

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 предприятия по производству кондитерских изделий

Обучающийся

Р.В. Кулдыркаев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

«Цель работы – разработка проекта системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий» [12].

Для решения поставленных задач, в работе осуществлена разработка и обоснование следующих мероприятий: приведена краткая характеристика электрического хозяйства предприятия, произведён расчет электрических нагрузок и токов короткого замыкания, выбор числа и мощности трансформаторов для установки на ГПП и цеховых ТП, выбраны установки для компенсации реактивной мощности, произведён выбор сечений проводов и кабелей, осуществлена разработка схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, а также выбор и проверка электрических проводников и аппаратов для установки в схеме электроснабжения объекта проектирования.

Выбраны устройства и типы релейной защиты и автоматики для защиты высоковольтного электродвигателя компрессорной.

Рассчитано заземление ГПП проектируемого предприятия.

Результатом «работы является обоснование технических решений для внедрения в систему электроснабжения предприятия по производству» [12] кондитерских изделий, которые позволяют повысить надёжность, безотказность работы, экономичность передачи и распределения электроэнергии, а также условия электробезопасности.

## Содержание

Введение .....	4
1 Анализ исходных данных на проектирование предприятия по производству кондитерских изделий.....	6
2 Проектирование проектирования системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий .....	18
2.1 Анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории предприятия по производству кондитерских изделий .....	18
2.2 Расчёт электрических нагрузок предприятия .....	20
2.3 Выбор трансформаторов ГПП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий .....	28
2.4 Выбор трансформаторов цеховых ТП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий .....	32
2.5 Выбор конденсаторных установок на цеховых ТП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий	36
2.6 Расчёт токов коротких замыканий .....	38
2.7 Выбор и проверка проводников на ГПП предприятия по производству кондитерских изделий.....	49
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов предприятия по производству кондитерских изделий .....	53
3 Расчёт релейной защиты заземления предприятия по производству кондитерских изделий.....	63
3.1 Расчёт релейной защиты высоковольтного двигателя компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий .....	63
3.2 Расчёт заземления на ГПП предприятия по производству кондитерских изделий.....	64
Заключение .....	68
Список используемых источников.....	71

## Введение

Пищевая промышленность, к которой относится проектируемое в работе предприятие по производству кондитерских изделий, является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей страны, ежегодно поставляя в него определённую часть дохода [12]. В условиях санкционной политики, а также ограничением цен на основные комплектующие и материалы, а также инновационные технологии, со стороны западных стран (США и ЕС), остро встанёт вопрос о перевооружении и модернизации пищевого отечественного производства.

В связи с описанными проблемами, необходимо искать пути их решения.

Данный процесс напрямую связан с внедрением современных энергосберегающих и эффективных технологий в данном направлении.

В пищевой промышленности, в частности, в её отрасли по производству кондитерских изделий, необходимо применять технические и технологические решения на стадии проектирования, а также модернизации и реконструкции систем электроснабжения существующих предприятий пищевой промышленности, что обуславливает актуальность и практическую ценность данной работы.

Цель работы и основная задача проводимых исследований – разработка качественного проекта «системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий» [10].

«Объектом исследования в данной работе является электрическая часть системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий. Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема электроснабжения объекта исследования, а также её составные части – питающая и распределительная сеть (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети высокого и низкого напряжения, аппаратура распределительных устройств)» [7].

Для решения поставленных задач, в работе осуществлена разработка и обоснование следующих мероприятий:

- приведена краткая характеристика и анализ данных по электроснабжению потребителей предприятия;
- произведён расчет электрических нагрузок предприятия;
- осуществлён выбор числа и мощности трансформаторов для установки на ГПП и ЦТП с выбором установок для компенсации реактивной мощности;
- рассчитаны токи короткого замыкания;
- произведён выбор сечений проводов и кабелей, а также электрических аппаратов для установки в схеме электроснабжения предприятия;
- выбраны устройства и типы релейной защиты и автоматики для защиты высоковольтного электродвигателя компрессорной;
- рассчитаны контур заземление и молниезащита на ГПП предприятия.

Результатом «работы является обоснование технических решений для внедрения в систему электроснабжения предприятия по производству» [13] кондитерских изделий, позволяющие повысить надёжность, безотказность работы, экономичность передачи и распределения электроэнергии, а также условия электробезопасности.

## **1 Анализ исходных данных на проектирование предприятия по производству кондитерских изделий**

Известно, что ввод в эксплуатацию качественно новых объектов производства кондитерских изделий, на которых основной производственный цикл и оборудование были бы современными и сконцентрированными на одной общей территории, технически и экономически выгодными и рентабельными.

В связи с расширением производства и сопутствующим дефицитом мощностей, принято решение о сооружении нового предприятия по производству кондитерских изделий, которое будет укомплектовано современным оборудованием с использованием передового научно-технического прогресса.

Одним из таких предприятий должен стать рассматриваемый в работе объект – предприятие по производству кондитерских изделий универсального типа, основная задача которого – производство высококачественных кондитерских изделий в промышленном масштабе, а также сопутствующих товаров пищевой промышленности народного потребления.

На основании перечисленных аспектов можно сделать вывод, что современные промышленные предприятия, производящие кондитерские изделия, требуют комплексного и квалифицированного подхода к проектированию всех систем обеспечения жизнедеятельности, в особенности систем электроснабжения.

Поэтому разработка качественного проекта системы электроснабжения объекта исследования, является важнейшей задачей работы.

Увеличение спроса на кондитерские изделия и товары пищевой промышленности в общем, а также близость логистических цепей и наличие необходимых мощностей, обуславливает целесообразность ввода в эксплуатацию системы электроснабжения данного объекта.

Рассматриваемый в работе объект проектирования (предприятие по

производству кондитерских изделий), выполняет роль предприятия, обеспечивающего производство и реализацию потребителям различных видов кондитерской продукции, а также сопутствующих изделий из них.

При этом планируется выпуск данной продукции в промышленных масштабах, что требует следующих основных производственных составляющих и условий:

- наличие значительной территории, с учётом расширения логистических цепочек поставок материалов и сбыта готовой продукции;
- наличие значительных мощностей, которые необходимы для питания производства на предприятии;
- применение централизованного питания от энергосистемы, отказ от большого количества вводов, а также минимум промежуточных звеньев в системе электроснабжения;
- применение понизительных трансформаторных подстанций 6(10)/0,4 кВ для питания конечных потребителей цехов и производственных участков;
- применение скрытой прокладки проводников на территории предприятия (согласно требованиям по электробезопасности [9]);
- требования к сохранности окружающей среды [10].

Таким образом, к проектируемому в работе предприятию по производству кондитерских изделий, применяется многочисленные требования нормативных документов.

Данные аспекты необходимо учесть в работе.

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

На проектируемом предприятии по производству кондитерских изделий предполагается выпуск широкого ассортимента пищевой продукции в

промышленных масштабах [16].

Технология производства той или иной продукции на предприятие по производству кондитерских изделий, напрямую зависит от вида и типа этого продукта.

Технологическая схема производства основных видов продукции предприятия по производству кондитерских изделий очень разнообразна, поэтому ниже рассматривается основная из них [16].

Рассматривая схемы производства и производимую продукцию на предприятии по производству кондитерских изделий, можно выделить несколько основных технологических производственных схем [16]:

- схема производства кондитерской продукции с карамелью;
- схема производства кондитерской выпечки без начинки;
- схема производства кондитерской выпечки с начинкой.

Все три данные технологические схемы являются основными на проектируемом предприятии по производству кондитерских изделий, поэтому приводится их краткая схема.

Технологическая схема производственного процесса производства тортов и бисквитов, на предприятия по производству кондитерских изделий, представлена на рисунке 1 [17].

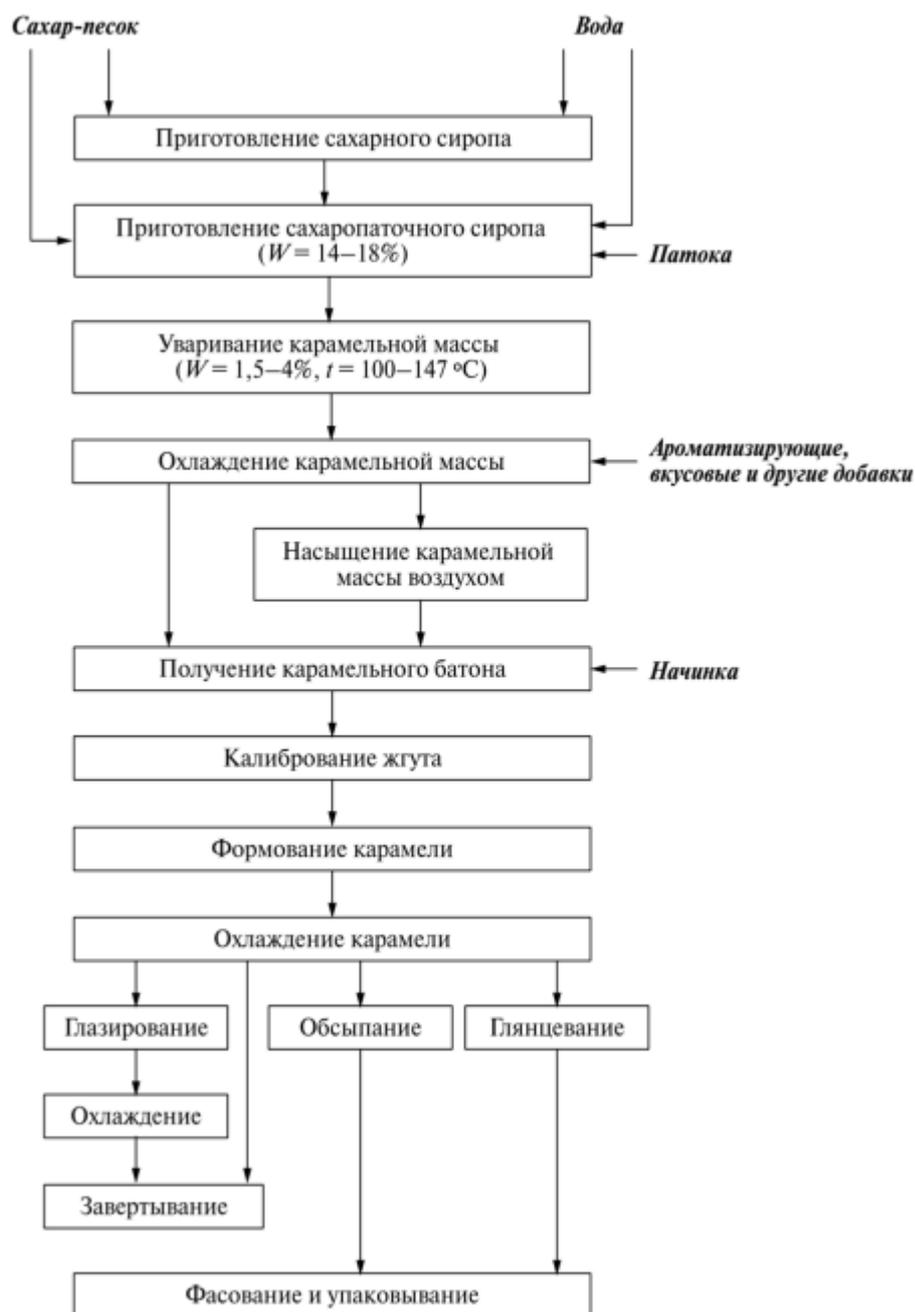


Рисунок 1 – Технологическая схема производственного процесса производства кондитерской продукции с карамелью

Технологическая схема производственного процесса производства кондитерской выпечки без начинки, на предприятия по производству кондитерских изделий, представлена на рисунке 2 [17].

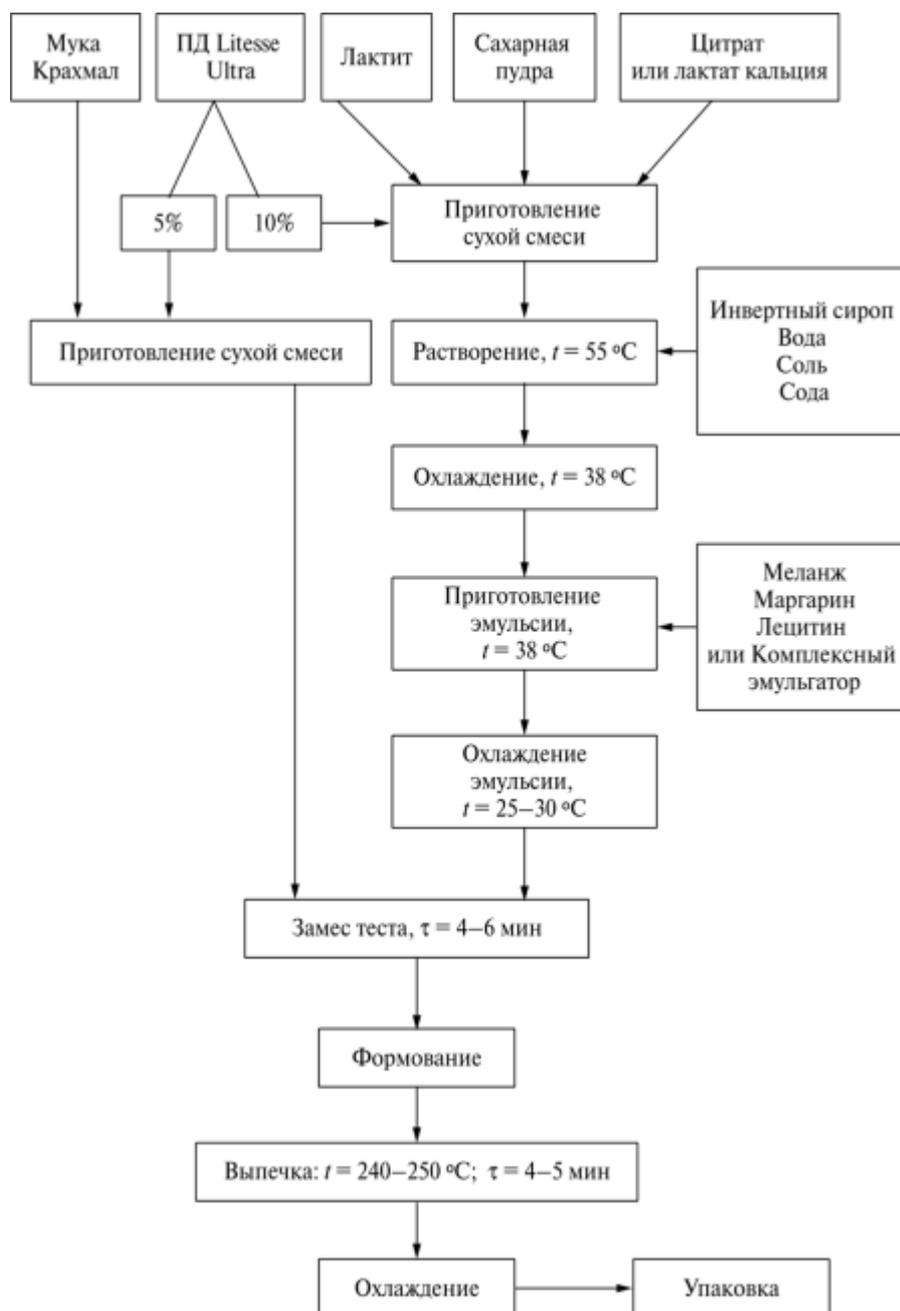


Рисунок 2 – Технологическая схема производственного процесса производства кондитерской выпечки без начинки

Технологическая схема производственного процесса производства кондитерской выпечки с начинкой, на предприятия по производству кондитерских изделий, представлена на рисунке 3 [17].



Рисунок 3 – Технологическая схема производственного процесса производства кондитерской выпечки с начинкой

Таким образом, исходя из технологической схемы производственного процесса производства основных видов продукции на предприятия по производству кондитерских изделий, на объекте проектирования можно выделить следующие основные этапы производства [17]:

- подготовительный этап – включает доставку, хранение и транспортирование исходных материалов, применяемых в технологическом процессе изготовления кондитерских изделий, а также подготовку первичного материала и сырья для производства;

- основной производственный этап – предусматривает непосредственное изготовление кондитерских изделий в зависимости от их вида и типа, с последующей упаковкой и маркировкой готовой продукции;
- заключительный этап – включает контроль качества готовой продукции, взвешивание, фасовку в тару, а также хранение и доставку потребителю.

Согласно исходному заданию на выполнение работы, в рассматриваемой системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, имеется три основных производственных корпуса, которые вносят основной вклад в технологический процесс производства готовой продукции.

Исходя из технологического процесса производства, описанного ранее, с учётом исходных данных на выполнение задания, к основным производственным корпусам предприятия по производству кондитерских изделий относятся [16]:

- цех производства кондитерской продукции с карамелью;
- цех производства кондитерской выпечки без начинки;
- цех производства кондитерской выпечки с начинкой.

Перечисленные производственные цеха и корпуса являются основными в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

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

«К таким подразделениям относятся» [17]:

- технический комплекс обеспечения основного производства. «Это – один из наиболее энергоёмких комплексных подразделений предприятия, включает в себя оборудование насосных» [12] (насосная перекачки сточных вод и насосная водопровода), котельной и

компрессорной с мощными 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, ремонтно-механический цех» [12], цех контроля продукции, цех упаковки готовой продукции;
- «складской комплекс – состоит из совокупности складских помещений и служит для хранения первичного сырья и материалов» [12], а также готовой продукции и сопутствующих материалов, включает складские помещения (склад муки и сахара, склад готовой продукции, склад кондитерских изделий, склад-магазин);
- прочие объекты – не является непосредственным звеном основного технологического процесса, к ним относятся: административное помещение и бытово-обслуживающий комплекс, а также автопарк.

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

По номинальному напряжению потребителей основных подразделений проектируемой системы электроснабжения цехов и участков предприятия по производству кондитерских изделий, можно сделать вывод, что все потребители, за исключением мощных высоковольтных электродвигателей номинальным напряжением 10 кВ компрессорной, относятся к электроприёмникам низкого номинального напряжения (0,38/0,22 кВ).

В форме таблицы 1, приведены основные данные цехов и участков проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, с указанием установленной мощности каждого подразделения.

Таблица 1 – Основные данные и систематизация подразделений предприятия по производству кондитерских изделий по категориям надёжности

№ цеха (участка) по плану	Наименование цеха	Установленная мощность, $P_{уст}$ , кВт	Тип подразделения/ категория надёжности
1	Административное помещение	90	Неосновной вспомогательный/ III
2	Бытово-обслуживающий комплекс	1100	Неосновной вспомогательный/ III
3	Цех производства кондитерской продукции с карамелью	780	Основной производственный/ I
4	Электроцех	800	Основной вспомогательный/ II
5	Склад муки и сахара	1000	Неосновной вспомогательный/ III
6	Цех производства кондитерской выпечки без начинки	1600	Основной производственный/ I
7	Склад готовой продукции	200	Неосновной вспомогательный/ III
8	Компрессорная (10 кВ)	1800	Основной вспомогательный/ II
	Компрессорная (0,38 кВ)	250	
9	Склад кондитерских изделий	380	Неосновной вспомогательный/ III
10	Цех производства кондитерской выпечки с начинкой	600	Основной производственный/ I
11	Ремонтно-механический цех	355	Основной вспомогательный/ II
12	Склад-магазин	150	Неосновной вспомогательный/ III
13	Участок контроля технологического процесса	100	Основной вспомогательный/ II
14	Автопарк	90	Неосновной вспомогательный/ III
15	Цех упаковки готовой продукции	380	Основной вспомогательный/ II
16	Насосная перекачки сточных вод	1500	Основной вспомогательный/ II
17	Насосная водопровода	800	Основной вспомогательный/ II
18	Котельная	150	Основной вспомогательный/ II
Всего по предприятию по производству кондитерских изделий		12125	-

Исходный план расположения приведённых в таблице 1 (по номерам на генплане) основных производственных и непроизводственных подразделений на территории предприятия по производству кондитерских изделий, представлен на рисунке 4.

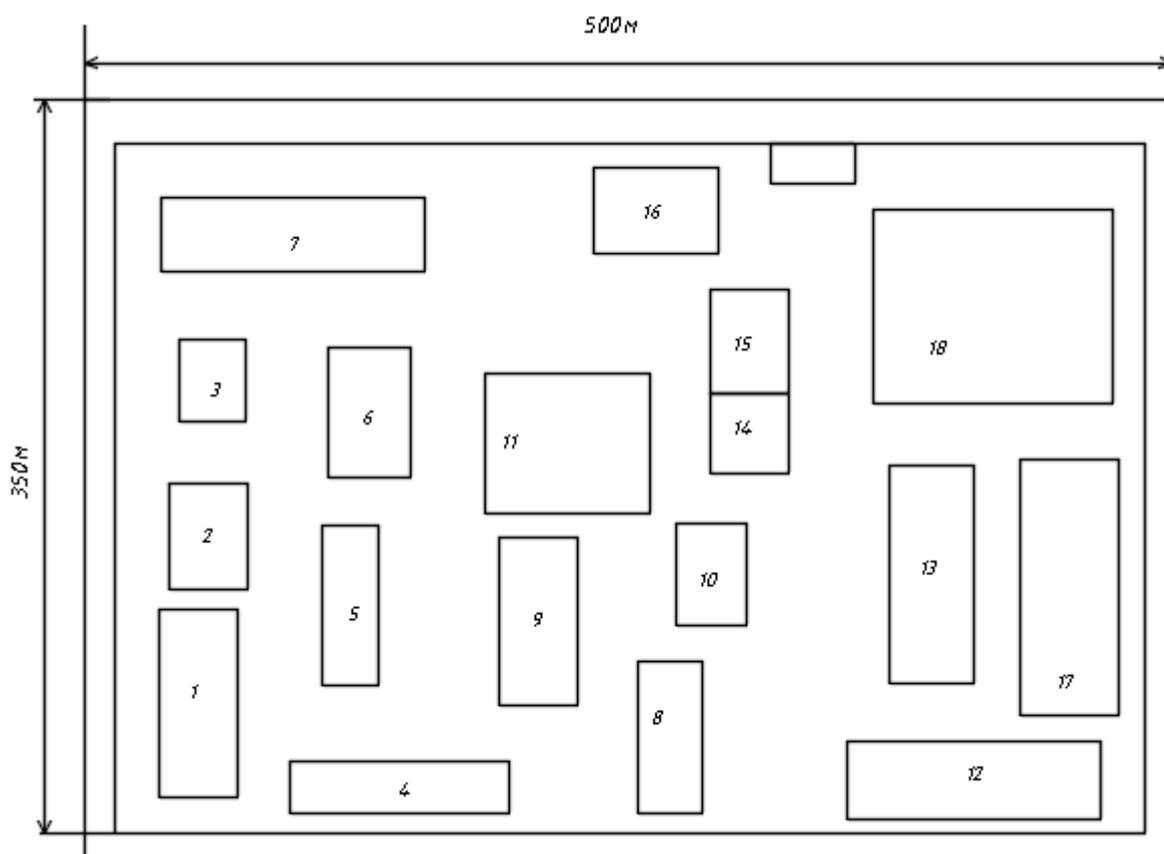


Рисунок 4 – Исходный план расположения основных подразделений на территории предприятия по производству кондитерских изделий

Также в работе используются следующие основные исходные данные согласно заданию на проектирование:

- проектируемое предприятие пищевой промышленности отечественного производства (новый предприятие по производству кондитерских изделий универсального типа), по категории надёжности районных потребителей, относится ко II категории;
- питание проектируемого предприятия по производству кондитерских изделий от энергетической системы предполагается осуществить от узловой районной подстанции с классами напряжения 110/35/6 кВ, на

которой находятся два силовых трансформатора, расстояние до данной питающей ПС составляет 6 км;

- возможны два варианта питания проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий: от шин 35 кВ (распределительное питание отходящими линиями от РУ-35 кВ районной подстанции) или от шин 110 кВ (транзитное питание от ввода 110 кВ РУ-110 кВ районной подстанции);
- прокладка воздушной линии электропередачи от питающей районной ПС-110/35/10 кВ энергосистемы возможна как на напряжении 110 кВ, так и на напряжении 35 кВ;
- все потребители цехов получают питание от источников на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ, за исключением компрессорных установок с приводными высоковольтными двигателями 10 кВ, находящимися в здании компрессорной завода.

Дальнейшее проектирование системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий осуществляется согласно исходным данным на выполнение работы с применением принятых расчётных и аналитических методик.

Выводы по разделу.

«В работе было приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового предприятия по производству кондитерских изделий, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по» [5] условиям технологического процесса.

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

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

Исходя из приведённой информации, установлено, что среди потребителей проектируемой системы электроснабжения цехов и участков предприятия по производству кондитерских изделий, на территории предприятия расположено восемнадцать основных подразделений, из которых три (основные производственные) относятся к I категории надёжности, восемь подразделений (неосновные производственные) – ко II категории и семь подразделений (неосновные непроизводственные) – к III категории надёжности.

Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, с внедрением основных групп мероприятий, будет способствовать значительному повышению параметров надёжности, бесперебойности, качества, электробезопасности и экономичности на объекте исследования.

Таким образом, технологический процесс основного производства на объекте проектирования будет согласован со всеми необходимыми документами и их нормами.

Приведённая информация является основой для проектирования системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, которое осуществляется в работе далее.

## **2 Проектирование проектирования системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий**

### **2.1 Анализ и выбор схемы для распределения электроэнергии по территории предприятия по производству кондитерских изделий**

Ранее в работе, в результате проведения технического анализа, расчётным путём было установлено, что для проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, наиболее рационально подходит высшее напряжение, равное 110 кВ, а для внутренней системы объекта проектирования – напряжение 10 кВ.

Также было установлено, что основным и единственным источником питания во внешней системе электроснабжения проектируемого предприятия по производству кондитерских изделий, является двухтрансформаторная питающая ГПП-110/10 кВ.

ГПП-110/10 кВ в работе выполняется закрытой (включая закрытые ЗРУ 110 кВ и 10 кВ).

Согласно [5], для применения в ЗРУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий, выбирается @схема двух блоков трансформатор – линия, которые для большей гибкости соединены неавтоматической перемычкой из двух разъединителей (схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий»») [5] .

Таким образом, для схемы внешнего электроснабжения завода, на питающей ГПП-110/10 кВ принимается схема «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий».

Данная схема ВН ГПП-110/10 кВ выполнена с резервированием при двух силовых трансформаторах, при этом сама ГПП-тупиковая.

Указанная схема подходит по всем критериям и параметрам для установки на стороне ВН ГПП-110/10 кВ предприятия по производству кондитерских изделий.

На основании проведённого анализа, в работе составляется структурная схема ГПП-110/10 кВ внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий (рисунок 5) [1].

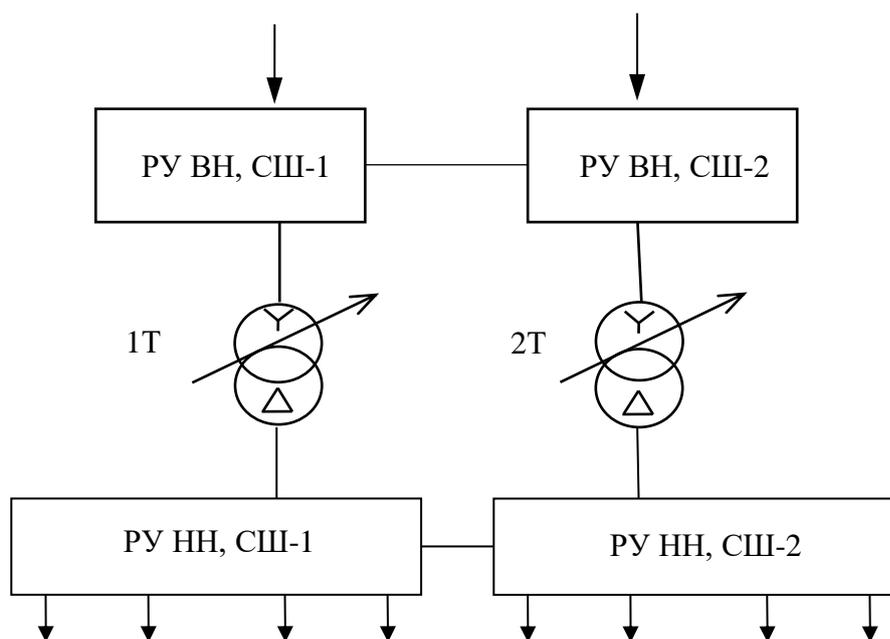


Рисунок 5 – Структурная схема ГПП-110/10 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

Для низшего напряжения структурной схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, ранее в работе обосновано и принято номинальное напряжение 10 кВ.

Для применения в РУ-10 кВ питающей ГПП, принимается наиболее рациональная схема «Одна секционированная система шин» [4,20].

Секционный выключатель в нормальном режиме работы схемы РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ отключён, режим работы – раздельный. От шин РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, получают питание цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ.

Количество трансформаторных цеховых подстанций 10/0,4 кВ выбрано в работе ранее и составляет три двухтрансформаторных ТП-10/0,4 кВ.

Для их питания от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, исходя из заявленной категории надёжности потребителей, применения наиболее рациональная схема «Радиальная схема с резервированием на секции шин источника питания (РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ)» [4,20].

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

Для непосредственного применения на всех двухтрансформаторных ЦТП-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».

Секционные выключатели, установленные на всех ТП-10/0,4 кВ с низкой стороны, в нормальном режиме работы отключены, обеспечивая отдельный режим работы секций сборных шин 0,4 кВ подстанций. Такая схема – надёжна и экономична.

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

Все принятые в работе схемные решения показаны в графической части работы.

## **2.2 Расчёт электрических нагрузок предприятия**

Далее в работе, для достижения поставленной цели, необходимо провести расчёт электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, результаты которых

далее будут использованы для расчёта максимальных рабочих токов с последующими выбором и проверкой силовых трансформаторов, проводников линий, сборных шин, а также нового основного оборудования распределительных устройств электрической части ГПП и цеховых ТП объекта проектирования.

На основании рассчитанных значений электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, 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.

«Наиболее оптимальным методом при расчёте значений электрических нагрузок, является метод коэффициента спроса» [8].

«Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия является номинальная нагрузка потребителей,  $P_{уст}$ » [5], с учётом коэффициента спроса, показывающий, насколько рационально используется электроэнергия в системе электроснабжения объекта [8].

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

$$P_p = K_c P_n, \quad (1)$$

где  $P_n$  – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) проектируемого предприятия по производству

кондитерских изделий, кВт» [8];

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

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству кондитерских изделий, квар» [6]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2)$$

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

«Расчетная полная нагрузка силовых электроприёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого предприятия по производству кондитерских изделий, кВА» [6]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_{p.}^2}. \quad (3)$$

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников цеха (участка) предприятия по производству кондитерских изделий, кВт» [1]:

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

где  $K_{c.o}$  – справочный коэффициент спроса освещения цеха» [4];

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

«При этом» [1]:

$$P_{н.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

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

$F$  – «площадь соответствующего цеха (участка), м<sup>2</sup>» [1].

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

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

Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ЦТП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02S_{p.н.}, \text{ кВт}; \quad (7)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1S_{p.н.}, \text{ квар}. \quad (8)$$

Потери активной мощности в трансформаторах ГПП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт}; \quad (9)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.Σ}, \text{ квар}. \quad (10)$$

Расчёт электрических нагрузок в работе проводится на примере цеха производства кондитерской продукции с карамелью системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий по условиям (1) – (3). «Расчётная активная нагрузка силовых потребителей цеха производства кондитерской продукции с карамелью системы электроснабжения» [5] предприятия по производству кондитерских изделий по условию (1):

$$P_{p.} = 780 \cdot 0,4 = 312 \text{ кВт}.$$

Расчётная реактивная нагрузка силовых потребителей цеха производства кондитерской продукции с карамелью системы

электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий по условию (2):

$$Q_p = 312 \cdot 1,17 = 365,04 \text{ квар.}$$

Расчётная полная расчётная нагрузка силовых потребителей цеха производства кондитерской продукции с карамелью системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий по условию (3):

$$S_p = \sqrt{(312 + 365,04)^2} = 480,21 \text{ кВА.}$$

Результаты расчёта электрических нагрузок остальных цехов системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий рассчитаны аналогично.

Для этого же цеха проводится расчёт осветительной нагрузки по условию (5), при условии выполнения освещения данного помещения новыми светодиодными лампами:

$$P_{н.о} = 0,02 \cdot 600 = 12 \text{ Вт.}$$

Аналогично реактивная нагрузка освещения для данного объекта:

$$Q_{н.о} = 12 \cdot 0,43 = 5,16 \text{ Вт.}$$

Аналогично определена расчётная нагрузка освещения для остальных объектов предприятия. В работе проводится отдельные расчёты для силовой, осветительной и суммарной нагрузки при проектировании объекта (таблицы 2-4).

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок силовой сети системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

Номер по плану	Наименование цеха	$\sum P_{уст},$ кВт	$K_c$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА
1	Административное помещение	90	0,35	0,60	1,33	31,50	41,90	52,42
2	Бытово-обслуживающий комплекс	1100	0,40	0,65	1,17	440,00	514,80	677,21
3	Цех производства кондитерской продукции с карамелью	780	0,40	0,65	1,17	312,00	365,04	480,21
4	Электроцех	800	0,65	0,65	1,17	520,00	608,40	800,34
5	Склад муки и сахара	1000	0,80	0,80	0,75	800,00	600,00	1000,00
6	Цех производства кондитерской выпечки без начинки	1600	0,65	0,65	1,17	1040,00	1216,80	1600,69
7	Склад муки и готовой продукции	200	0,80	0,80	0,75	160,00	120,00	200,00
8	Компрессорная (0,38 кВ)	250	0,65	0,65	1,17	162,50	190,13	250,11
9	Склад кондитерских изделий	380	0,80	0,80	0,75	304,00	228,00	380,00
10	Цех производства кондитерской выпечки с начинкой	600	0,65	0,65	1,17	390,00	456,30	600,26
11	Ремонтно-механический цех	355	0,80	0,80	0,75	284,00	213,00	355,00
12	Склад-магазин	150	0,65	0,65	1,17	97,50	114,08	150,06
13	Участок контроля технологического процесса	100	0,80	0,80	0,75	80,00	60,00	100,00
14	Склад	90	0,65	0,65	1,17	58,50	68,45	90,04
15	Цех упаковки готовой продукции	380	0,80	0,80	0,75	304,00	228,00	380,00
16	Насосная перекачки сточных вод	1500	0,65	0,65	1,17	975,00	1140,75	1500,65
17	Насосная водопровода	800	0,80	0,80	0,75	640,00	480,00	800,00
18	Котельная	150	0,65	0,65	1,17	97,50	114,08	150,06
Всего силовой нагрузки 0,38 кВ						6696,50	6759,71	9515,08
Компрессорная (10 кВ)		1350	0,65	0,65	1,17	877,50	1026,68	1350,58
Всего силовой нагрузки 10 кВ						877,50	1026,68	1350,58
Всего силовой нагрузки						7574,00	7786,38	10862,47

Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети проектируемой системы электроснабжения предприятия, рассчитанные с учётом площади подразделений предприятия, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок осветительной сети системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

Номер по плану	Наименование цеха	А, м	В, м	$F_{ц}, м^2$	$P_{уд.о.}, Вт/м^2$	$P_{ном.о.}, кВт$	тип лампы	$P_{р.о.}, кВт$	$Q_{р.о.}, квар$
1	Административное помещение	60	20	1200	19	22,8	LED	22,74	9,80
2	Бытово-обслуживающий комплекс	40	20	800	19	15,2	LED	15,16	6,54
3	Цех производства кондитерской продукции с карамелью	30	20	600	20	12	LED	11,97	5,16
4	Электроцех	15	50	750	18	13,5	LED	13,47	5,81
5	Склад муки и сахара	15	40	600	19	11,4	LED	11,37	4,90
6	Цех производства кондитерской выпечки без начинки	50	20	1000	15	15	LED	14,96	6,45
7	Склад муки и готовой продукции	20	60	1200	15	18	LED	17,96	7,74
8	Компрессорная	40	20	800	16	12,8	LED	12,77	5,50
9	Склад кондитерских изделий	50	20	1000	19	19	LED	18,95	8,17
10	Цех производства кондитерской выпечки с начинкой	40	20	800	12	9,6	LED	9,58	4,13
11	Ремонтно-механический цех	15	30	450	18	8,1	LED	8,08	3,48
12	Склад-магазин	15	60	900	20	18	LED	17,96	7,74
13	Участок контроля технологического процесса	60	20	1200	20	24	LED	23,94	10,32
14	Склад	30	15	450	15	6,75	LED	6,73	2,90
15	Цех упаковки готовой продукции	40	15	600	15	9	LED	8,98	3,87
16	Насосная перекачки сточных вод	20	40	800	16	12,8	LED	12,77	5,50
17	Насосная водопровода	15	25	375	16	6	LED	5,99	2,58
18	Котельная	30	30	900	14	12,6	LED	12,57	5,42
-	Наружное освещение территории завода	300	200	60000	4	240	LED	239,40	103,20
Всего по предприятию		-	-	74425	-	486,55	-	485,33	209,217

Результаты расчёта электрических суммарных нагрузок, с учётом полученных расчётных данных нагрузок по силовой и осветительной сети системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, представлены в работе в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты расчёта суммарных электрических нагрузок системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

Наименование цеха	$P_{p.н},$ кВт	$P_{p.о},$ кВт	$Q_{p.н},$ квар	$Q_{p.о},$ квар	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$\Delta P_m,$ кВт	$\Delta Q_m,$ квар
Административное помещение	31,5	22,74	41,90	9,80	54,24	51,70	74,93	1,50	7,49
Бытово-обслуживающий комплекс	440	15,16	514,80	6,54	455,16	521,34	455,16	9,10	45,52
Цех производства кондитерской продукции с карамелью	312	11,97	365,04	5,16	323,97	370,20	491,94	9,84	49,19
Электрощит	520	13,47	608,40	5,81	533,47	614,21	813,53	16,27	81,35
Склад муки и сахара	800	11,37	600,00	4,90	811,37	604,90	1012,04	20,24	101,20
Цех производства кондитерской выпечки без начинки	1040	14,96	1216,80	6,45	1054,96	1223,25	1615,33	32,31	161,53
Склад муки готовой продукции	160	17,96	120,00	7,74	177,96	127,74	177,96	3,56	17,80
Компрессорная	162,5	12,77	190,13	5,50	175,27	195,63	262,66	5,25	26,27
Склад кондитерских изделий	304	18,95	228,00	8,17	322,95	236,17	400,09	8,00	40,01
Цех производства кондитерской выпечки с начинкой	390	9,58	456,30	4,13	399,58	460,43	609,64	12,19	60,96
Ремонтно-механический цех	284	8,08	213,00	3,48	292,08	216,48	292,08	5,84	29,21
Склад-магазин	97,5	17,96	114,08	7,74	115,46	121,82	167,84	3,36	16,78
Участок контроля технологического процесса	80	23,94	60,00	10,32	103,94	70,32	125,49	2,51	12,55
Склад	58,5	6,73	68,45	2,90	65,23	71,35	96,67	1,93	9,67
Цех упаковки готовой продукции	304	8,98	228,00	3,87	312,98	231,87	312,98	6,26	31,30
Насосная перекачки сточных вод	975	12,77	1140,75	5,50	987,77	1146,25	1513,14	30,26	151,31
Насосная водопровода	640	5,99	480,00	2,58	645,99	482,58	806,34	16,13	80,63
Котельная	97,5	12,57	114,08	5,42	110,07	119,49	162,46	3,25	16,25
Наружное освещение	-	239,4	-	103,20	239,40	103,20	260,70	5,21	26,07
Итого 10 кВ, без КРМ	6696,5	485,3	6759,71	209,22	7181,83	6968,92	9650,97	193,02	1965,10
Потери в ГПП с КРМ	-	-	-	-	336,66	2358,88	2382,78	47,66	238,28
Итого на стороне ВН	-	-	-	-	7518,49	4610,04	8819,31	-	-

Таким образом, в работе рассчитаны нагрузки отдельных цехов и потребителей, а также всей системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

### **2.3 Выбор трансформаторов ГПП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий**

Далее в работе проводится выбор числа и мощности трансформаторов для установки на понизительных подстанциях проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

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

Далее в работе проводится выбор рациональных номинальных напряжений для применения на ГПП схемы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

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

Для определения рационального значения номинального напряжения на ГПП в системе внешнего напряжения, в схеме электроснабжения проектируемого предприятия по производству кондитерских изделий, используется формула Стила:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 16 \cdot P}, \quad (11)$$

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

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

«По условию (11) для ГПП внешней СЭС проектируемого предприятия по производству кондитерских изделий» [1]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{7,5 + 16 \cdot 12,125} = 61,6 \text{ кВ}.$$

Исходя из шкалы номинальных напряжений, принимается ближайшее 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 предприятия по производству кондитерских изделий) [3]. При выборе напряжения внутренней системы и схемы электроснабжения проектируемого предприятия по производству кондитерских изделий, 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 предприятия по производству кондитерских изделий, 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 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ. Учитывая полученные значения показателей и технических данных, полученных в результате расчёта нагрузки потребителей системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, проводится расчётная проверка мощности новых трансформаторов на ГПП-110/10 кВ предприятия.

С учётом систематических нагрузок, а также вероятности послеаварийных перегрузок в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, 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 минимальный коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях СЭС, о.е.» [7];  
« $n$  – количество трансформаторов, шт.» [11].

«Исходя из условия (12)» [11]:

$$S_{ном} \geq \frac{8819,31}{2 \cdot 0,65} = 6784,1 \text{ кВА.}$$

«Выбираются два силовых трансформатора марки ТДН-10000/110 с высшим напряжением 110 кВ и низшим напряжением 10 кВ» [14].

«Известно, что силовой трансформатор на подстанции в нормальном режиме» [14] должен работать с коэффициентом загрузки, не превышающим значение 0,65-0,7. Это условие выражается так [15]:

$$K_{з.н.} = \frac{S_p}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65 \div 0,7. \quad (13)$$

Таким образом, коэффициент загрузки трансформатора подстанции ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в нормальном режиме не превышает норму:

$$K_{з.н.} = \frac{8819,31}{2 \cdot 10000} = 0,44 \leq 0,65 \div 0,7.$$

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]:

$$K_{з.а.} = \frac{S_P}{S_{ном}} \leq 1,35 \div 1,4. \quad (14)$$

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

$$K_{з.а.} = \frac{8819,31}{10000} = 0,88 \leq 1,35 \div 1,4.$$

Таким образом, в работе расчётным путём установлено, что для питания проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, на ГПП-110/10 кВ надо установить два силовых трансформатора ТДН-10000/110.

Каждый трансформатор ГПП-110/10 кВ будет работать на свою секцию сборных шин 10 кВ в РУ-10 кВ, от которой получают питание понизительные цеховые ТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

## **2.4 Выбор трансформаторов цеховых ТП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий**

Далее в работе необходимо рассчитать суммарную нагрузку цеховых ТП-10/0,4 кВ, так как они являются нагрузкой РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

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, потребители III категории подключать к существующим ТП-10/0,4 кВ с учётом близости и максимальной допустимой нагрузки на трансформаторы подстанций.

Исходя из этого, в системе внутреннего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, 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 производства кондитерской продукции с карамелью;
- ТП-2 – цех производства кондитерской выпечки без начинки;
- ТП-3 – цех производства кондитерской выпечки с начинкой.

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 на ЦТП [12]:

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

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

« $\sum P_{\text{р.}}$  – 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» [19] внутренней СЭС предприятия по производству кондитерских изделий по условию (19).

Как было указано ранее, на всех цеховых ТП устанавливаются по два силовых трансформатора, причём они оба находятся в работе и резервируют нагрузку друг друга при аварийных режимах, а также ремонтах оборудования подстанции и линий («горячий резерв»).

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

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

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

$$\Sigma P_{p.} = 323,97 + 455,16 + 54,24 + 533,47 + 177,96 + 322,95 = 1867,75 \text{ кВт}.$$

«Расчётная мощность силового трансформатора для установки на цеховой ТП-1» [14]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1867,75}{2 \cdot 0,8} = 1167,3 \text{ кВА}.$$

«Для установки на цеховой ТП-1 внутренней СЭС предприятия по производству кондитерских изделий, в работе приняты два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10» [12].

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

Таким образом, в результате проведения расчётов и проверок, установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-3 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-2000/10 У1.

Следовательно, вся нагрузка, приходящаяся на цеховые ТП-10/0,4 кВ, на территории предприятия будет распределена относительно равномерно.

Таблица 5 – Результаты выбора трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ

Номер цеховой ТП	Наименование цеха (участка)	$P_p$ , кВт	$P_{p.ТП}$ , кВт	Категория надёжности	Количество (единиц) и тип силовых трансформаторов
ТП-1	Цех производства кондитерской продукции с карамелью	323,97	1867,75	I	2×ТМГ-1600/10У1
	Бытово-обслуживающий комплекс	455,16		III	
	Административное помещение	54,24		III	
	Электроцех	533,47		II	
	Склад готовой продукции	177,96		III	
	Склад кондитерских изделий	322,95		III	
ТП-2	Цех производства кондитерской выпечки без начинки	1054,96	3146,18	I	2×ТМГ-2000/10У1
	Склад муки и сахара	811,37		III	
	Ремонтно-механический цех	292,08		II	
	Насосная перекачки сточных вод	987,77		II	
ТП-3	Цех производства кондитерской выпечки с начинкой	399,58	1928,52	I	2×ТМГ-1600/10У1
	Компрессорная	175,27		III	
	Склад-магазин	115,46		III	
	Участок контроля технологического процесса	103,94		II	
	Склад	65,23		III	
	Цех упаковки готовой продукции	312,98		II	
	Насосная водопровода	645,99		II	
	Котельная	110,07		II	

Исходя из результатов расчёта и проверок, установлено, что распределение нагрузки на проектируемом предприятии равномерно при использовании трёх цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Все трансформаторы подходят для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

## 2.5 Выбор конденсаторных установок на цеховых ТП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

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

Проверка начинается с определения целесообразной реактивной мощности через ЦТП и проводится по следующему условию:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{\left(N_{\text{отт}} \beta_{\text{норм.т}} S_{\text{ном}}\right)^2 - P_p^2}. \quad (17)$$

На всех ЦТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, устанавливаются компенсирующие батареи конденсаторов с напряжением 0,4 кВ.

Их реактивная мощность:

$$Q_{\text{НБК}} = Q_p - Q_{\max,m}. \quad (18)$$

Для трансформаторов, предварительно выбранных на цеховой ТП-1:

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 1600)^2 - 1867,75^2} = 1750,7 \text{ квар.}$$

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

$$Q_p = Q_{p.1} + Q_{p.2} + \dots + Q_{p.n}. \quad (19)$$

Суммарная расчётная реактивная нагрузка цеховой ТП-1 (10/0,4 кВ) по условию (19):

$$Q_p = 51,70 + 521,34 + 370,20 + 614,21 + 127,74 + 236,17 = 1921,35 \text{ квар.}$$

Суммарная реактивная мощность, которая подлежит компенсации на цеховой ТП-1:

$$Q_{\text{НБК}} = 1921,35 - 1750,7 = 170,65 \text{ квар.}$$

Для установки на цеховой ТП-1 системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, принимаются две конденсаторные установки марки КРМ-0,4-85-2,5-54У3 с номинальной реактивной мощностью каждой 85 квар. Их суммарная реактивная мощность составит 170,0 квар. Таким образом, на ТП-1 реактивная составляющая нагрузки будет скомпенсирована полностью путём установки двух КУ марки КРМ-0,4-85-2,5-54У3. Аналогично проведены расчёт и выбор КУ-0,4 кВ на остальных цеховых ТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий (таблица 6).

Таблица 6 – Выбор компенсации реактивной составляющей нагрузки на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ

ТП	$P_{p.c},$ кВт	$S_{\text{ном.тп}},$ кВА	$Q_T,$ кВАр	$Q_p,$ кВАр	$Q_{\text{НБК}},$ кВАр	Типономинал КУ	Количество × мощность КУ, шт × квар
ТП1	1867,75	2×1600	1750,7	1921,35	170,65	КРМ-0,4-85-2,5-54У3	2×85
ТП2	3146,18	2×2000	584,4	3190,9	2606,5	УКРМ-0,4-1300-2,5-54У3	2×1300
ТП3	1928,52	2×1600	1683,6	1753,49	69,89	КРМ-0,4-30-2,5-54У3	2×30

Таким образом, вся реактивная составляющая нагрузки будет полностью компенсирована путём установки КУ-0,4 кВ на шинах 0,4 кВ цеховых ТП. Все КУ показаны на листе 2 графической части работы.

## 2.6 Расчёт токов коротких замыканий

Известно, что устанавливаемое электрооборудование, должно быть проверено по устойчивости к токам короткого замыкания КЗ. Если токи короткого замыкания превышают номинальные данные оборудования, то данное оборудование не должно применяться при построении системы электроснабжения предприятия.

В работе проводится расчёт значения максимального тока трёхфазного короткого замыкания на сборных шинах ГПП-110/10 кВ проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, по которому будут проверены на термическую и электродинамическую стойкость электрические аппараты и шинные конструкции, выбранные для установки в соответствующих распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Кроме того, по минимальным значениям тока КЗ на шинах всех РУ проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий должны быть проверены уставки релейной защиты на надёжность срабатывания.

Также для расчета токов КЗ на шинах проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в максимальном режиме работы системы, составляется схема замещения (рисунок 7) [14].

В исходной схеме представлены все три класса напряжения, которые применяются в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий: 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ.

Они преобразуются с помощью следующих трансформаторов, показанных на схеме (рисунок 6):

- Т1 – трансформатор ГПП-110/10 кВ;
- Т2 – трансформаторы ЦТП-10/0,4 кВ (принимается для примера трансформатор, установленный на ЦТП-2 мощностью 2000 кВА).

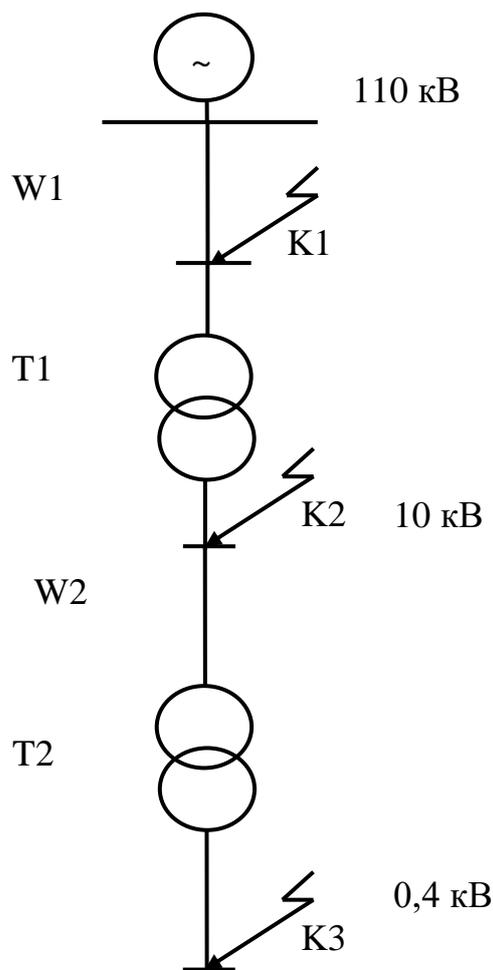


Рисунок 6 – Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

Для составления схемы замещения, каждый элемент замещается эквивалентным сопротивлением. В сети выше 1 кВ, значение тока КЗ нужно рассчитать на выводах силового трансформатора ГПП (напряжения, соответственно, 110 кВ и 10 кВ), в сети 0,4 кВ – на выводах силового трансформатора ЦТП-10/0,4 кВ с низкой стороны.

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. Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в работе представлена на рисунке 7» [15].

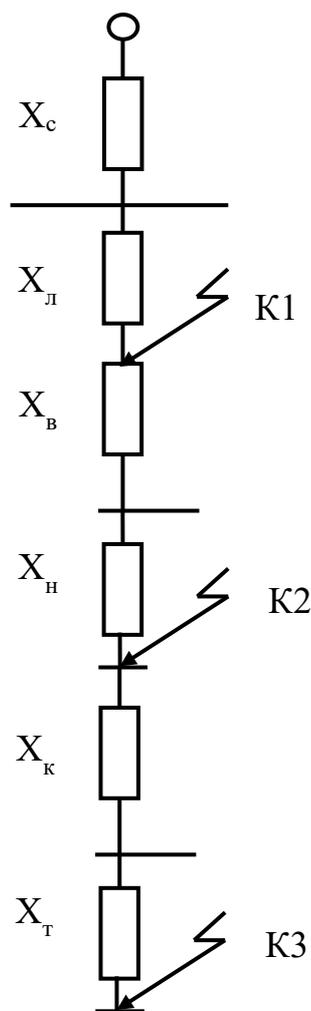


Рисунок 7 – Исходная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

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]. В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 110 кВ. Вторая ступень 10 кВ, а также третья ступень 0,4 кВ, будут неосновными ступенями напряжения.

«Базисная мощность принимается равной номинальной мощности силового трансформатора» [10] системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, оставшегося в работе в послеаварийном режиме (при этом второй трансформатор подстанции отключён, что

отображено в расчётной схеме и схеме замещения, а также учтено при расчётах далее) [12]:

$$S_{\sigma} = 10000 \text{ кВА} = 10 \text{ МВА}.$$

Базисные напряжения для двух ступеней трансформации схемы (110 кВ и 10 кВ) системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, принимаются равными напряжениям на шинах ГПП в максимальном режиме работы.

Они определены ниже с учётом данного факта. Базисное напряжение для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$U_{\sigma 1} = 115 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 2} = 10,5 \text{ кВ}.$$

Базисное напряжение для ступени напряжения 0,38/0,22 кВ (неосновная ступень):

$$U_{\sigma 3} = 0,4 \text{ кВ}.$$

Базисный ток на ступенях системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий рассчитывается по известной формуле:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (20)$$

Базисный ток для всех ступеней трансформации схемы (110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ) системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий определён ниже по условию (20).

Базисный ток для ступени напряжения 110 кВ (основная ступень):

$$I_{\sigma 1} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,08 \text{ кА.}$$

Базисный ток для ступени напряжения 10 кВ (неосновная ступень):

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

Базисный ток для ступени напряжения 0,38 кВ (неосновная ступень):

$$I_{\sigma 3} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 23,1 \text{ кА.}$$

Далее проводится расчёт параметров схемы замещения в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в относительных единицах, с последующим приведением их к именованному.

Сопrotивление энергетической системы в работе определяется по формуле:

$$x_c = \frac{S_{\sigma}''}{S_{\kappa}^*}, \text{ o.e.}, \quad (21)$$

где  $S_{\kappa}''$  - полная мощность трёхфазного КЗ на шинах энергосистемы.

По условию (21):

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

Сопротивление питающей ВЛ-110 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий «с учётом её длины, в относительных единицах» [14]:

$$x_{l*} = x_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \text{ o.e.}, \quad (22)$$

где « $x_0$  - удельное индуктивное сопротивление ВЛ, Ом/км» [10];

« $L$  - суммарная длина ВЛ, км» [15].

«Согласно условия (22), индуктивное сопротивление» [14] для питающей ВЛ-110 кВ:

$$x_{l*} = 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{10}{115^2} = 0,006 \text{ o.e.}$$

Аналогично для питающей КЛ-10 кВ (к цеховой ТП-2):

$$x_{k*} = 0,4 \cdot 1 \cdot \frac{10}{10^2} = 0,04 \text{ o.e.}$$

Далее проводится расчёт индуктивных сопротивлений силового трансформатора ГПП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий с учётом паспортных данных, в относительных единицах, при приведении к базисным условиям [12].

Для обмотки ВН (110 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ГПП предприятия по производству кондитерских изделий:

$$X_{\epsilon} = \frac{0,125 \cdot U_{\text{квн}\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (23)$$

Согласно условия (23):

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

Для обмотки НН (10 кВ) трансформатора, оставшегося в работе на ГПП предприятия по производству кондитерских изделий в результате ПАВ режима:

$$X_{\text{н}} = \frac{1,75 \cdot U_{\text{квн}\%} \cdot S_{\bar{\sigma}}}{100 \cdot S_{\text{н.т.}}} \quad (24)$$

Согласно условия (24):

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

Для трансформатора цеховой ТП-2 (2000 кВА), при приведении к базисным условиям:

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

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

$$I'' = \frac{E''}{x_{рез}^*} \cdot I_6. \quad (25)$$

Далее, исходя из определённых ранее индуктивных сопротивлений всех основных элементов схемы замещения, определяются результирующие (эквивалентные) сопротивления к каждой точке КЗ.

«Результирующее сопротивление к точке К1» [14]:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^*, \text{ o.e.} \quad (26)$$

«Согласно условия (26)» [18]:

$$x_{рез}^* = 0,032 + 0,006 = 0,038 \text{ o.e.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К1, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (25)» [16]:

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

«Результирующее сопротивление к точке К2 в относительных расчётных единицах» [14]:

$$x_{рез}^* = x_c^* + x_l^* + x_6^* + x_H^*, \text{ o.e.} \quad (27)$$

«Согласно условия (27)» [14]:

$$x_{рез} = 0,032 + 0,006 + 0,01 + 0,18 \approx 0,228 \text{ о.е.}$$

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К2, при приведении к базисным условиям, в именованных единицах по (25)» [18]:

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

«Результирующее сопротивление к точке К3 в относительных расчётных единицах» [20]:

$$x_{рез} = x_c + x_l + x_g + x_n + x_k + x_m, \text{ о.е.} \quad (28)$$

«Согласно условия (28)» [14]:

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

«Начальное значение периодической составляющей тока короткого замыкания в расчётной точке К3, при приведении к базисным условиям» [16], в именованных единицах по (25):

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

Значение «ударного тока в расчётных точках схемы» [12] или начального значения аperiodической составляющей тока К3 в максимальном режиме:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I''_K, \text{ кА}, \quad (29)$$

где  $k_{уд}$  – «ударный коэффициент» [12].

«Для точек схемы К1 и К2, ударные токи в именованных единицах» [14]:

– «в точке К1» [14]:

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

– «в точке К2» [14]:

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

– «в точке К3» [14]:

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

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА:

$$I_{no(\min)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I''_K, \text{ кА}. \quad (30)$$

Значение двухфазного тока КЗ, необходимое для определения надёжности РЗиА, по условию (30):

– в точке К1:

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

– в точке К2:

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

– в точке К3:

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

Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания в максимальном режиме на шинах 110 кВ, 10 кВ и 0,4 кВ в максимальном режиме работы системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта токов короткого замыкания на шинах 110 кВ и 10 кВ в максимальном режиме работы СЭС предприятия по производству кондитерских изделий

Параметр	Расчётная точка КЗ		
	Точка К1	Точка К2	Точка К3
$I_K^{(3)}$ , кА	4,21	3,86	23,24
$I_K^{(2)}$ , кА	3,65	3,34	20,13
$K_{y\delta}$	1,8	1,4	1,1
$i_{y\delta}$ , кА	10,72	7,64	36,15

Полученные в работе результаты расчёта токов КЗ используются для соответствующих проверок современного оборудования ГПП СЭС предприятия по производству кондитерских изделий.

Причём, для выбора аппаратов используется расчётный ток КЗ в максимальном режиме, а для проверки на стойкость к сквозным токам КЗ – значение ударного тока.

## 2.7 Выбор и проверка проводников на ГПП предприятия по производству кондитерских изделий

Далее в работе необходимо провести выбор и проверочный расчёт проводников СЭС системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

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

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

$$S_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (31)$$

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

$j_{\text{ЭК}}$  – «экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>» [10].

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

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (32)$$

где « $S_{\text{р}}$  – расчётная полная нагрузка линии, кВА» [17];

$n$  – 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 предприятия по производству кондитерских изделий [19]:

$$I_a = 1,4 \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_{ном.}} = 1,4 \cdot I_n. \quad (33)$$

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

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

$$I_{дон} \geq I_p, \quad (34)$$

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

Проверка проводников воздушных и кабельных линий СЭС системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в послеаварийном режиме работы [11]:

$$I_{дон} \geq I_{p.max}, \quad (35)$$

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:

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

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 предприятия по производству кондитерских изделий.

Установлено ранее, что питание ГПП-110/10 кВ СЭС системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий 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 предприятия по производству кондитерских изделий, с учётом того, что на каждую из двух цепей линии приходится половина расчётной нагрузки объекта:

$$I_p = \frac{8819,31}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 110} \approx 23,14 \text{ А.}$$

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

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 23,14 = 32,4 \text{ A.}$$

Экономически выгодное сечение провода питающей ВЛ-110 кВ проектируемой системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий:

$$F_{\text{э}} = \frac{23,14}{1,1} \approx 21 \text{ мм}^2.$$

Согласно результатам расчёта, ближайшее стандартное сечение воздушной линии 110 кВ – 25 мм<sup>2</sup>. 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:

$$F_{cm} \geq F_{\min}, \text{ мм}^2. \quad (37)$$

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

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

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [14]:

$$265 \text{ A} \geq 23,14 \text{ A.}$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-110 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [14]:

$$265 \text{ A} \geq 32,4 \text{ A.}$$

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 на компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий

Линия	Длина КЛ, м	Расчётные значения			Результаты выбора	
		$I_{p \text{ норм}}, \text{ A}$	$F_{\Sigma}, \text{ мм}^2$	$F_{\text{ст.}}, \text{ мм}^2$	Марка КЛ	$I_{\text{дл}}, \text{ A}$
ГПП-ТП-1	110	92,48	57,8	50,0	АСБ-10(3×50)	132
ГПП-ТП-2	140	115,6	72,2	70,0	АСБ-10(3×70)	162
ГПП-ТП-3	120	92,48	57,8	50,0	АСБ-10(3×50)	132
ГПП-АД-10 кВ (компрессорная)	180	78,06	48,79	50,0	АСБ-10(3×50)	132

«Все выбранные в работе проводники могут быть приняты для установки на объекте» [14].

## 2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов предприятия по производству кондитерских изделий

Одним из важнейших мероприятий по проектированию системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, 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 ЗРУ-110 кВ на ГПП-110/10 кВ (в РУ-10 кВ они заменяются втычными контактами ячеек типа КРУН);
- ограничители перенапряжения – устанавливаются во всех РУ ГПП-110/10 кВ;
- измерительные трансформаторы тока и напряжения – применяются в ЗРУ-110 кВ и КРУ-10 кВ ГПП по мере необходимости (зависит от схемы и мощности вторичных цепей).

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).

Выключатели высокого напряжения (ВВН) являются важным элементом электроэнергетических систем, используемых для распределения и передачи электрической энергии высокого напряжения.

Они служат для отключения и подключения участков электрической сети, а также для управления потоками электроэнергии в электрических системах.

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, и электрических высоковольтных аппаратов в целом, производится, исходя из следующих условий двух основных условий [18]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (38)$$

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

- по максимальному рабочему току:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (39)$$

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]:

$$I_{пт} \leq I_{откн}. \quad (40)$$

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

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

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

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (41)$$

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

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

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

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (42)$$

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]:

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (43)$$

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]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (44)$$

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] в системе ЭС с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_{\kappa} = I_{\kappa}^2 (t_{отк} + T_a). \quad (45)$$

Исходя из расположения в схеме ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий, 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.

Исходя из этого, необходимо учесть расположение выключателей в схеме, так как параметры сети в различных узлах ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий будут также различными.

Выбор и проверка высоковольтных выключателей для установки во всех распределительных устройствах ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий, проводится по приведённым выше условиям (таблица 9).

Выключатели 10 кВ выбраны в таблице 10.

Также проводится выбор разъединителей для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий.

В работе для установки в сети 110 кВ на ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий выбираются современные разъединители.

Так как разъединители не отключают цепь под нагрузкой, они, в отличие от выключателей высокого напряжения, не проверяются на коммутационную способность при отключении токов КЗ согласно [12].

В ячейках КРУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ проектируемой СЭС предприятия по производству кондитерских изделий разъединители не устанавливаются, их заменяют втычные контакты.

Также необходимо выбрать новые трансформаторы тока и напряжения (измерительные трансформаторы) для их непосредственной установки на ГПП-110/10 кВ в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

Выбор новых измерительных трансформаторов тока и напряжения в работе чрезвычайно важна, так они питают приборы учёта, контроля и управления электроэнергией, а также цепи релейной защиты, автоматики, сигнализации и телеметрии.

Известно, что выбор и проверка измерительных трансформаторов осуществляется по номинальному напряжению, максимальному рабочему току и допустимой мощности питания вторичных цепей (установленная вторичная мощность).

Результаты выбора и проверки новых трансформаторов напряжения для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий, представлены, соответственно, в таблицах 9 и 10.

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки основного электрооборудования высокого напряжения для установки в РУ-110 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выбранные аппараты			
		Разъединитель РГ-110/1000	Выключатель ВРС-110-31,5	Трансформатор тока ТОГФ-110	Трансформатор напряжения НКФ-110
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 110 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 32,4 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$
$I_{\text{к}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{к}} = 4,21 \text{ кА}$	-	$I_{\text{откл}} = 40 \text{ кА}$	-	-
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	$i_{\text{уд}} = 10,72 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 63 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 31,5 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} \leq I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}}$	$B_{\text{к}} = 85,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 1875 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{пр}}^2 \cdot t_{\text{м}} = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
$P_{\text{расч}} \leq P_{\text{ном}}$	$P_{\text{расч}} = 12,0 \text{ кВА}$	-	-	$P_{\text{ном}} = 40 \text{ кВА}$	$P_{\text{ном}} = 64 \text{ кВА}$

Таблица 10 – Результаты выбора и проверки основного электрооборудования высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий

Условия выбора	Расчетные данные сети	Выключатель ВВЭ-М-10-20	Выключатель нагрузки ВНА-10/16000	Трансформатор тока ТПЛ-Э-12
$U_{\text{сном}} \leq U_{\text{ном}}$	$U_{\text{сном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{расч}} \leq I_{\text{ном}}$	$I_{\text{расч}} = 809,2 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1000 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 1600 \text{ А}$	$I_{\text{ном}} = 2500 \text{ А}$
$I_{\text{кп}} \leq I_{\text{пр.с}}$	$I_{\text{кп}} = 3,86 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{пр.с}} = 20 \text{ кА}$
$I_{\text{к}} \leq I_{\text{откл}}$	$I_{\text{к}} = 3,86 \text{ кА}$	$I_{\text{откл}} = 40 \text{ кА}$	-	-
$i_{\text{у}} \leq i_{\text{дин}}$	$i_{\text{у}} = 7,64 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 30 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 50 \text{ кА}$
$I_{\text{пт}} \leq I_{\text{откл.ном}}$	$I_{\text{пт}} = 2,48 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$	$I_{\text{откл.ном}} = 40 \text{ кА}$
$P_{\text{расч}} \leq P_{\text{ном}}$	$P_{\text{расч}} = 12,0 \text{ кВА}$	-	-	$P_{\text{ном}} = 16 \text{ кВА}$

Всё новое выбранное оборудование распределительных устройств ГПП-110/10 кВ СЭС предприятия по производству кондитерских изделий удовлетворяет всем требуемым условиям и принимается для установки на объекте.

Выводы по разделу.

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

- 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 предприятия по производству кондитерских изделий.

В работе, исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт электрической нагрузки системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

Рассчитаны нагрузки отдельных цехов, а также всей системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

В результате проведения выбора и проверок силовых трансформаторов для установки в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий установлено следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, целесообразно осуществить от

главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;

- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый (марки ТДН-10000/110);
- в системе внутреннего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ. Установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-3 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-2000/10 У1.

Проведён выбор компенсации реактивной составляющей нагрузки в сети 0,4 кВ системы электроснабжения, для чего выбраны компенсирующие устройства в виде конденсаторных установок для их установки на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Осуществлён расчёт следующих токов короткого замыкания в проектируемой системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий:

- 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.

В результате проведения соответствующих расчётов, для питающих ВЛ-110 кВ системы электроснабжения предприятия по производству

кондитерских изделий, принята марка провода АС-70/11с сечением токоведущей жилы  $70 \text{ мм}^2$  и допустимой токовой нагрузкой  $I_{don} = 265 \text{ А}$ .

Для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10.

Также в работе выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий:

- в ЗРУ-110 кВ: разъединители РГ-110/1000, выключатели ВРС-110-31,5, трансформаторы тока ТОГФ-110, трансформаторы напряжения НКФ-110;
- в РУ-10 кВ: выключатели ВВЭ-М-10-20, выключатели нагрузки ВНА-10/16000 (для установки в РУ-10 кВ всех цеховых ТП-10/0,4 кВ), трансформаторы тока ТПЛ-Э-12.

Все выбранные и проверенные в работе аппараты соответствуют требуемым техническим нормативам и могут быть окончательно рекомендованы для установки в соответствующих распределительных устройствах СЭС предприятия по производству кондитерских изделий.

Все принятые технические решения в работе подтверждены соответствующими расчётами.

### **3 Расчёт релейной защиты заземления предприятия по производству кондитерских изделий**

#### **3.1 Расчёт релейной защиты высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий**

Проводится выбор уставок релейной защиты и автоматики для защиты высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий.

Защита и автоматика высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий выполняется на основе современных микропроцессорных терминалов марки БЭ2502А (терминал релейной защиты) и БЭ2502В (терминал автоматики и сигнализации).

Данные терминалы оснащены всеми необходимыми видами релейной защиты, автоматики и сигнализации, необходимых для качественной защиты высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий. Основной функционал и внешний вид данных блоков показаны в работе на рисунке 8.

• БЭ2502А



• БЭ2502В



Рисунок 8 – Основной функционал и внешний вид современных микропроцессорных терминалов марки БЭ2502А (терминал релейной защиты) и БЭ2502В (терминал автоматики и сигнализации)

Предусмотренные виды защит высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий и токи, выставляемые в блоках защиты, приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Предусмотренные виды защит высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий и токи, выставляемые в блоках защиты

Тип защиты	Назначение	Токи, выставляемые в блоках защиты
Дифференциальная защита (ДЗ)	Основная защита	$I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод 10 кВ)
Максимальная токовая защита (МТЗ)	Резервная защита	$I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод 10 кВ)
Токовая отсечка (ТО)	Резервная защита	$I''=3,86$ кА (трехфазный ток КЗ, ввод 10 кВ)
Защита от перегрузки (ЗП)	Основная защита	$I_{ном}=78,06$ А (максимальный ток двигателя)

Электрическая схема защиты высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий, представлена на графическом листе 6.

### 3.2 Расчёт заземления на ГПП предприятия по производству кондитерских изделий

Определяется расчётное значение удельного сопротивления грунта в месте сооружения ЗУ на ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий:

$$\rho_p = \rho_{gp} \cdot K_u, \quad (46)$$

где « $\rho_{gp}$  – удельное сопротивление грунта (для суглинка), Ом» [16].

$$\rho_p = 75 \cdot 1,6 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

«Определяется расчётное сопротивление заземления трубы в ЗУ» [1]:

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left( \lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,51 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом.} \quad (47)$$

где « $h$  – расстояние от земли до середины заземлителя, м» [1].

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{120}{2,5} \left( \lg \frac{2 \cdot 5}{0,07} + 0,51 \lg \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 276,45 \text{ Ом.}$$

«Расчётное число одиночных заземлителей в ЗУ» [1]:

$$N_3 = \frac{R_3}{R_{3,н}}, \text{ шт.} \quad (48)$$

$$N_3 = \frac{276,45}{10} = 27,65 \text{ шт.}$$

Расстояние между заземлителями в проектируемом контуре заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий:

$$L_T = l \cdot m, \text{ м.} \quad (49)$$

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

Количество заземлителей в проектируемом контуре заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, с учётом коэффициента экранирования:

$$N_{3,э} = \frac{R_3}{R_{3,н} \cdot \eta_э}, \text{ шт.} \quad (50)$$

$$N_{з.э} = \frac{276,45}{10 \cdot 0,5} = 55,29 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается к установке в контуре заземления рассматриваемой в работе ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, пятьдесят шесть вертикальных заземлителей (электродов). Так, как ГПП-110/10 кВ конструктивно выполнена в виде закрытой подстанции, контур заземлению устанавливается под основным оборудованием (перед его монтажом). Таким образом, контур заземления будет служить дольше и находиться под постоянным контролем персонала без доступа посторонних лиц. Расстояние между вертикальными электродами в контуре заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий составляет 2,5 м (рисунок 9).

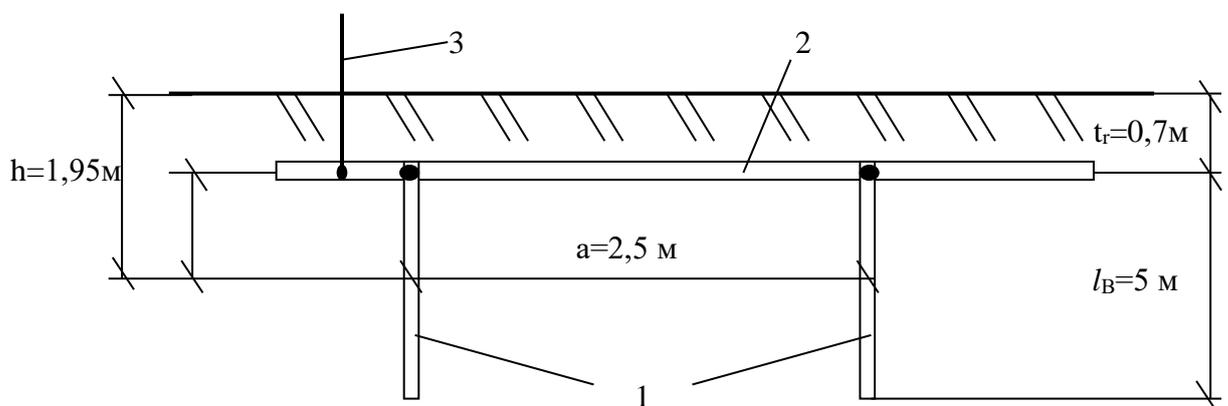


Рисунок 9 – Конструкция заземляющего устройства ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий: 1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель; 3 – заземляющий проводник

Полное конструктивное выполнение контура заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, с учётом расположения основных составляющих, показано в графической части работы.

Выводы по разделу.

В работе выбраны типы и уставки основных и резервных защит высоковольтных двигателей компрессорной системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий. Установлено, что для данной цели необходимо использовать современные блоки РЗиА, выбор которых также произведён в работе. Поэтому защита и автоматика высоковольтных двигателей компрессорной предприятия по производству кондитерских изделий выполняется на основе современных микропроцессорных терминалов марки БЭ2502А (терминал релейной защиты) и БЭ2502В (терминал автоматики и сигнализации).

Проведён расчёт контура заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

Окончательно приняты к установке в контуре заземления рассматриваемой в работе ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, пятьдесят шесть вертикальных заземлителей (электродов). Так, как ГПП-110/10 кВ конструктивно выполнена в виде закрытой подстанции, контур заземлению устанавливается под основным оборудованием (перед его монтажом). Таким образом, контур заземления будет служить дольше и находиться под постоянным контролем персонала без доступа посторонних лиц. Расстояние между вертикальными электродами в контуре заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий составляет 2,5 м.

## Заключение

В результате выполнения работы проведена разработка проекта системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

Приведено описание и анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных подразделений, проектируемой системы электроснабжения нового предприятия по производству кондитерских изделий, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по условиям технологического процесса. Исходя из приведённой информации, установлено, что среди потребителей проектируемой системы электроснабжения цехов и участков предприятия по производству кондитерских изделий, на территории предприятия расположено восемнадцать основных подразделений, из которых три относятся к I категории надёжности, восемь подразделений – ко II категории и семь подразделений – к III категории надёжности. Таким образом, на проектируемом предприятии преобладают потребители II категории надёжности с наличием потребителей I и III категорий.

Исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт электрической нагрузки системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий. Рассчитаны нагрузки отдельных цехов, а также всей системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

В работе, исходя из выходных технических данных на выполнение работы, с учётом справочных нормативных коэффициентов, проведён расчёт электрической нагрузки системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий.

Рассчитаны нагрузки отдельных цехов, а также всей системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий в целом, исходя из расчётных коэффициентов, установленной мощности нагрузок и режима работы системы электроснабжения объекта проектирования.

В результате проведения выбора и проверок силовых трансформаторов для установки в системе электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий установлено следующее:

- питание проектируемой системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, целесообразно осуществить от главной понизительной подстанции (ГПП) с номинальными классами напряжения 110/10 кВ;
- для питания проектируемой внешней системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, на ГПП-110/10 кВ объекта проектирования целесообразно установить два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый (марки ТДН-10000/110);
- в системе внутреннего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, для питания нагрузки цехов и участков предприятия, предусмотрены три двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ. Установлено, что на цеховых ТП-1 и ТП-3 устанавливаются по два силовых трансформатора марки ТМГ-1600/10 У1, а на цеховой ТП-3 – два силовых трансформатора марки ТМГ-2000/10 У1.

Проведён выбор компенсации реактивной составляющей нагрузки в сети 0,4 кВ системы электроснабжения, для чего выбраны компенсирующие устройства в виде конденсаторных установок для их установки на шинах 0,4 кВ цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Осуществлён расчёт следующих токов короткого замыкания в проектируемой системе электроснабжения предприятия:

- 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.

В результате проведения соответствующих расчётов, для питающих ВЛ-110 кВ системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, принята марка провода АС-70/11с сечением токоведущей жилы 70 мм<sup>2</sup> и допустимой токовой нагрузкой  $I_{дон} = 265$  А.

Для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ от РУ-10 кВ ГПП-110/10 кВ, выбраны и проверены сечения всех кабельных линий с использованием марки кабелей современного типа АСБ-10.

Также в работе выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-110 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий:

- в ЗРУ-110 кВ: разъединители РГ-110/1000, выключатели ВРС-110-31,5, трансформаторы тока ТОГФ-110, трансформаторы напряжения НКФ-110;
- в РУ-10 кВ: выключатели ВВЭ-М-10-20, выключатели нагрузки ВНА-10/16000 (для установки в РУ-10 кВ всех цеховых ТП-10/0,4 кВ), трансформаторы тока ТПЛ-Э-12.

Выбраны типы и уставки основных и резервных защит высоковольтных двигателей компрессорной системы электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий. Проведён расчёт контура заземления ГПП-110/10 кВ системы внешнего электроснабжения предприятия по производству кондитерских изделий, в результате чего в нём приняты к установке пятьдесят шесть вертикальных заземлителей (электродов).

Таким образом, поставленная в работе задача по разработке качественного проекта объекта проектирована, была выполнена.

## 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: 16.03.2023).
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: 16.03.2023).
3. Ерошенко С.А. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах: учебное пособие. Екатеринбург: 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. Микропроцессорные терминалы релейной защиты [Электронный ресурс]: URL: [https://ellectroi.ucoz.ru/index/mikroprocessornye\\_terminaly\\_relejnoj\\_zashhity/](https://ellectroi.ucoz.ru/index/mikroprocessornye_terminaly_relejnoj_zashhity/) (дата обращения: 16.03.2023).
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. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 6-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.
9. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2018. 392 с.: ил.
10. Правила устройства электроустановок. 7-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.

Главгосэнергонадзор России, 2018. 692 с.

11. 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: 16.03.2023).

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

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

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

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

16. Составление структурной технологической схемы производства кондитерских изделий. [Электронный ресурс]: URL: [https://bstudy.net/881202/tehnika/sostavlenie\\_strukturnoy\\_tehnologicheskoy\\_she\\_mu\\_proizvodstva\\_konditerskih\\_izdeliy](https://bstudy.net/881202/tehnika/sostavlenie_strukturnoy_tehnologicheskoy_she_mu_proizvodstva_konditerskih_izdeliy) (дата обращения: 16.03.2023).

17. Технология кондитерского производства. [Электронный ресурс]: URL: [https://oreluniver.ru/file/chair/thkimp/study/Rumyantseva\\_tehn\\_kondpr.pdf](https://oreluniver.ru/file/chair/thkimp/study/Rumyantseva_tehn_kondpr.pdf) (дата обращения: 16.03.2023).

18. Фризен В.Э. Расчет и выбор электрооборудования низковольтных распределительных сетей промышленных предприятий. Екатеринбург: Издательство УГУ, 2018. 184 с.

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

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