$	$B, м$	$F_{ц}, м^2$	$P_{уд.о}, Вт/м^2$	$P_{ном.о}, кВт$	$tg\varphi_o$	$P_{р.о}, кВт$	$Q_{р.о}, квар$
Административное здание	10	20	200	19	3,8	0,43	3,79	1,63
Цех сборки бытового холодильного оборудования	20	20	400	19	7,6	0,43	7,58	3,27
Цех сборки промышленного холодильного оборудования	30	30	900	20	18	0,43	17,96	7,74
Бойлерная	40	40	1600	18	28,8	0,43	28,73	12,38
Насосная (0,38/0,22 кВ)	10	15	150	19	2,85	0,43	2,84	1,23
Котельная	10	12	120	15	1,8	0,43	1,80	0,77
Ремонтно-механический участок	12	12	144	15	2,16	0,43	2,15	0,93
Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	10	12	120	16	1,92	0,43	1,92	0,83
Торгово-выставочный комплекс	15	15	225	19	4,275	0,43	4,26	1,84
Склад комплектующих	15	25	375	12	4,5	0,43	4,49	1,94
Электроцех и служба главного энергетика	10	12	120	18	2,16	0,43	2,15	0,93
Цех сборки специального холодильного оборудования	30	25	750	20	15	0,43	14,96	6,45
Гараж и служба главного механика	10	25	250	20	5	0,43	4,99	2,15
Склад готовой продукции	20	15	300	15	4,5	0,43	4,49	1,94
Участок изготовления поддонов	10	12	120	15	1,8	0,43	1,80	0,77
Наружное освещение территории завода	300	200	60000	4	240	0,43	239,40	103,20
Всего освещения по заводу	-	-	65774	-	344,165	-	343,30	147,991

«Результаты расчёта электрических нагрузок силовой сети системы электроснабжения завода холодильного оборудования представлены в таблице 3» [1].

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок силовой сети системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Наименование цеха	$\sum P_{уст},$ кВт	K_c	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
Административное здание	140	0,35	0,60	1,33	49,00	65,17	81,54
Цех сборки бытового холодильного оборудования	480	0,40	0,65	1,17	192,00	224,64	295,51
Цех сборки промышленного холодильного оборудования	260	0,40	0,65	1,17	104,00	121,68	160,07
Бойлерная	180	0,65	0,65	1,17	117,00	136,89	180,08
Насосная (0,38/0,22 кВ)	150	0,80	0,80	0,75	120,00	90,00	150,00
Котельная	270	0,65	0,65	1,17	175,50	205,34	270,12
Ремонтно-механический участок	290	0,80	0,80	0,75	232,00	174,00	290,00
Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	210	0,65	0,65	1,17	136,50	159,71	210,09
Торгово-выставочный комплекс	34	0,80	0,80	0,75	27,20	20,40	34,00
Склад комплектующих	17	0,65	0,65	1,17	11,05	12,93	17,01
Электроцех и служба главного энергетика	50	0,80	0,80	0,75	40,00	30,00	50,00
Цех сборки специального холодильного оборудования	1920	0,65	0,65	1,17	1248,00	1460,16	1920,83
Гараж и служба главного механика	50	0,80	0,80	0,75	40,00	30,00	50,00
Склад готовой продукции	620	0,65	0,65	1,17	403,00	471,51	620,27
Участок изготовления поддонов	110	0,80	0,80	0,75	88,00	66,00	110,00
Всего по 0,4 кВ					2983,25	3268,42	4425,19
Насосная (10 кВ)	1850	0,80	0,80	0,75	1480,00	1110,00	1850,00
Компрессорная (10 кВ)	1350	0,65	0,65	1,17	877,50	1026,68	1350,58
Всего по 10 кВ	-	-	-	-	2357,50	2136,68	3181,70
Всего силовой нагрузки по заводу	-	-	-	-	5340,75	5405,09	7598,60

Результаты расчёта электрических суммарных нагрузок, с учётом полученных расчётных данных нагрузок по силовой и осветительной сети «системы электроснабжения завода холодильного оборудования, представлены в работе в форме таблицы 4» [2].

Таблица 4 – Результаты расчёта суммарных электрических нагрузок системы электроснабжения завода холодильного оборудования

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

Таким образом, в работе рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения завода холодильного оборудования в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

2.4 Выбор силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Проводится выбор числа и мощности трансформаторов для установки на понизительных подстанциях проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

Исходя из принятой схемы электроснабжения объекта проектирования, выбор трансформаторов необходимо провести на таких системных подстанциях завода:

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

Как было указано ранее, на главной понизительной подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода холодильного оборудования, 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).

«Мощность силовых трансформаторов ГПП завода холодильного оборудования должна быть выбрана с учетом максимальной расчётной нагрузки предприятия при рабочем режиме с учетом нагрузки при обеспечении аварийного резерва с учётом отключения цехов и участков,

относящихся к III категории надёжности по условию категоричности потребителей» [11].

Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения завода холодильного оборудования, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП предприятия.

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

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (12)$$

«где $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях систем электроснабжения, о.е.;
 n – количество трансформаторов, шт.» [11].

«Исходя из условия (12), расчётная мощность трансформатора для применения на ГПП-110/10 кВ в системе внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования» [3]:

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

«Исходя из номинального ряда мощностей для силовых трансформаторов, для установки на ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода холодильного оборудования, для установки на объекте проектирования предварительно выбираются два силовых трансформатора марки ТМН-6300/110 с высшим напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ» [14].

«Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме» [15] должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,7.

Это условие выражается так [15]:

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

Таким образом, установлено, что коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода холодильного оборудования в «нормальном режиме не превышает предельно установленные значения:

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

Осуществляется проверка этого же трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам» [11].

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 трансформатор, оставшийся в работе [11]:

$$K_{з.а} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,4. \quad (14)$$

Коэффициент загрузки трансформатора ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения завода холодильного оборудования, в послеаварийном режиме также удовлетворяет условию:

$$K_{3.4} = \frac{4160,49}{6300} = 0,66 \leq 1,4.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (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 холодильного оборудования.

С учётом неравномерности распределения нагрузки на территории предприятия, в работе предлагается:

- выбрать все цеховые ТП-10/0,4 кВ двухтрансформаторными, что значительно упростит подключение всех потребителей и уменьшит количество подстанций и промежуточных звеньев;
- в первую очередь, предусмотреть питание потребителей I и II категорий надёжности от каждой цеховой ТП-10/0,4 кВ двумя линиями от разных трансформаторов, а все потребители III категории подключать к существующим ТП-10/0,4 кВ с учётом близости и максимальной допустимой нагрузки на трансформаторы цеховых подстанций.

Исходя из этого, в системе внутреннего электроснабжения завода холодильного оборудования, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, в работе предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ.

Они устанавливаются на всех трёх производственных объектах, относящихся к I категории надёжности (основные производственные отделения, относящихся к I категории надёжности).

Таким образом, данные цеховые ТП-10/0,4 кВ будут находиться в таких цехах:

- ТП-1 – цех сборки бытового холодильного оборудования;
- ТП-2 – цех сборки промышленного холодильного оборудования;
- ТП-3 – цех сборки специального холодильного оборудования.

От них получают питание потребители II категорий двумя кабельными линиями (с резервированием), и потребители III категории одной кабельной линией (без резервирования).

При этом основным критерием для присоединения цехов к той или иной цеховой ТП-10/0,4 кВ, являются следующие основные факторы:

- близость расположения цехов к соответствующим цеховым ТП;
- суммарная номинальная мощность группы потребителей, которая регламентируется и ограничивается «потолком» номинальных мощностей силовых трансформаторов 10/0,4 кВ;
- суммарное количество цехов (участков), которые присоединяются к одной ТП (рекомендуется присоединять к одной цеховой ТП не более 10-12 цехов (участков) предприятия), что ограничено количеством присоединений в распределительных устройствах ВН и НН на цеховых ТП.

Таким образом, проводится расчёт нагрузки и выбор «силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

Мощность силовых трансформаторов должна быть выбрана с учетом максимальной расчётной нагрузки предприятия при рабочем режиме с учетом нагрузки при обеспечении аварийного резерва» [12].

Минимальная мощность трансформатора для установки на ЦТП-10/0,4 кВ завода холодильного оборудования, без учёта компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ, в работе определяется по формуле [12]:

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

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

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

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

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1 внутренней СЭС завода холодильного оборудования по условию» [3] (19).

При этом, суммарная полная нагрузка, которая приходится на ТП-1, равна сумме цехов, которые получают от неё питание:

$$\sum S_{p.} = S_{p.1} + S_{p.2} + \dots + S_{p.n}. \quad (16)$$

Суммарная расчётная полная нагрузка цеховой ТП-1 (10/0,4 кВ) по условию (16):

$$\sum S_{p.} = 302,94 + 292,28 + 211,96 + 38,53 + 21,50 + 52,28 = 919,49 \text{ кВА}.$$

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на ТП-1» [3]:

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

«Для установки на цеховой ТП-1 внутренней СЭС завода холодильного оборудования, в работе приняты два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10» [12].

«Выбор остальных трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ проведён аналогично и результаты приведены в таблице 5» [3].

Таблица 5 – Результаты выбора трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ СЭС завода холодильного оборудования

Номер цеховой ТП	Наименование цеха (участка)	S_p , кВт	$S_{p.ТП}$, кВт	Категория надёжности	Количество × марка силовых трансформаторов
ТП-1	Цех сборки бытового холодильного оборудования	302,94	919,49	I	2×ТМГ-1000/10У1
	Ремонтно-механический участок	292,28		III	
	Компрессорная (0,38/0,22 кВ)	211,96		II	
	Торгово-выставочный комплекс	38,53		III	
	Склад комплектующих	21,50		III	
	Электроцех и служба главного энергетика	52,28		II	
ТП-2	Цех сборки промышленного холодильного оборудования	177,83	1447,88	I	2×ТМГ-1000/10У1
	Бойлерная	208,61		II	
	Насосная (0,38/0,22 кВ)	153,01		II	
	Котельная	271,87		II	
	Склад готовой продукции	624,66		III	
	Участок изготовления поддонов	111,90		II	
ТП-3	Цех сборки специального холодильного оборудования	1935,46	2075,89	I	2×ТМГ-1600/10У1
	Гараж и служба главного механика	55,29		III	
	Административное здание	85,14		III	

Все трансформаторы подходят для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

Таким образом, в результате проведения расчётов и проверок, установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-2 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1. Таким образом, вся нагрузка на территории предприятия будет распределена относительно равномерно.

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 холодильного оборудования, 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 холодильного оборудования, проверяются на условие надёжности уставки релейной защиты и автоматики на надёжность срабатывания.

Для расчета максимальных токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования в работе составляется схема замещения, в которой в точке К1 определяется значение тока максимального КЗ в сети 110 кВ, а в точке К2 – в сети 10 кВ (рисунок 6) [14].

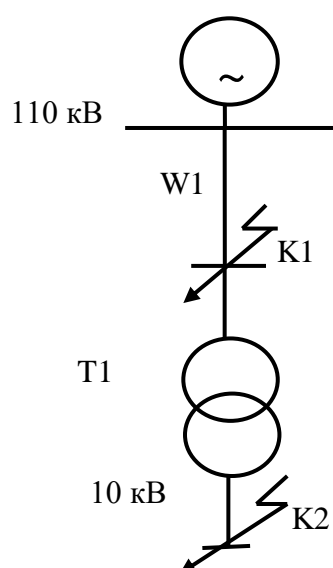


Рисунок 6 – Расчетная схема для расчета токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС завода холодильного оборудования

Таким образом, все остальные токи КЗ, по сравнению с максимальными токами КЗ в точках К1 и К2, в СЭС завода холодильного оборудования, будут меньшего значения (за счёт увеличения сопротивления в цепи и соответствующего уменьшения значения токов КЗ).

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 холодильного оборудования (рисунок 7).

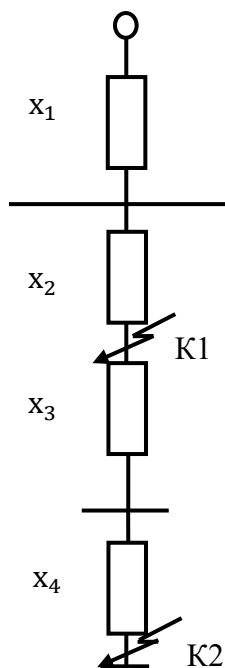


Рисунок 7 – Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС завода холодильного оборудования

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].

«После составления схемы замещения, далее в работе принимаются базисные условия при расчёте в относительных единицах при последующем приведении к принятым базисным условиям в именованных единицах.

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности короткого замыкания на шинах» [17] питающей подстанции энергосистемы (по данным энергосистемы):
 $S_{\sigma} = 400 \text{ МВА}$.

Величина базисного напряжения на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования «принимается больше значения номинального напряжения сети на 5%. Базисное напряжение схемы определяется так» [16]:

$$U_{\sigma} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (17)$$

Для напряжений на питающей ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования:

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

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

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

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (18)$$

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

«Базисный ток на стороне НН (10 кВ) схемы (численное значение):

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

Далее в работе поочерёдно определяется значение сопротивлений схемы замещения. Индуктивное сопротивление энергосистемы при приведении к базисным условиям» [17]:

$$X_1 = X_c \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{\bar{\sigma}c}}. \quad (19)$$

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

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

$$X_2 = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{cp.cm}^2}, \quad (20)$$

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

L - «суммарная длина ВЛ, км» [17].

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

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

$$X_3 = \frac{0,125 \cdot U_{квн\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{н.т.}}. \quad (21)$$

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

Для ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования [17]:

$$X_4 = \frac{1,75 \cdot U_{квн\%} S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.т.}} \quad (22)$$

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

«Схема замещения для точки К1, представлена на рисунке 8.

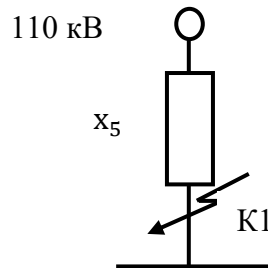


Рисунок 8 – Схема замещения, преобразованная для точки К1» [8]

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

$$X_5 = X_1 + X_2. \quad (23)$$

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

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

$$I_{по1} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\sigma}, \quad (24)$$

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

«По условию (24)» [8]:

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

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 9.

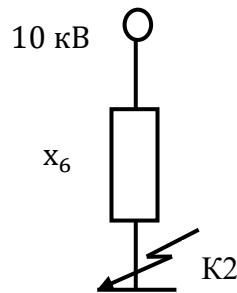


Рисунок 9 – Схема замещения для расчетов в точке К2» [8]

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

$$X_6 = X_3 + X_4 + X_5. \quad (25)$$

По условию (25):

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

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

$$I_{\text{по2}} = \frac{E}{X_6} \cdot I_6. \quad (26)$$

По условию (26):

$$I_{\text{по}2} = \frac{1}{14,19} \cdot 22 = 1,55 \text{ кА.}$$

Далее в работе, с учётом полученных значений максимальных расчётных токов КЗ в точках К1 и К2, необходимо провести расчёт ударного тока в данных точках. Это необходимо сделать для проверки электрических аппаратов на термическую стойкость (осуществляется в работе далее).

Значение ударного тока в расчётной точке К1 [17]:

$$i_{\text{уд}1} = \sqrt{2}k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по}1}. \quad (27)$$

По условию (27):

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

Для К2:

$$i_{\text{уд}2} = \sqrt{2}k_{\text{уд}} \cdot I_{\text{по}2}. \quad (28)$$

По условию (28):

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

Двухфазные расчётные токи КЗ считаются минимальными несимметричными токами короткого замыкания, по которым проверяется надёжность выбранных уставок релейной защиты, автоматики, сигнализации и управления.

Значения двухфазного тока короткого замыкания может быть рассчитаны, исходя из известного соотношения [17]:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{no}. \quad (29)$$

В расчётной точке К1 на ГПП-110/10 кВ:

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

В расчётной точке К2 на ГПП-110/10 кВ:

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

Результаты расчётов токов КЗ приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчётов токов КЗ

Расчётная точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{\kappa}^{(2)}, \text{кА}$	$i_{y0}, \text{кА}$
К1 (выводы 110 кВ)	1,18	1,02	2,84
К2 (выводы 10 кВ)	1,55	1,34	3,07

«На основе полученных результатов расчётов токов КЗ в расчётных точках системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования, далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов напряжением 110 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ» [8] системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования, а также проводится выбор устройств РЗА для использования на объекте проектирования.

2.6 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Далее в работе необходимо провести выбор и проверочный расчёт проводников СЭС системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования.

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 холодильного оборудования, осуществляется по известному условию экономической плотности тока [11]:

$$S_p = \frac{I_n}{j_{ЭК}}, \quad (30)$$

«где I_n – расчетное значение тока линии (ток нормального режима), А;

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

«При этом:

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

где S_p – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [19];

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 холодильного оборудования [19]:

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

После выбора проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования, 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]:

$$I_{дон} \geq I_p, \quad (33)$$

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

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

$$I_{дон} \geq I_{p.max}, \quad (34)$$

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:

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

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

Питание ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования 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 воздушных линий) [7].

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

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

Ток послеаварийного режима для питающей ВЛ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования, 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 холодильного оборудования [11]:

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

«Экономически выгодное сечение провода питающей ВЛ-110 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования» [8]:

$$F_9 = \frac{16,5}{1,1} = 15 \text{ мм}^2.$$

Согласно результатам расчёта, ближайшее стандартное сечение воздушной линии 110 кВ – 16 мм².

Однако, данный результат нельзя применять без проверки сечения линии по условиям механической прочности и условий коронирующего разряда («короны»).

«Известно, что по механической прочности проводники воздушных линий должны быть не меньшего сечения, чем стандартное минимально-допустимое сечение по механической прочности для условий местности по гололёду и ветру, с учётом типа опор и количества цепей линии, а также назначения линии» [12].

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

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (36)$$

«Проверка выполняется» [9]:

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

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

Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется:

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

Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]:

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

«Помимо кабельных линий 10 кВ, питающих силовые трансформаторы цеховых ТП от шин РУ-10 кВ ГПП, в работе также необходимо выбрать сечения кабелей для питания высоковольтных электродвигателей насосной и компрессорной завода холодильного оборудования. Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования с приведением результатов выбора и проверки, представлены в форме таблицы 7» [8].

Таблица 7 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Линия	Длина КЛ, м	Расчётные значения			Результаты выбора	
		$I_{р\text{ норм}}$, А	$F_{э}$, мм ²	$F_{ст.}$, мм ²	Марка КЛ	$I_{дл}$, А
ГПП-ТП-1	170	35,12	21,9	25,0	АСБ-10(3×25)	94
ГПП-ТП-2	180	34,63	21,6	25,0	АСБ-10(3×25)	94
ГПП-ТП-3	150	68,6	42,8	50,0	АСБ-10(3×50)	132
ГПП-АД-10 кВ (насосная)	120	53,4	33,3	35,0	АСБ-10(3×35)	112
ГПП-АД-10 кВ (компрессорная)	140	38,99	24,4	25,0	АСБ-10(3×25)	94

«Все выбранные в работе проводники (воздушная линия 110 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети внутреннего электроснабжения) проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования, удовлетворяют всем условиям выбора и проверки» [2], следовательно, могут быть приняты для установки на объекте проектирования.

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

Выбор ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП СЭС завода холодильного оборудования 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 холодильного оборудования представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки ошиновки для применения в ОРУ-110 кВ и ЗРУ-10 кВ ГПП СЭС завода холодильного оборудования

Наименование РУ ГПП	Тип/марка ошиновки	Длительный режим		Проверка $q_n \geq q_{\min}$, мм ²
		$I_n \geq I_{p,\max}$, А	Сечение q_n , мм ²	
ОРУ – 110 кВ	Гибкая/АС – 70/11	$265 \geq 23,17$	70	$70 = 70$
КРУ – 10 кВ	Жёсткая/ШАТ-60×10	$860 \geq 509,8$	600	$600 \geq 200$

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

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов системы электроснабжения завода холодильного оборудования

Как было указано ранее, одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения завода холодильного оборудования, является выбор нового оборудования для установки в распределительных устройствах высокого напряжения на ГПП-110/10 кВ.

При этом РУ-10 кВ ЦТП-10/0,4 кВ выполняется по упрощённой схеме и коммутируется с соответствующих ячеек РУ-10 кВ ГПП-110/10 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 КРУ);
- ограничители перенапряжения устанавливаются во всех РУ ГПП-110/10 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 холодильного оборудования.

Основными аппаратами защиты и коммутации в системе внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования, 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:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (37)$$

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

– по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (38)$$

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

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

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

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (39)$$

где « $I_{пт}$ – значение периодической составляющей тока короткого

замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов» [18];

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (40)$$

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

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

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

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (41)$$

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

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

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

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (42)$$

где « $i_{пр.с}$ – 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]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (43)$$

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:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (44)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ СЭС объекта проектирования, 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-110/10 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, 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 современный выключатель бакового типа с элегазовой изоляцией марки 145PM40-20 [19] и производится его проверка по условиям (37)-(44).

«По условию (37):

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

По условию (38):

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

По условию (39):

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

По условию (40):

$$\begin{aligned} \sqrt{2} \cdot I_k (1 + \beta_{ном} / 100) &= \sqrt{2} \cdot 20(1 + 0,25) = \\ &= 35 > \sqrt{2} \cdot 2,84 \cdot (1 + e^{-\frac{-(0,05 + 0,1)}{0,007}}) = 14,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}. \end{aligned}$$

По условию (41):

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

По условию (42):

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

Таким образом» [8], окончательно принимается выключатель бакового типа с элегазовой изоляцией марки 145PM40-20 для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования.

Выбор выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ осуществлён аналогично выбору выключателей напряжением 110 кВ по условиям (37)-(44).

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

- выключатели ввода (вводные выключатели) – по два присоединения на каждое распределительное устройство ГПП;
- выключатели секционного соединения (секционные выключатели) – по одному устройству в каждом РУ питающей ГПП;
- выключатели отходящих линий (линейные выключатели) – в зависимости от количества линий потребителей.

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 холодильного оборудования, представлены в таблице 9» [8].

Таблица 9 – Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (вводной).	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_p$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_p = 509,8 \text{ А}$
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$	$I_{п.о.}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 20 \text{ кА}$	$i_{ат}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 3,07 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (секционный).	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_p$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_p = 364,2 \text{ А}$
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$	$I_{п.о.}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 20 \text{ кА}$	$i_{ат}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 3,07 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-630-У2-48 (линейные).	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_p$	$I_{ном} = 630 \text{ А}$	$I_p = 129,5 \text{ А}$
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$	$I_{п.о.}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{а.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{а.ном} = 20 \text{ кА}$	$i_{ат}^{(3)} = 1,55 \text{ кА}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 3,07 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 0,3 = 120 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 3,07^2 \cdot 3 = 28,3 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

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

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

Для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования выбирается разъединитель марки РГ-110/1000У1. «Разъединители не проверяются на коммутационную способность при КЗ согласно [18]. Результаты выбора разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования, представлены в таблице 10» [8].

Таблица 10 – Результаты выбора разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Разъединитель РГ-110/1000У1	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 100^2 \cdot 3 = 30000 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

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

«Трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) являются важным звеном, обеспечивая питание вторичных цепей (релейная защита, автоматика, сигнализация, измерения).

Проводится выбор трансформатора тока для установки на стороне напряжением 110 кВ по [18].

Предварительно выбирается трансформатор тока для установки в ОРУ 110 кВ марки ТВТ-110-У3.

Результаты сравнительного технического выбора и проверки данного трансформатора тока, представлены в таблице 11» [8].

Таблица 11 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТВТ-110-У3	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 300 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 120 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 120^2 \cdot 3 = 43200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

«Производится выбор трансформатора тока для установки на стороне напряжением 10 кВ по [18]. Предварительно выбирается трансформатор тока для установки в РУ-10 кВ марки ТЛО-10-У3 (таблица 12)» [8].

Таблица 12 – Результаты выбора трансформаторов тока для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТЛО-10-У3	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 80 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 80^2 \cdot 3 = 19200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

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

«Производится выбор трансформатора напряжения для установки на стороне напряжением 10 кВ по [18].

Предварительно выбирается трансформатор напряжения для установки в РУ-10 кВ марки НАМИ-10.

Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования представлены в таблице 13» [8].

Таблица 13 – Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор напряжения НАМИ-10	$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{сети}} = 110 \text{ кВ}$
	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{р.}}$	$I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$	$I_{\text{р.}} = 23,17 \text{ А}$
	$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}$	$i_{\text{дин}} = 60 \text{ кА}$	$i_{\text{уд}} = 2,84 \text{ кА}$
	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$	$I_{\text{т}}^2 \cdot t_{\text{т}} = 60^2 \cdot 3 = 10800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_{\text{к}} = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

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).

Известно, что ОПН выбирают по номинальному напряжению сети, в которую они устанавливаются (таблица 14).

Таблица 14 – Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 10 кВ системы электроснабжения объекта

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 холодильного оборудования, установлено, что всё новое выбранное оборудование распределительных устройств РУ-110 кВ и КРУ-10 кВ на ГПП-110/10 кВ СЭС объекта удовлетворяет всем требуемым условиям и может быть принято для установки на объекте.

Выводы по разделу 2.

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

- 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 всех двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности внутренней СЭС, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»;
- для схемы присоединения системы «собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП» [6]. На стороне НН предусматривается отдельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи.

Таким образом, на основе проведения анализа литературных источников, установлено, что все выбранные в работе схемные решения являются наиболее рациональными для их практического внедрения в системе электроснабжения завода холодильного оборудования.

В работе, исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт электрической нагрузки системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

Расчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения завода холодильного оборудования в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

Полученные результаты электрических нагрузок отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения завода холодильного оборудования в целом, 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.

В результате проведения выбора и проверок силовых трансформаторов для установки в системе электроснабжения завода холодильного оборудования установлено следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;
- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 6300 кВА каждый (марки ТМН-6300/110);
- в системе внутреннего электроснабжения завода холодильного оборудования, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ. Установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-2 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1.

В результате выполнения работы, осуществлён расчёт следующих токов короткого замыкания в проектируемой системе электроснабжения завода холодильного оборудования:

- максимальных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;
- минимальных токов двухфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;
- ударных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы.

Полученные результаты используются в работе при выборе и проверке электрических аппаратов на ГПП предприятия.

Проведён детальный практический расчёт и последующее обоснование технических мероприятий и решений по выбору проводников и электрических аппаратов с целью их установки на ГПП системы внешнего электроснабжения завода холодильного оборудования.

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

Для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ от сборных шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ–10.

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 современных электрических аппаратов ГПП, для их установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС завода холодильного оборудования.

3 Выбор устройств и компоновки релейной защиты завода холодильного оборудования

Далее в работе выбираются типы устройств релейной защиты и автоматики для защиты основного оборудования подстанции – силовых трансформаторов и линий ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования. Также определяются основные схемы РЗА для защиты основных элементов ГПП. В качестве основного типа устройств, на котором будет реализована РЗА, выбраны «комбинированные микропроцессорные блоки РЗА серии RT/ REST.01» [17], на основе которых можно защитить практически любые элементы (линии, трансформаторы и шины). Следует отметить, что микропроцессорные блоки серии БЗП успешно прошли аттестацию и аккредитацию, а результате чего рекомендованы к применению в энергосистемах РФ. Внешний вид и функционал микропроцессорных блоков серии RT/ REST.01 представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Внешний вид и функционал микропроцессорных блоков серии RT/ REST.01

На понижающем трансформаторе ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования предусмотрены следующие основных защит:

- дифференциальная токовая защита от внутренних повреждений автотрансформатора (далее – ДЗТ);
- газовая защита трансформатора, выполненная с возможностью действия на отключение и на сигнал (далее – ГЗ);
- максимальные токовые с выдержкой времени на каждой обмотке автотрансформатора с комбинированным пуском по напряжению от многофазных коротких замыканий (далее – МТЗ);
- токовая защита от перегрузки, установленная в одной фазе с выдержкой времени с действием на сигнал (далее – ЗП).

На питающих и транзитных линиях ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования предусмотрены следующие защиты:

- дифференциальная токовая защита линий (далее – ДЗЛ);
- максимальные токовые защита линий (далее – МТЗЛ), совмещённая с защитой от перегрузки линий.

На сторонах ВН (110 кВ) и НН (10 кВ) силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования, принимается соединение ТТ и реле в схему «неполная звезда», на стороне ВН ТСН системы собственных нужд (10 кВ) применяется схема «неполной звезды».

В качестве защиты выводов ВН (110 кВ) силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью [13,14].

Известно, что в силовых трансформаторах, защита от перегрузки устанавливается со стороны питания [13,14], значит, в работе данная защита устанавливается на стороне 110 кВ. Защита от перегрузки трансформаторов

ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования выполняется с действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

В работе максимальная токовая защита (МТЗ) устанавливается как на стороне ВН (110 кВ), так и на других сторонах силовых трансформаторов ГПП, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность. Следовательно, в работе на выводах силовых трансформаторов ГПП принимается три комплекта МТЗ. МТЗ будет установлена на каждой из обмоток трансформаторов ГПП для защиты от внутренних ненормальных режимов, а также в резервной цепи.

В качестве защиты сборных шин 110 кВ на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования, следует предусматривать дифференциальную токовую защиту без выдержки времени, охватывающую все элементы, которые присоединены к системе или секции шин. Защита должна осуществляться с применением специальных реле тока, отстроенных от переходных и установившихся токов небаланс (например, реле, включенных через насыщающиеся трансформаторы тока, реле с торможением). Дифференциальная защита шин должна быть выполнена с устройством контроля исправности вторичных цепей задействованных трансформаторов тока, действующим с выдержкой времени на вывод защиты из работы и на сигнал. Если выключатели не имеют встроенных трансформаторов тока, то в целях экономии следует предусматривать выносные трансформаторы тока только с одной стороны выключателя и устанавливать их по возможности так, чтобы выключатели входили в зону действия дифференциальной защиты шин. При этом в защите двойной системы шин 10 кВ с фиксированным распределением элементов должно быть предусмотрено использование двух сердечников трансформаторов тока в цепи секционного выключателя. Таким образом, на секционном выключателе 10 кВ должны быть предусмотрены защиты (используемые при проверке и ремонте

защиты, выключателя и трансформаторов тока любого из элементов, присоединенных к шинам):

- трехступенчатая дистанционная защита и токовая отсечка от многофазных коротких замыканий;
- четырехступенчатая токовая направленная защита нулевой последовательности от замыканий на землю.

При этом на вводном выключателе 10 кВ должны быть предусмотрены защиты (используемые для разделения систем шин при выведении УРОВ или защиты шин из действия, а также для повышения эффективности дальнего резервирования):

- двухступенчатая токовая защита от многофазных коротких замыканий;
- трехступенчатая токовая защита нулевой последовательности от замыканий на землю.

Во всех остальных случаях в электроустановках 110 кВ при отказе одного из выключателей поврежденного элемента (линия, трансформатор, шины) УРОВ должно действовать на отключение выключателей, смежных с отказавшим. Если защиты присоединены к выносным трансформаторам тока, то УРОВ должно действовать и при коротком замыкании в зоне между этими трансформаторами тока и выключателем. Допускается применение упрощенных УРОВ: действующих при коротких замыканиях с отказами выключателей не на всех элементах (например, только при замыканиях на линиях); действующих лишь на отключение секционного выключателя.

Для трансформаторов собственных нужд должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- защита от многофазных замыканий в обмотках и на выводах;
- защита от однофазных замыканий на землю на стороне 110 кВ, если это необходимо по требованиям безопасности;
- защита от витковых замыканий в обмотках;

- защита от токов в обмотках, обусловленных внешними короткими замыканиями;
- защита от токов в обмотках, обусловленных перегрузкой;
- защита от повреждений внутри кожуха, сопровождающихся выделением газа, и понижения уровня масла.

Для защиты от повреждений на выводах 110 кВ и 10 кВ, а также от внутренних повреждений, должны быть предусмотрены:

- продольная дифференциальная токовая защита без выдержки времени;
- токовая отсечка без выдержки времени.

Указанные защиты должны действовать на отключение всех выключателей трансформатора.

В работе на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования для защит питающих линий напряжений 110 кВ, а также отходящих кабельных линий 10 кВ, выбираются следующие защиты:

- дифференциальная защиты линий (ДЗЛ);
- максимальная токовая защита линий, совмещённая с защитой от перегрузки (МТЗЛ).

В графической части работы приведена детальная схема релейной защиты ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования.

Выводы по разделу 3.

В работе, на основе расчётных данных, проведён выбор и обоснование основных типов защит силовых трансформаторов 110/10 кВ, шинных присоединений 110 и 10 кВ, а также питающих линий 110 кВ и отходящих линий 10 кВ на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, защиты шин и прочие виды защит). Все выбранные типы РЗ соответствуют требованиям нормативных документов.

Заключение

«В результате выполнения работы, проведена разработка проекта системы электроснабжения завода холодильного оборудования, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [8].

Приведено описание и «анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового завода холодильного оборудования, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [8] условиям технологического процесса.

Исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, «проведён расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения завода холодильного оборудования» [8].

В результате проведения выбора и проверок силовых трансформаторов для установки в системе электроснабжения завода холодильного оборудования установлено следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;
- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения завода холодильного оборудования, «на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора ТМН-6300/110» [8];
- в системе внутреннего электроснабжения завода холодильного оборудования, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ. Установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-2 устанавливаются по два

силовых трансформатора марки ТМГ-1000/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1.

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

- 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 всех двухтрансформаторных ЦТП-10/0,4 кВ, питающих потребители 1 и 2 категории надёжности внутренней СЭС, принимается «Радиальная схема с резервированием на секции шин РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ»;
- для схемы присоединения системы «собственных нужд на ГПП-110/10 кВ проектируемой системы электроснабжения завода холодильного оборудования, принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих отдельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП» [8]. На стороне НН предусматривается раздельная работа ТСН, каждого на свою секцию, с АВР на секционной связи.

Осуществлён расчёт следующих токов короткого замыкания в проектируемой системе электроснабжения завода холодильного оборудования:

- максимальных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;
- минимальных токов двухфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы;
- ударных токов трёхфазного КЗ на выводах трансформатора ГПП-110/10 кВ в максимальном режиме работы.

Согласно полученным результатам, для питающих ВЛ-110 кВ принята марка сталеалюминиевого провода АС-70/11.

Для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ от сборных шин РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа марки АСБ–10.

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 современных электрических аппаратов ГПП, для их установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС завода холодильного оборудования.

На основе расчётных данных, проведён выбор и обоснование основных типов защит силовых трансформаторов 110/10 кВ, шинных присоединений 110 и 10 кВ, а также питающих линий 110 кВ и отходящих линий 10 кВ на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода холодильного оборудования (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, защиты шин и прочие виды защит).

Список используемых источников

1. 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: 13.04.2023).
2. 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: 13.04.2023).
3. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие. Изд. УрФУ, 2019. 104 с.
4. Кабышев И.П. Выбор схем электроснабжения и практические расчёты по выбору оборудования. М.: Энергоиздат, 2018. 210 с., ил.
5. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
6. Комбинированные микропроцессорные блоки РЗА серии RT и REST.01 [Электронный ресурс]: URL: <http://premko.net/produkcziya/kopiya-kombinirovannyye-programmiruemyye-bloki-rza-serii-rt-i-rest.01.html> (дата обращения: 13.04.2023).
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: 13.04.2023).
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. Принцип работы холодильных машин и установок [Электронный ресурс]: URL: https://megaholod.ru/articles/printsip_raboty_kholodilnoy_mashiny/ (дата обращения: 13.04.2023).

13. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 13.04.2023).

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

19. Холодильное устройство: принцип действия [Электронный ресурс]: URL: <https://anerom.by/holodilnoe-ustroistvo-prinsip-deistviya/> (дата обращения: 13.04.2023).

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