

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения завода по производству
холодильников

Обучающийся

Е. Г. Рашников

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доц. В. С. Романов

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

Аннотация

«Работа посвящена разработке проекта системы электроснабжения завода по производству холодильников» [15].

«Для качественной реализации основной цели работы, проведён анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением характеристик потребителей и технологического процесса на предприятии, а также основных теоретических положений для решения поставленных задач» [15].

Рассчитаны и выбраны рациональные сечения проводников в системе электроснабжения объекта проектирования, включая питающие и распределительные сети.

Выбраны трансформаторы на питающих ГПП и на цеховых ТП.

Выбраны и проверены электрические аппараты для установки в РУ ГПП.

Выбрана схема релейной защиты для использования на объекте проектирования.

Работа может применяться для решения типичных производственных задач.

Работа состоит из расчётно-пояснительной записки, а также шести чертежей формата А1, выполненных в САПР AutoCAD.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика исходных данных завода по производству холодильников	6
2 Проектирование системы электроснабжения завода по производству холодильников.....	13
2.1 Выбор рациональных номинальных напряжений схемы электроснабжения завода по производству холодильников	13
2.2 Выбор схемы электроснабжения завода по производству холодильников.....	14
2.3 Определение расчетных нагрузок	18
2.4 Выбор силовых трансформаторов ГПП и цеховых ТП системы электроснабжения завода по производству холодильников	25
2.5 Расчёт токов коротких замыканий	31
2.6 Выбор и проверка проводников на ГПП завода по производству холодильников.....	40
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов на ГПП завода по производству холодильников	45
3 Выбор схемы релейной защиты завода по производству холодильников...	57
Заключение	64
Список используемых источников.....	67

Введение

Бытовая техника прочно вошла в жизнь каждого человека. Она применяется как в промышленных масштабах, так и в хозяйственных целях, являясь незаменимым атрибутом научно-технического прогресса.

Развитие и усовершенствование отечественных предприятий по производству бытовой техники, тесно связано с внедрением современных технологий в данном направлении.

Основное направление для реализации в производстве продукции предприятий по производству бытовой техники – обеспечения изготовления качественной продукции при уменьшении затрат на энергоносители всех типов.

Одним из путей решения является усовершенствование данной составляющей путём модернизации основного оборудования и сетей в системе электроснабжения как данного предприятия, так и вне его.

«Основной целью работы является разработка проекта внешней системы электроснабжения завода по производству холодильников» [8].

«Объектом исследования в данной работе является завод по производству холодильников» [8].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая часть системы электроснабжения завода по производству холодильников» [8].

«Для реализации основной цели работы, решаются следующие основные поставленные задачи» [6]:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением характеристик потребителей и технологического процесса завода по производству холодильников;
- определение расчетных нагрузок по отдельным цехам (подразделениям) и в целом по системе внешнего электроснабжения завода по производству холодильников;

- выбор количества, типа и номинальной мощности цеховых трансформаторов на питающей ГПП и цеховых ТП в проектируемой системе внешнего электроснабжения завода по производству холодильников;
- анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории завода по производству холодильников;
- расчет токов короткого замыкания в максимальном режиме работы системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников;
- выбор электрических аппаратов и проводников на ГПП системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников;
- выбор схемы релейной защиты системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников.

Указанные основные мероприятия по проектированию системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников решаются в работе далее.

1 Характеристика исходных данных завода по производству холодильников

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

Рассматриваемый в работе объект проектирования (завод по производству холодильников), выполняет роль предприятия, обеспечивающего производство и реализацию потребителям различной продукции холодильной техники (холодильников промышленных и бытовых, морозильных камер, а также прочих аналогичных изделий).

Основные типы холодильной продукции, которые планируется производить на заводе по производству холодильников, представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные типы холодильной продукции, которые планируется производить на заводе по производству холодильников

Основные виды типы холодильной продукции, исходя из её структурной схемы, которые планируется производить на заводе по производству холодильников, представлены на рисунке 2.

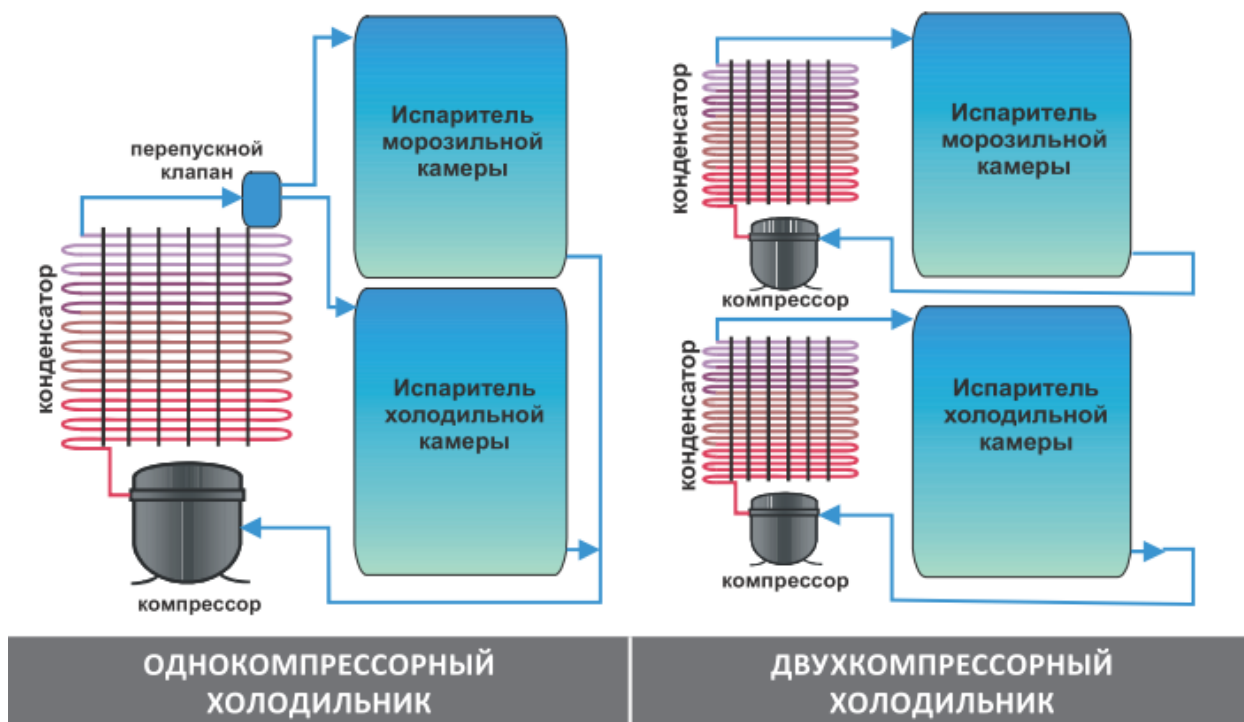


Рисунок 2 – Основные виды типы холодильной продукции, исходя из её структурной схемы, которые планируется производить на заводе по производству холодильников

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

На проектируемом заводе по производству холодильников выпускается широкий ассортимент продукции.

Технология производства той или иной продукции на завод по производству бытовой техники напрямую зависит от вида и типа этого продукта.

Технологическая схема производства основных видов продукции завода по производству холодильников очень разнообразна, поэтому ниже рассматривается основная из них.

К основной продукции, производимой на заводе по производству холодильников, относятся: холодильники различных типов, морозильные камеры, промышленные холодильные агрегаты, специальная медицинская

холодильная техника и прочая аналогичная продукция.

Технологическая схема производственного процесса производства готовой продукции на заводе по производству холодильников представлена на рисунке 3.

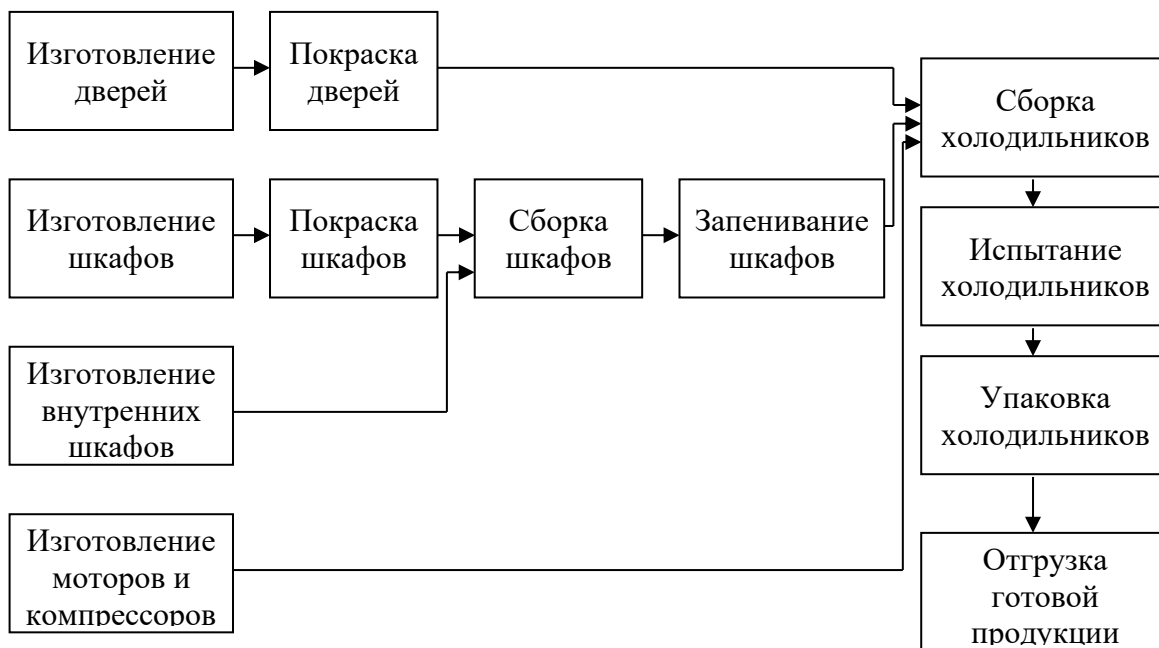


Рисунок 3 – Технологическая схема производственного процесса производства продукции на заводе по производству холодильников

Таким образом, исходя из технологической схемы производственного процесса производства продукции завода по производству холодильников, 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.

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

- цех сборки холодильников;
- цех сборки морозильных камер и специальной холодильной техники;
- цех контроля, упаковки и маркировки готовой продукции.

Перечисленные производственные корпуса являются основными в системе электроснабжения завода по производству холодильников.

«Помимо них, на объекте проектирования также есть необходимые неосновные цеха и участки, выполняющие производственную вспомогательную функцию (основную и неосновную)» [16].

К упомянутым выше подразделениям, относятся складские помещения, ремонтные службы и службы эксплуатации оборудования, подразделения обеспечения основного технологического процесса производства,

Таким образом, установлено, что в структуре проектируемого завода по производству холодильников присутствует пятнадцать структурных комплексов (подразделений), из них три являются основными производственными подразделениями, остальные – вспомогательными производственными и непроизводственными.

Данные подразделений объекта проектирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные данные и систематизация подразделений завода по производству холодильников 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 холодильников	480	Основной производственный	I
3	Цех сборки морозильных камер и специальной холодильной техники	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 контроля, упаковки и маркировки готовой продукции	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 заводу по производству холодильников		7981	-	I, II, III

По номинальному напряжению потребителей основных подразделений проектируемой системы электроснабжения цехов и участков завода по производству холодильников можно сделать вывод, что все потребители, за исключением мощных высоковольтных электродвигателей напряжением 10

кВ насосной и компрессорной, относятся к электроприёмникам низкого номинального напряжения (0,38/0,22 кВ).

Исходный план расположения основных подразделений на территории завода по производству холодильников представлен на рисунке 4.

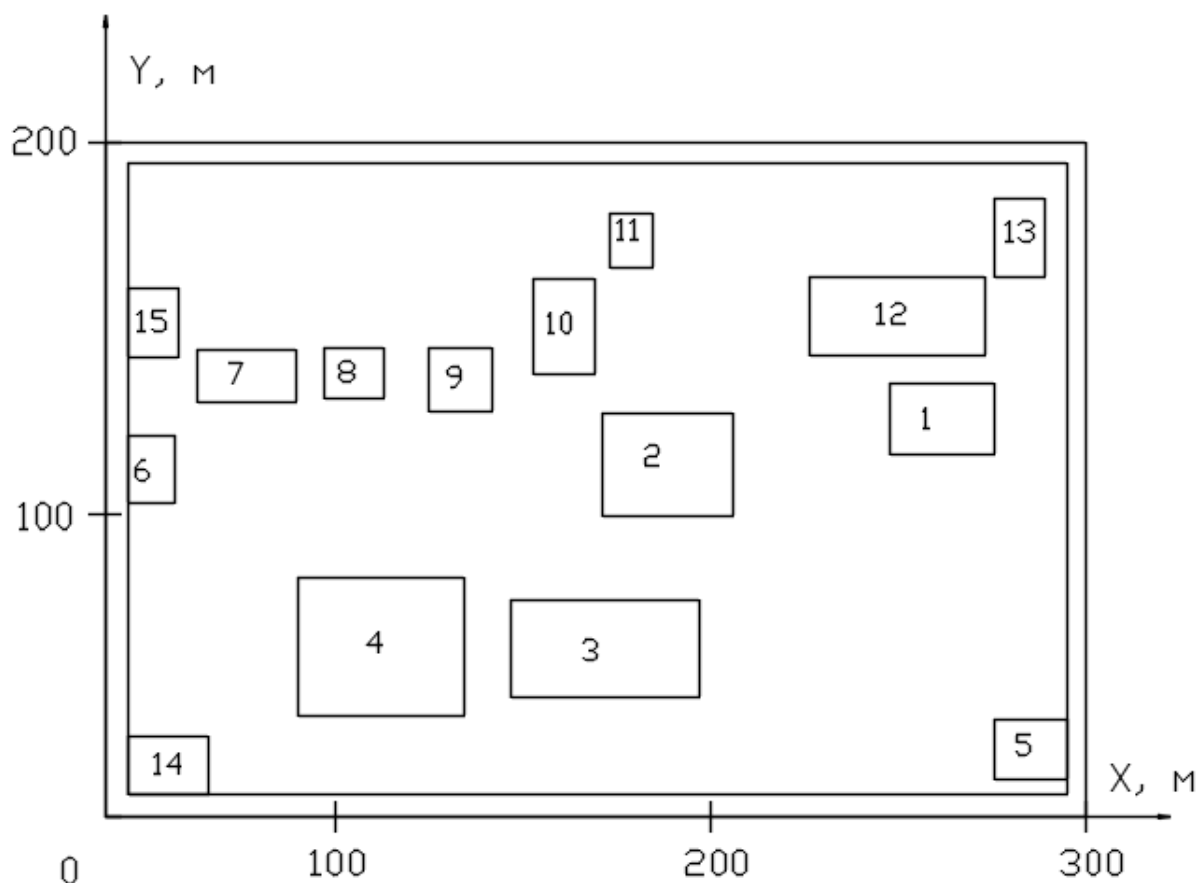


Рисунок 4 – План расположения основных подразделений на территории завода по производству холодильников

«Учитывая приведённую информацию, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по проектированию внешней системы электроснабжения завода по производству холодильников» [2].

Выводы по разделу.

«В работе было приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового завода по производству

холодильников, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [2] условиям технологического процесса.

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

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

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

Показано, что разработка качественного проекта внешней системы электроснабжения завода по производству холодильников, 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 по производству холодильников, которое осуществляется в работе далее.

2 Проектирование системы электроснабжения завода по производству холодильников

2.1 Выбор рациональных номинальных напряжений схемы электроснабжения завода по производству холодильников

Далее в работе проводится выбор рациональных номинальных напряжений схемы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников.

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

Установлено, что для объекта проектирования необходимо применять питание от двух независимых источников, что связано с категорийностью данного завода [11].

В схеме электроснабжения проектируемого завода по производству холодильников, используется формула 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 по производству холодильников» [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 по производству холодильников) [3].

При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого завода по производству холодильников, 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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников

В результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения завода по производству холодильников, наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 110 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ.

Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого завода по производству холодильников, является двухтрансформаторная питающая

ГПП-110/10 кВ. На основании полученных результатов, составляется структурная схема ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения проектируемого завода по производству холодильников (рисунок 5) [1].

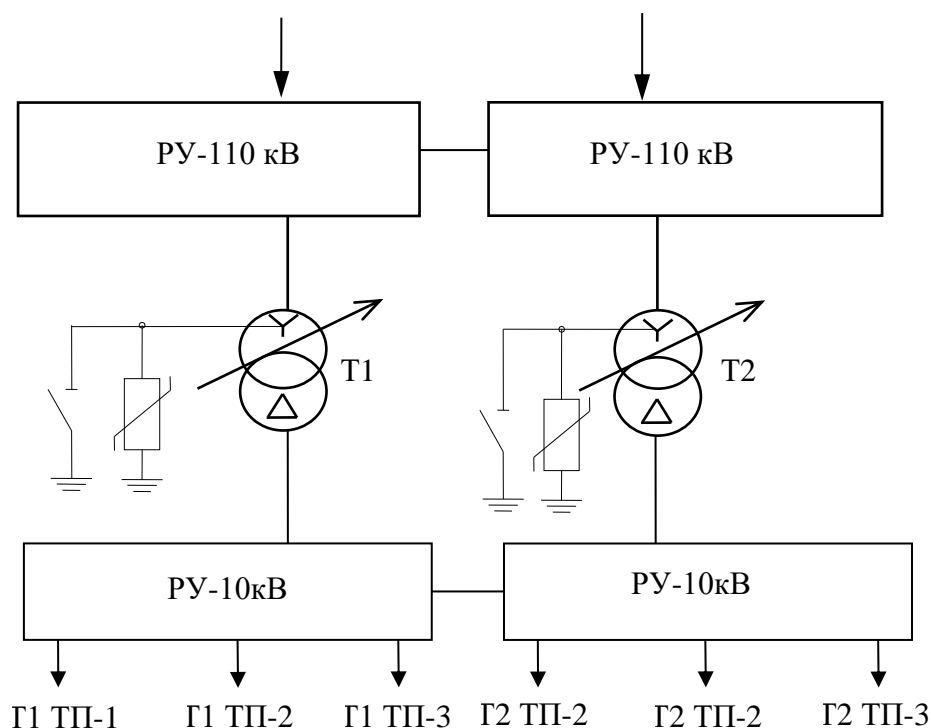


Рисунок 5 – Структурная схема ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству холодильников

Таким образом, исходя из полученных технических сведений, с учётом структурной схемы, приведённой на рисунке 5, в работе необходимо провести обоснование и выбрать рациональные схемы электрических соединений системы электроснабжения завода по производству холодильников:

- 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 по производству холодильников.

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, ГПП-тупиковая.

Данные условия полностью выполнены в схеме ОРУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству холодильников.

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 по производству холодильников представлено на рисунке 6.

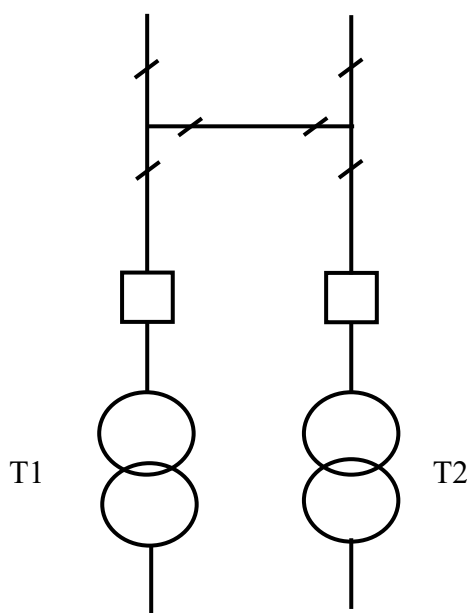


Рисунок 6 – Выбранное схемное решение для РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ завода по производству холодильников

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 по производству холодильников представлено на рисунке 7.

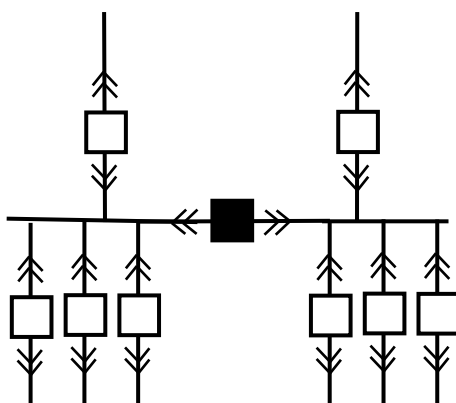


Рисунок 7 – Выбранное схемное решение для РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ завода по производству холодильников

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 по производству холодильников.

Для применения в распределительной сети 10 кВ, принимается наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП)» [4,20].

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

Данная схема наиболее проста в исполнении и обладает наиболее высокой надёжностью, простотой монтажа, отстройки уставок РЗиА 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].

Таким образом, установлено, что все выбранные в работе схемы электрических соединений проектируемой системы электроснабжения завода по производству холодильников, 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 Определение расчетных нагрузок

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения завода по производству холодильников, 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 по производству холодильников, 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.

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

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

«Расчетная реактивная нагрузка» [2]:

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

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

«Расчетная полная нагрузка» [6]:

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

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников» [1]:

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

где « $K_{c.o}$ – справочный коэффициент спроса освещения цеха (участка) проектируемого завода по производству холодильников» [4];

« $P_{n.o}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения цеха (участка) проектируемого завода по производству холодильников, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (6)$$

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

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

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

Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП системы электроснабжения завода по производству холодильников [16]:

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

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

Потери активной мощности в трансформаторах ГПП системы электроснабжения завода по производству холодильников [16]:

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

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

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

Расчётная активная нагрузка силовых потребителей цеха сборки холодильников системы электроснабжения завода по производству холодильников по условию (2):

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

Расчётная реактивная нагрузка силовых потребителей цеха сборки холодильников системы электроснабжения завода по производству холодильников по условию (3):

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

Расчётная полная расчётная нагрузка силовых потребителей цеха сборки холодильников системы электроснабжения завода по производству холодильников по условию (4):

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

Результаты расчёта электрических нагрузок остальных цехов системы электроснабжения завода по производству холодильников рассчитаны аналогично.

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

«Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети системы электроснабжения завода по производству холодильников представлены в таблице 2» [12].

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети системы электроснабжения завода по производству холодильников

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 холодильников	20	20	400	19	7,6	0,43	7,58	3,27
Цех сборки морозильных камер и специальной холодильной техники	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 контроля, упаковки и маркировки готовой продукции	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 по производству холодильников представлены в таблице 3» [3].

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок силовой сети системы электроснабжения завода по производству холодильников

Наименование цеха	$\sum P_{уст},$ кВт	Kc	$cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
Административное здание	140	0,35	0,60	1,33	49,00	65,17	81,54
Цех сборки холодильников	480	0,40	0,65	1,17	192,00	224,64	295,51
Цех сборки морозильных камер и специальной холодильной техники	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 контроля, упаковки и маркировки готовой продукции	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 по производству холодильников, представлены в работе в форме таблицы 4» [20].

Таблица 4 – Результаты расчёта суммарных электрических нагрузок системы электроснабжения завода по производству холодильников

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 холодильников	192	7,58	224,64	3,27	199,58	227,91	302,94	3,99	19,96
Цех сборки морозильных камер и специальной холодильной техники	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 контроля, упаковки и маркировки готовой продукции	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 по производству холодильников 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 по производству холодильников

Проводится выбор числа и мощности трансформаторов для установки на понизительных подстанциях проектируемой системы электроснабжения завода по производству холодильников.

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 по производству холодильников, в связи с наличием значительной группы потребителей, относящихся к 1 и 2 категории надёжности, рекомендовано установить два силовых трансформатора 110/10 кВ с системой охлаждения, обладающей принудительным воздушным дутьём и регулировкой напряжения ответвлений НН под нагрузкой (система РПН).

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

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения завода по производству холодильников, 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.» [10];

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

«Исходя из условия (12)» [2]:

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

«Принимается два силовых трансформатора марки ТМН-6300/110» [14].

«Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме» [6] 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 по производству холодильников в нормальном режиме не превышает предельно установленные значения» [7]:

$$K_{3.H.} = \frac{4160,49}{2 \cdot 6300} = 0,33 \leq 0,7.$$

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

$$K_{3.A} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,4. \quad (14)$$

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

$$K_{3.A.} = \frac{4160,49}{6300} = 0,66 \leq 1,4.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней СЭС объекта подходят трансформаторы 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 по производству холодильников.

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 по производству холодильников, 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 холодильников;
- ТП-2 – цех сборки морозильных камер и специальной холодильной техники;
- ТП-3 – цех контроля, упаковки и маркировки готовой продукции.

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.

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

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

«Где $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность силового трансформатора, кВА» [12];

« $\Sigma P_{p.}$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ЦТП, кВт» [12];

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

«Расчёт и выбор мощности силовых трансформаторов на цеховых ТП в работе проводится на примере ТП-1» [17] внутренней СЭС завода по производству холодильников по условию (19).

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

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

Суммарная расчётная полная нагрузка «цеховой ТП-1 (10/0,4 кВ) по условию (16)» [19]:

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

«Расчётная мощность силового трансформатора ТП-1» [12]:

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

«Для установки на ЦТП-1 внутренней СЭС завода по производству холодильников, 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» [18].

Таблица 5 – Результаты выбора трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ СЭС завода по производству холодильников

Номер цеховой ТП	Наименование цеха (участка)	S_p , кВт	$S_{p.ТП}$, кВт	Категория надёжности	Количество (единиц) и тип силовых трансформаторов
ТП-1	Цех сборки холодильников	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 морозильных камер и специальной холодильной техники	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 контроля, упаковки и маркировки готовой продукции	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 по производству холодильников.

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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников, проверяются на условие надёжности уставки релейной защиты и автоматики на надёжность срабатывания.

Для расчета максимальных токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения завода по производству холодильников 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 8) [14].

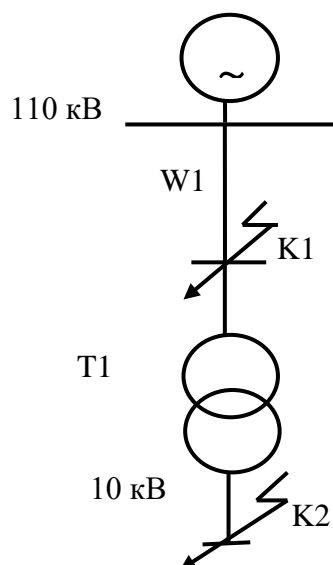


Рисунок 8 – Расчетная схема для расчета токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС завода по производству холодильников

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

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением.

Как правило, в сети напряжением выше 1 кВ решающее значение имеют индуктивные сопротивления элементов.

Значениями активных сопротивлений при расчёте токов КЗ в таком случае можно пренебречь [17].

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

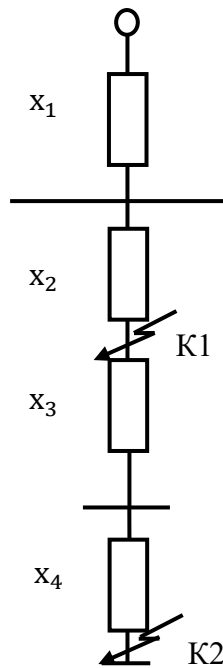


Рисунок 9 – Исходная полная схема замещения электрической сети для расчетов токов КЗ на шинах 110 кВ и 10 кВ внешней СЭС завода по производству холодильников

В исходной схеме для расчёта токов КЗ необходимо учесть все основные элементы, которые влияют на результаты расчёта своими индуктивными сопротивлениями, которые необходимо учитывать в данных схемах в первую очередь [12].

Для питающей подстанции энергосистемы (по данным энергосистемы):
 $S_{\sigma} = 400 \text{ МВА}$.

Величина базисного напряжения на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников «принимается больше значения номинального напряжения сети на 5%» [17].

«Базисное напряжение» [16]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«Далее в работе поочерёдно определяется значение сопротивлений схемы замещения» [17].

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

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

«По условию (19)» [17]:

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

«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].

«По условию (20)» [17]:

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

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

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

«По условию (21)» [17]:

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

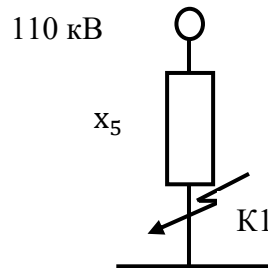
«Сопротивление обмотки НН трансформатора ГПП-110/10 кВ» [17]:

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

«По условию (22)» [17]:

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

«Схема замещения для точки К1, представлена на рисунке 11» [17].



«Рисунок 11 – Схема замещения, преобразованная для точки К1» [17]

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

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

«По условию (23)» [17]:

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

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

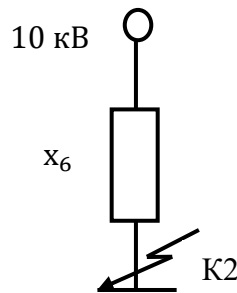
$$I_{\text{пол}} = \frac{E}{X_8} \cdot I_{\phi}, \quad (24)$$

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

«По условию (24)» [17]:

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

«Схема замещения для расчета тока трёхфазного короткого замыкания в расчётной точке К2 представлена на рисунке 11» [17].



«Рисунок 11 – Схема замещения для расчетов в точке К2

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

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

«По условию (25)» [17]:

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

«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):

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

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]:

$$i_{уд1} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_{по1}. \quad (27)$$

По условию (27):

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

Для К2:

$$i_{уд2} = \sqrt{2}k_{уд} \cdot I_{по2}. \quad (28)$$

По условию (28):

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

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» [17]:

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

«В расчётной точке К2 на ГПП-110/10 кВ» [17]:

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

«Результаты расчётов токов КЗ в системе электроснабжения завода по производству холодильников приведены в таблице 6» [17].

Таблица 6 – Результаты расчётов токов КЗ

Расчётная точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{\kappa}^{(2)}, \text{кА}$	$i_{уд}, \text{кА}$
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 по производству холодильников, 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» [17] СЭС, а также проводится расчёт уставок РЗА трансформаторов ГПП.

2.6 Выбор и проверка проводников на ГПП завода по производству холодильников

Далее в работе необходимо провести выбор и проверочный расчёт проводников СЭС системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников.

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 по производству холодильников, «осуществляется по известному условию экономической плотности тока» [11]:

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (30)$$

где $I_{\text{н}}$ – расчетное значение тока линии (ток нормального режима), А» [6];

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

«При этом расчетное значение рабочего тока нормального режима линии, с учётом номинального напряжения и количества цепей, принятых согласно схеме» [19]:

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (31)$$

«где $S_{\text{р}}$ – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [10];

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 по производству холодильников [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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников 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:

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

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

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

В работе, для большей надёжности 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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников [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 по производству холодильников:

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

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»).

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

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

Условие (36) выполняется:

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

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

«Проверка в нормальном режиме выполняется» [19]:

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

«Проверка в послеаварийном режиме также выполняется» [19]:

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

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 по производству холодильников (таблица 7).

Таблица 7 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения завода по производству холодильников

Линия	Длина КЛ, м	Расчётные значения			Результаты выбора	
		$I_{p \text{ норм}}, \text{ А}$	$F_{э}, \text{ мм}^2$	$F_{ст.}, \text{ мм}^2$	Марка КЛ	$I_{дл.}, \text{ А}$
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

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 по производству холодильников 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 по производству холодильников представлены в таблице 8.

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

Наименование РУ ГПП	Тип/марка ошиновки	Длительный режим		Проверка
		$I_n \geq I_{p,max}$, А	Сечение q_n , мм ²	$q_n \geq q_{min}$, 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 по производству холодильников, удовлетворяют условиям выбора и нормативных требуемых проверок [18].

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов на ГПП завода по производству холодильников

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

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 по производству холодильников.

Основными аппаратами защиты и коммутации в системе внешнего электроснабжения завода по производству холодильников, 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» [6]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (37)$$

«Где $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [8];

– по максимальному рабочему току:

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n. \quad (38)$$

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

Проверка выключателя предполагает выполнение следующих обязательных условий [18]:

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

$$I_{\pi\tau} \leq I_{\text{откн.н}}. \quad (39)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{откн.н}} (1 + \beta_n), \quad (40)$$

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

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

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

$$t = t_{z.\text{мин}} + t_{c.v}, \quad (41)$$

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, с» [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):

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

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

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

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

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

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

Таким образом, 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 по производству холодильников.

Элегазовые выключатели являются современным типом выключателей, которые используются в энергетических системах для управления потоками электроэнергии.

Они имеют ряд преимуществ по сравнению с другими типами выключателей, такими как масляные или воздушные выключатели.

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 по производству холодильников, высоковольтные выключатели напряжением 10 кВ подразделяются на следующие типы:

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

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

«Результаты выбора выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников, представлены в таблице 9» [19].

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

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

Все выбранные выключатели для установки на вводных, секционном и линейных соединениях в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников, 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 по производству холодильников 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 по производству холодильников, представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Разъединитель РГ-110/1000У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
	$I_{ном} \geq I_p$	$I_{ном} = 1000$ А	$I_p = 23,17$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100$ кА	$i_{уд} = 2,84$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 100^2 \cdot 3 = 30000$ кА ² ·с	$B_k = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2$ кА ² ·с

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

«Результаты сравнительного технического выбора и проверки данного трансформатора тока, представлены в таблице 11» [10].

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

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТВТ-110-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 110$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
	$I_{ном} \geq I_p$	$I_{ном} = 300$ А	$I_p = 23,17$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 120$ кА	$i_{уд} = 2,84$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 120^2 \cdot 3 = 43200$ кА ² ·с	$B_k = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2$ кА ² ·с

«Производится выбор трансформатора тока для установки на стороне напряжением 10 кВ» [18]. «Предварительно выбирается трансформатор тока для установки в РУ-10 кВ марки ТЛО-10-У3 (таблица 12)» [19].

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

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Трансформатор тока ТЛО-10-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10$ кВ	$U_{сети} = 110$ кВ
	$I_{ном} \geq I_p$	$I_{ном} = 1000$ А	$I_p = 23,17$ А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80$ кА	$i_{уд} = 2,84$ кА
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_k$	$I_T^2 \cdot t_T = 80^2 \cdot 3 = 19200$ кА ² ·с	$B_k = 2,84^2 \cdot 3 = 24,2$ кА ² ·с

В работе трансформаторы напряжения устанавливаются в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников. «Производится выбор трансформатора напряжения для установки на стороне напряжением 10 кВ» [18]. «Предварительно выбирается трансформатор напряжения для установки в РУ-10 кВ марки НАМИ-10» [19]. «Результаты выбора трансформаторов напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников представлены в таблице 13» [19].

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

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 по производству холодильников, установлено, что всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ОРУ-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.

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

- 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.

Таким образом, на основе проведения анализа литературных источников [8,12], установлено, что все выбранные в работе схемные решения являются наиболее рациональными для их практического внедрения в системе электроснабжения завода по производству холодильников.

В работе, исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт

электрической нагрузки системы электроснабжения завода по производству холодильников.

Рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения завода по производству холодильников 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 по производству холодильников 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 по производству холодильников установлено следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения завода по производству холодильников, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;
- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения завода по производству холодильников, 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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников:

- 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 по производству холодильников.

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.

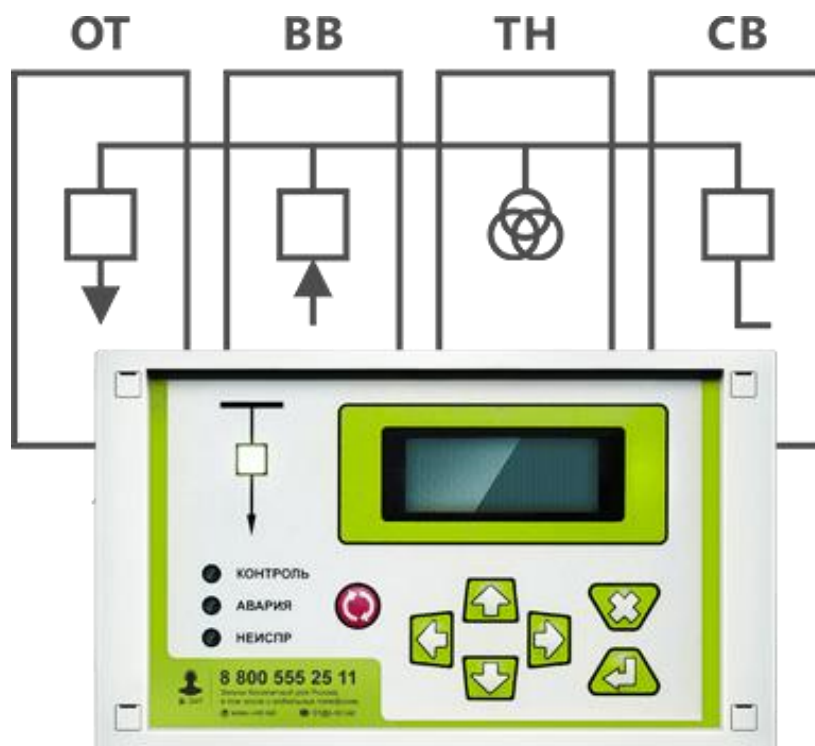
Осуществлён выбор современных электрических аппаратов ГПП, для их установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС завода по производству холодильников.

3 Выбор схемы релейной защиты завода по производству холодильников

Далее в работе выбираются типы релейной защиты и автоматики для защиты основного оборудования подстанции – силовых трансформаторов и линий ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству холодильников. Также определяются основные схемы РЗА для защиты основных элементов ГПП.

В качестве основного типа устройств, на котором будет реализована РЗА, выбраны микропроцессорные блоки серии БЗП, 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 Российской Федерации.

Внешний вид и функционал микропроцессорных блоков серии БЗП представлен на рисунке 12.



«Рисунок 12 – Внешний вид и функционал микропроцессорных блоков серии БЗП» [13]

На понижающем автотрансформаторе ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству холодильников предусмотрены следующие основные защиты:

- 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 по производству холодильников 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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников от межфазных КЗ, используется продольная дифференциальная токовая защита с абсолютной селективностью [13,14].

Выбранная схема продольной дифференциальной токовой защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ с абсолютной селективностью представлена на рисунке 13.

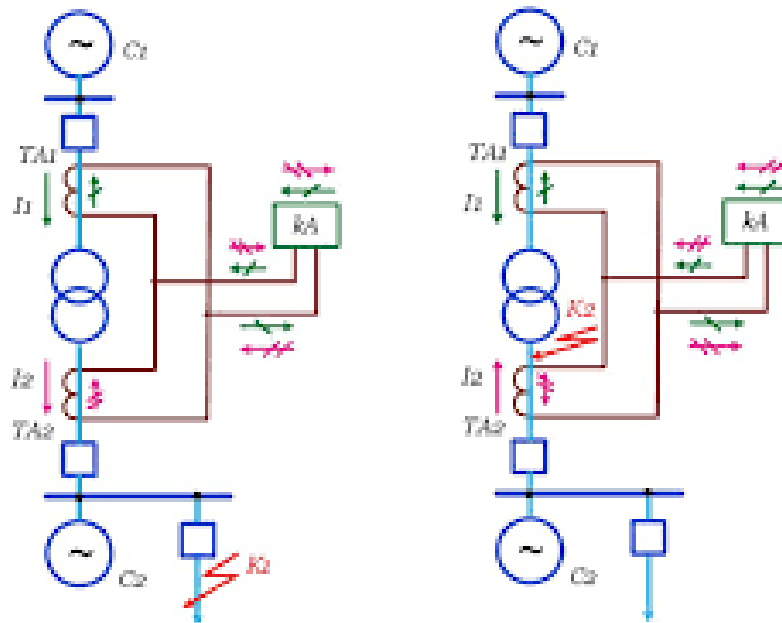


Рисунок 13 – Выбранная схема продольной дифференциальной токовой защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ с абсолютной селективностью

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

Защита от перегрузки трансформаторов ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству холодильников выполняется с действием на сигнал, так как даже при значительных перегрузках не требуется быстрого отключения трансформатора.

Выбранная схема токовой защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от перегрузки представлена на рисунке 14.

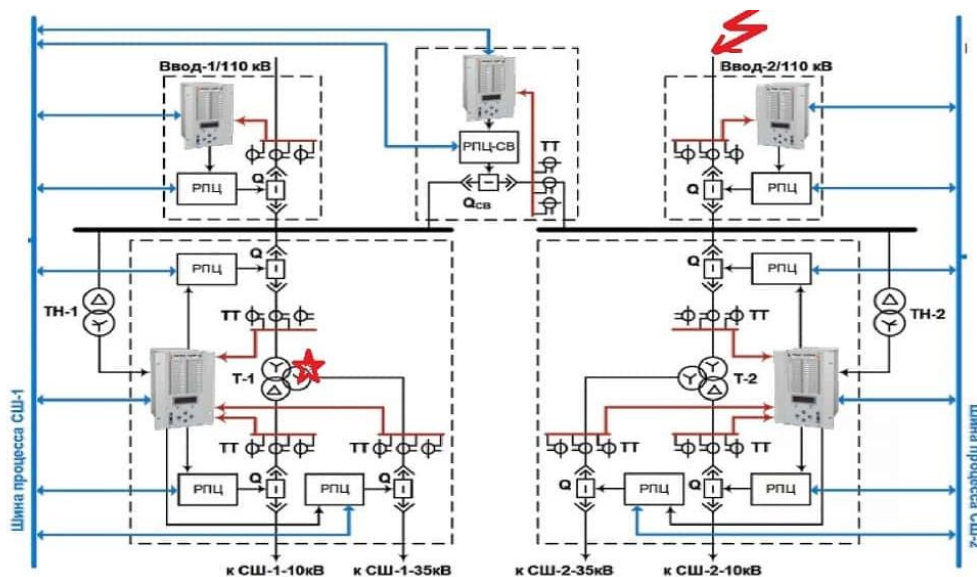


Рисунок 14 – Выбранная схема токовой защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ от перегрузки

В работе максимальная токовая защита (МТЗ) устанавливается как на стороне ВН (110 кВ), так и на других сторонах силовых трансформаторов и автотрансформаторов, обеспечивая, таким образом, резервирование и селективность.

Следовательно, в работе на выводах силовых трансформаторов принимается несколько (два или три) комплекта МТЗ.

МТЗ будет установлена на каждой из обмоток автотрансформаторов связи подстанции для защиты от внутренних ненормальных режимов.

Выбранная схема максимальной токовой защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ представлена на рисунке 15.

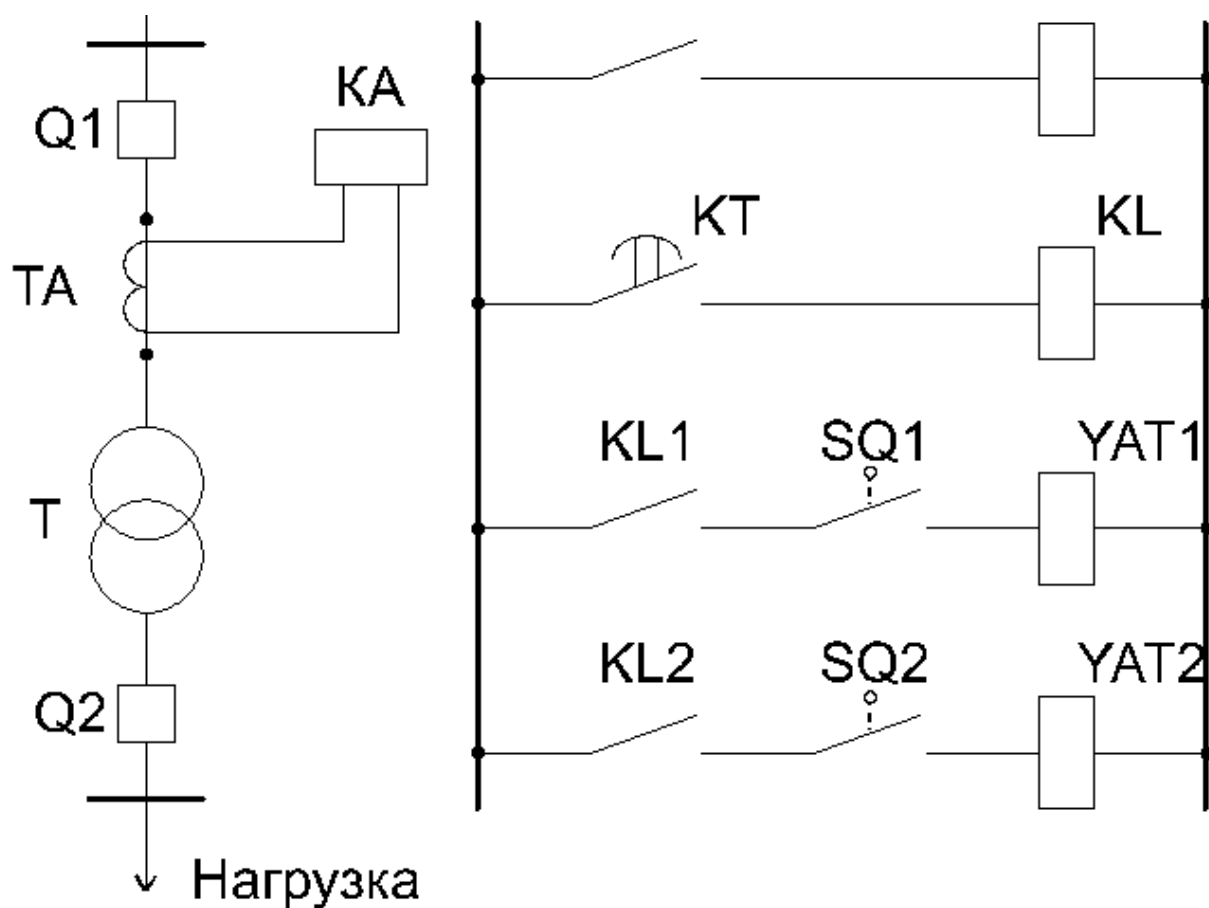


Рисунок 15 – Выбранная схема максимальной токовой защиты силовых трансформаторов ГПП-110/10 кВ

В качестве защиты сборных шин 110 кВ на ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения завода по производству холодильников, 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.

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 шиносоединительном выключателе 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 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 по производству холодильников 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 отходящих кабельных линий напряжением 10 кВ системы электроснабжения завода по производству холодильников.

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 по производству холодильников (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 по производству холодильников, осуществляемая с целью ввода нового объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью» [14].

«Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового завода по производству холодильников, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по условиям технологического процесса» [16].

Исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения завода по производству холодильников.

В результате проведения выбора и проверок силовых трансформаторов для установки в системе электроснабжения завода по производству холодильников установлено следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения завода по производству холодильников, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;
- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения завода по производству холодильников, 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 по производству холодильников, 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 по производству холодильников:

- 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».

Осуществлён расчёт следующих токов короткого замыкания в проектируемой системе электроснабжения завода по производству холодильников:

- 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 по производству холодильников.

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 по производству холодильников (дифференциальной защиты, защиты от перегрузки, максимальной токовой защиты, защиты шин и прочие виды защит).

В результате выполнения работы, выбраны, обоснованы, и предложены для практического применения мероприятия, позволяющие выполнить качественное проектирование схемы электрических соединений системы внешнего электроснабжения завода по производству холодильников, с высокими показателями надёжности, экономичности и электробезопасности принятых решений.

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: 10.03.2023).
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: 10.03.2023).
3. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие / С. А. Ерошенко. УрФУ им. Б.Н. Ельцина. Екатеринбург: Изд. УрФу, 2019. 104 с.
4. Исследование деятельности Минского завода холодильников ЗАО «Атлант». [Электронный ресурс]: URL: https://revolution.allbest.ru/manufacture/00617709_0.html (дата обращения: 10.03.2023).
5. Кабышев И.П. Выбор схем электроснабжения и практические расчёты по выбору оборудования. М.: Энергоиздат, 2018. 210 с., ил.
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
8. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 N 87 (ред. от 01.12.2021) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/902087949> (дата обращения: 10.03.2023).

9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
11. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 10.03.2023).
13. Рогалев Н.Д. Энергосбережение: учебное пособие для ВУЗов. Москва: МЭИ, 2020. 242 с.
14. Самарин О. Д. Энергосбережение. Энергоэффективность. Москва: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2019. 296 с.
15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. 464 с.
16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
17. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
18. Технологический процесс изготовления бытовых холодильников. [Электронный ресурс]: URL: <https://studfile.net/preview/3795696/page:21/> (дата обращения: 10.03.2023).
19. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. М.: Лань, 2019. 480 с.
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 136 с.