

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения кондитерского производства
предприятия пищевой промышленности

Обучающийся

А.В. Суханов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения кондитерского производства, осуществляемая с целью ввода данного объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью.

Одним из способов достижения желаемого эффекта является обеспечение качественного проектирования современных систем электроснабжения новых объектов кондитерского производства, что обуславливает актуальность данной работы.

В работе внедрены необходимые мероприятия по проектированию схемы электрических соединений системы электроснабжения кондитерского производства, позволяющие повысить показатели надёжности, экономичности и электробезопасности объекта исследования.

Выбраны основные составляющие объекта исследования, а также его составные части (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств).

Исходя из этого, на основе расчётных данных, выбраны для применения в работе современные технические решения, аргументированный выбор которых основан на анализе современных разработок и моделей ведущих мировых и отечественных производителей.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1 Техническая характеристика кондитерского производства.....	6
1.2 Нормы и требования к проектированию систем электроснабжения пищевых предприятий.....	11
2 Проектирование системы электроснабжения кондитерского производства	14
2.1 Выбор схемы электроснабжения кондитерского производства	14
2.2 Расчёт электрических нагрузок	19
2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП системы электроснабжения кондитерского производства.....	27
2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций.....	30
2.5 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения кондитерского производства.....	31
2.6 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения кондитерского производства.....	37
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения кондитерского производства.....	47
2.8 Выбор трансформаторов собственных нужд на ГПП кондитерского производства.....	511
3 Разработка мероприятий по монтажу и эксплуатации оборудования спроектированной системы электроснабжения	544
Заключение	588
Список используемых источников.....	60

Введение

Современное кондитерское производство является одним из наиболее динамично развивающихся направлений пищевой промышленности.

Известно, что основные продукты кондитерского производства содержат сахар или его заменители. При этом основным приоритетным направлением кондитерского производства является выпечка и приготовление тортов, печенья, вафель и прочих кондитерских изделий. Вторым направлением кондитерского производства является приготовление разнообразных консервированных продуктов: муссов, джемов, варений, а также алкогольных и безалкогольных напитков на их основе. Третье направление – это приготовление продуктов, которые для хранения требуют холодильных установок (в частности, мороженого и замороженных соков).

В кондитерском производстве за последние десятилетия произошёл значительный технологический прорыв: появились новые современные энергосберегающие технологии, которые были реализованы в технологическом процессе и оборудовании, за счёт чего была увеличена прибыль и снижены затраты на энергоресурсы, ремонты и обслуживание оборудования.

В связи с энергетическим кризисом и дефицитом ресурсов, приоритетом кондитерского производства и пищевой промышленности в целом, является уменьшение энергозатрат на производственные и собственные нужды, таким образом, повышая эффективность использования ресурсной базы. В конечном итоге, это также приводит к повышению экономических показателей, в частности, к снижению стоимости производимой продукции и, как результат, повышению конкурентоспособности и ликвидности капиталовложений.

Одним из способов достижения желаемого эффекта является обеспечение качественного проектирования современных систем электроснабжения новых объектов кондитерского производства, что обуславливает актуальность данной работы.

Основной целью работы является разработка проекта системы электроснабжения кондитерского производства, осуществляемая с целью ввода данного объекта в эксплуатацию в связи с производственной необходимостью.

«Объектом исследования в данной работе является электрическая часть системы электроснабжения кондитерского производства» [14].

«Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема электроснабжения объекта» [14] исследования, а также её составные части (силовые трансформаторы ГПП и цеховых ТП, электрические сети, аппаратура распределительных устройств). Все составные части предмета исследования детально рассматриваются в работе.

Для качественной реализации «цели работы, решаются такие задачи» [15]:

- «анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений для решения задач» [10];
- «проектирование системы электроснабжения кондитерского производства с конечным выбором схемы электроснабжения, а также электрических сетей и аппаратов» [18] на всех звеньях электрической сети объекта. Исходя из этого, на основе расчётных данных, выбираются для применения в работе современные технические решения, аргументированный выбор которых основан на анализе современных разработок и моделей ведущих мировых и отечественных производителей;
- разработка мероприятий по автоматизации учёта электроэнергии в системе электроснабжения кондитерского производства.

Предлагаемая работа состоит из трёх разделов, и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов отрасли.

1 Анализ исходных данных

1.1 Техническая характеристика кондитерского производства

Рассматриваемый в работе объект проектирования принадлежит ООО «Вкусные истории».

Юридический адрес ООО «Вкусные истории», следующий: Московская область, Солнечногорский район, деревня Рузино, ул. Малинская, дом 2.

Компания ООО «Вкусные истории» специализируется на производстве кондитерских изделий: тортов, конфет, шоколада и изделий из них.

Также компания производит линейку напитков, соков и мороженное из молока и свежемороженых соков.

В последнее время, в связи со значительным расширением производства при увеличении спроса на производимую продукцию, в условиях дефицита производственных мощностей и территории, а также расположении некоторых объектов предприятия в разных частях Московской области, остро стал вопрос о сооружении одной общей производственной базы в деревне Рузино Московской области, в которой будет осуществляться весь технологический процесс производства кондитерской продукции с учётом новых марок, планируемых к внедрению на предприятии.

По этой причине данный вопрос сооружения и ввода в эксплуатацию собственной системы электроснабжения кондитерского производства, является актуальной задачей.

Исходя из технологии и необходимости производства, на проектируемом кондитерском производстве компания ООО «Вкусные истории», планируется производить следующие виды продукции:

- кондитерские изделия – конфеты, торты, пирожные, печенье и прочие кондитерские продукты различных видов и типов;
- натуральные фруктовые соки, морсы, варенья и прочие аналогичные продукты;

– мороженное различных видов.

Весь процесс и технология производства продукции в системе электроснабжения кондитерского производства должен соответствовать основным современным требованиям и нормам.

Поэтому, исходя из требуемой производимых видов продукции, которую планируется производить на проектируемом кондитерском производстве, можно сделать вывод, что с учётом совершенно различной технологии производства, они не могут быть объединены в один технологический корпус (линию).

С учётом этого, на рассматриваемом в работе кондитерском производстве планируется три «производственных цеха, которые будут вносить основной вклад в процесс изготовления готовой продукции» [13].

Исходя из технологического процесса производства готовой продукции, к основным производственным цехам и участкам кондитерского производства относятся:

- цех кондитерских изделий – в нём изготавливаются конфеты, торты, пирожные, печенье и прочие кондитерские продукты различных видов и типов;
- таро-консервный цех – в нём производятся и упаковываются натуральные фруктовые соки, морсы, варенья и прочие аналогичные продукты;
- холодильный цех – используется для непосредственного процесса изготовления мороженого различных видов (из молока и фруктовых соков), а также сопутствующих товаров.

Цех кондитерских изделий, таро-консервный цех и холодильный цех являются основными производственными подразделениями проектируемого кондитерского производства.

После процесса упаковки готовой продукции, как правило, проводится её дефектация с проверкой качества и норм изготовления, а также герметичности упаковки изделий.

Обязательный пищевой контроль полученной продукции должна осуществлять лаборатория контроля качества, в которой имеются все необходимое современное оборудование для обеспечения данного процесса.

Также первичный контроль осуществляется на пункте приёма и обработки первичного сырья.

«Помимо основных цехов производства, на территории проектируемого в работе кондитерского производства, есть следующие вспомогательные цеха и участки» [14]:

- лаборатория контроля качества;
- участок ремонта и обслуживания оборудования;
- пункт приёма и обработки первичного сырья;
- «административное здание» [14];
- «торгово-выставочный комплекс» [14];
- «склады» [14];
- «компрессорная с оборудованием» [14];
- «насосная с оборудованием (включая два высоковольтных асинхронных электродвигателя напряжением 10 кВ)» [14].

«Исходные технические данные приведённых производственных, вспомогательных цехов и участков рассматриваемого и проектируемого в работе кондитерского производства, приведены в таблице 1» [12].

Кроме того, в проекте предусмотрена также перспективная нагрузка мощностью 1500 кВт, которая планируется в связи с возможностью дальнейшего расширения производства и увеличения производственных мощностей.

«В таблице 1 указана проектная мощность для каждого участка (цеха), исходя из совокупности оборудования, которое в них должно быть установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции кондитерского производства, проектирование которого осуществляется в работе» [12].

Таблица 1 – «Исходные технические данные цехов и участков кондитерского производства» [12]

Наименование цеха (участка)	Назначение цеха (участка)	Проектная мощность, $P_{пр}$, кВт
Цех кондитерских изделий	Основной производственный	590
Таро-консервный цех	Основной производственный	1000
Холодильный цех	Основной производственный	390
Компрессорная	Основной вспомогательный	190
Лаборатория контроля качества	Неосновной вспомогательный	660
Участок ремонта и обслуживания оборудования	Неосновной вспомогательный	930
Пункт приёма и обработки первичного сырья	Неосновной вспомогательный	200
Административное здание	Неосновной вспомогательный	150
Торгово-выставочный комплекс	Неосновной вспомогательный	83
Склады	Неосновной вспомогательный	70
Насосная: а) 0,4 кВ б) АД 10 кВ	Основной вспомогательный	40 2×400=800
Итого по кондитерскому производству		5103

Далее в работе необходимо провести детальный анализ исходных технических данных цехов и участков кондитерского производства. Анализ предусматривает их классификацию по следующим направлениям:

- по принадлежности к категории надёжности;
- по особенностям производственной среды.

Принадлежность к категории надёжности цехов и участков кондитерского производства существенно влияет на их схему электроснабжения, а классификация по особенностям производственной среды – на выбор оборудования и проводников.

Известно, что на характер среды в первую очередь оказывает влияние технология производства, которая характеризуется определённой температурой, влажностью, химической средой, запылённостью, а также

прочими аналогичными климатическими показателями. При анализе производственной среды учитывается также режим работы (продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный), на основании которого возможно наличие или отсутствия того или иного фактора среды в полной мере (таблица 2).

Таблица 2 – «Систематизация цехов и участков проектируемого кондитерского производства по категориям надёжности и условиям производственной среды» [8]

Наименование объекта	Категория надёжности объекта	Характеристика производственной среды
Цех кондитерских изделий	I категория	Жаркая
Таро-консервный цех	I категория	Жаркая
Холодильный цех	I категория	Холодная
Компрессорная	I категория	Жаркая, сухая
Лаборатория контроля качества	II категория	Нормальная
Участок ремонта и обслуживания оборудования	II категория	Пыльная, сухая
Пункт приёма и обработки первичного сырья	II категория	Пыльная, сухая
Административное здание	III категория	Нормальная
Торгово-выставочный комплекс	III категория	Нормальная
Склады	III категория	Нормальная
Насосная	I категория	Влажная

Помимо основных производственных цехов и участков, к I категории отнесены также насосная и компрессорная, так как перерыв в их электроснабжении может привести к аварии на объекте и порче дорогостоящего оборудования, а также непосредственной угрозе безопасности и жизни людей. С учётом приведённых норм и характеристики технологического процесса, а также классификации производственных и вспомогательных цехов и участков проектируемой системы электроснабжения кондитерского производства, далее в работе проводится решение поставленных основных задач по разработке мероприятий по проектированию системы электроснабжения и оборудования объекта исследования.

1.2 Нормы и требования к проектированию систем электроснабжения пищевых предприятий

Далее в работе необходимо привести основные нормы и требования к проектированию систем электроснабжения пищевых предприятий, к которым относится и система электроснабжения кондитерского производства, являющейся объектом исследования в данной работе.

По специфике и составу, системы электроснабжения пищевых предприятий относятся к системам гражданского электроснабжения классического типа [8].

Следовательно, данному типу системы электроснабжения характерны следующие основные принципы построения:

- наличие понизительной подстанции, получающей питание от энергосистемы;
- наличие трансформаторных цеховых подстанций, которые питают потребители цехов предприятия;
- резервное питание потребителей 1 и 2 категорий надёжности;
- применение радиальных схем в питающей системе электроснабжения объекта;
- применение смешанных схем в распределительной системе электроснабжения объекта;
- установка коммутационных и защитных аппаратов от внешних и внутренних повреждений;
- минимум промежуточных звеньев при передаче электроэнергии;
- применение автоматики для обеспечения резерва в сети;
- разделение секций на две и более для резерва сети (резервирование и секционирование системы).

Известно, что основные нормы и требования при проектировании систем электроснабжения пищевых предприятий, заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований [1], [4], [10], [11]:

- надёжности отдельных элементов, узлов и всей системы электроснабжения в целом;
- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи в системе электроснабжения;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ на оборудовании в системе электроснабжения;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанций систем электроснабжения;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования систем электроснабжения в целом;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования для применения в системах электроснабжения;
- использование передовых и экономичных схемных решений в системах электроснабжения;
- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования электроснабжения;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов в системах электроснабжения;
- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям на всех уровнях;
- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы системы электроснабжения;
- обеспечение ограничения ненормальных режимов всех звеньев цепи;
- обеспечение экономичности при передаче электроэнергии, а также при ремонте, обслуживании и модернизации систем электроснабжения.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, приведён исходный анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения кондитерского производства, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по производственной среде.

Детально рассмотрены основные нормы и требования, предъявляемые к проектированию систем электроснабжения пищевых предприятий.

«Показано, что разработка качественного проекта системы электроснабжения» [11] кондитерского производства, обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Поставленные задачи по проектированию системы электроснабжения кондитерского производства решаются в работе далее с применением перспективных технических решений и современных расчётных методик.

2 Проектирование системы электроснабжения кондитерского производства

2.1 Выбор схемы электроснабжения кондитерского производства

На основании исходных данных к выполнению работы, а также с учётом приведённых в первом разделе норм и требований нормативных документов, проводится аргументированный выбор схемы электрических соединений проектируемой «системы электроснабжения кондитерского производства» [1].

«На первом этапе выбора необходимо определить номинальные классы напряжения» [1], тип источника питания (ГПП, ЦРП или РП), а также количество источников питания кондитерского производства.

В «системе электроснабжения кондитерского производства преобладают потребители II-й категории по надёжности электроснабжения, поэтому внешнее электроснабжение данного объекта осуществляется по двухцепной ЛЭП с установкой» [2] на источнике питания системы электроснабжения объекта двух силовых трансформаторов.

Далее проводится аргументированный выбор источника питания системы внешнего электроснабжения кондитерского производства. Электроснабжение объекта может осуществляться от ПС 110/35/10кВ.

В качестве источника внешнего электроснабжения объекта проектирования рассматриваются три основных варианта:

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

Распределительный пункт, а также центральный распределительный пункт, не подходят для внешнего электроснабжения объекта проектирования в виду отсутствия близости источников внешнего питания номинальным

напряжением 6(10) кВ, а также относительно небольшой мощности современных РП, которые, в основном, используются в локальных внутренних схемах [10].

Следовательно, для обеспечения питания внешней системы электроснабжения кондитерского производства, в «работе необходимо применять главную понизительную подстанцию» [1].

Для определения экономической целесообразности величины внешнего напряжения применяется известная формула Илларионова:

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

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

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

«По условию (1) для ГПП кондитерского производства» [1]:

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/6 + 2500/6,5}} = 46,2 \text{ кВ.}$$

«По шкале стандартных номинальных напряжений, приведённой в [14], принимается ближайшее стандартное значение номинального напряжения, равного 35 кВ» [1].

«При выборе низшего напряжения на ГПП кондитерского производства, из стандартного номинального ряда напряжений, принимается напряжение 10 кВ, которое гораздо более эффективнее и экономически целесообразнее напряжения 6 кВ» [7].

«С учётом этого, составляется уточнённая структурная схема понижающей подстанции ПС-35/10 кВ (рисунок 1)» [1].

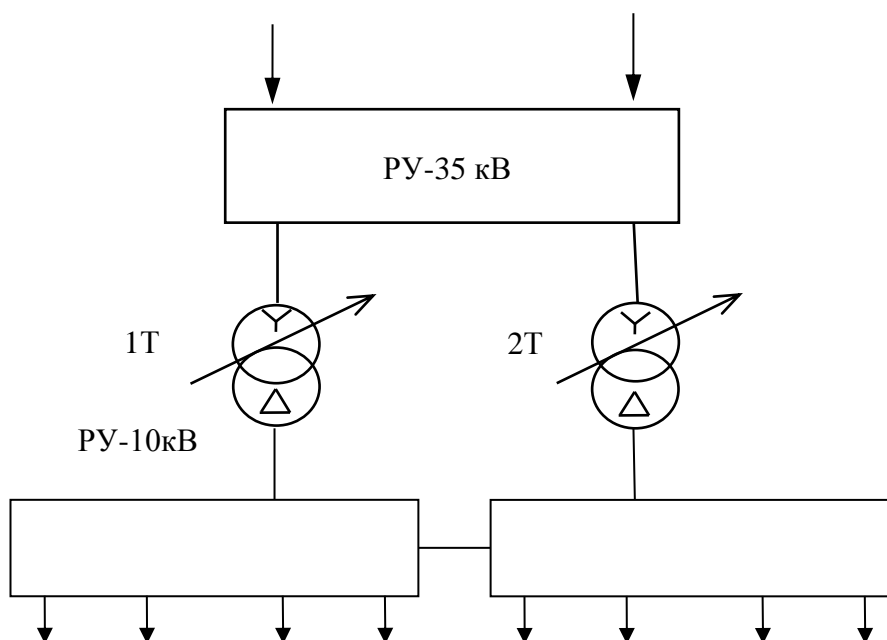


Рисунок 1 – Уточнённая структурная схема ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства

«Для ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства применяется схема электрических соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [7] с установленными двумя разъединителями в ремонтной перемычке (в нормальном режиме работы отключены), а также с применением двух блоков «выключатель – разъединитель» на линиях» [1].

«В работе для ОРУ-35 кВ тупиковой ГПП 35/10 кВ, необходимо предусмотреть и выбрать коммутационные и защитные аппараты (применяются блоки «выключатель-разъединитель», а также «линия-разъединитель»), предусмотреть защиту от грозových перенапряжений (ограничители перенапряжения), а также обеспечить бесперебойное питание вторичных цепей (измерительные трансформаторы тока)» [6].

«Распределительное устройство 10 кВ (далее – РУ-10 кВ) рассматриваемой главной понизительной подстанции 35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства, выполнено с применением ячеек наружной установки двухстороннего обслуживания типа КРУН-К-59

производства ЗАО «Завод высоковольтного оборудования» (ЗАО «ЗВО») с установленными в них выключателями с использованием втычных контактов вместо разъединителей» [18].

Исходя из нормативных положений по выбору схем электрических соединений, с учётом особенности конструкции ячеек, в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства, «применяются блоки «линия-выключатель» (без разъединителей) на питающей и отходящих линиях, а также на секционирующем соединении» [3].

«Принятая в работе схема электрических соединений РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ» [1] системы электроснабжения кондитерского производства представлена в графической части работы (лист 2).

План расположения выбранного оборудования на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства представлен на графическом листе 3.

ГПП целесообразнее установить в центре электрических нагрузок, но сооружение подстанции в данном месте невозможно, поэтому переносим подстанцию в наиболее благоприятное для строительства место. Положение места для строительства ГПП показано на графическом листе 1.

Для оперативных переключений на ГПП принимается «схема внешнего электроснабжения в виде двух блоков с выключателями и неавтоматической перемычкой» [1].

Схема оперативного режима ГПП проектируемой системы электроснабжения кондитерского производства представлена на рисунке 2.

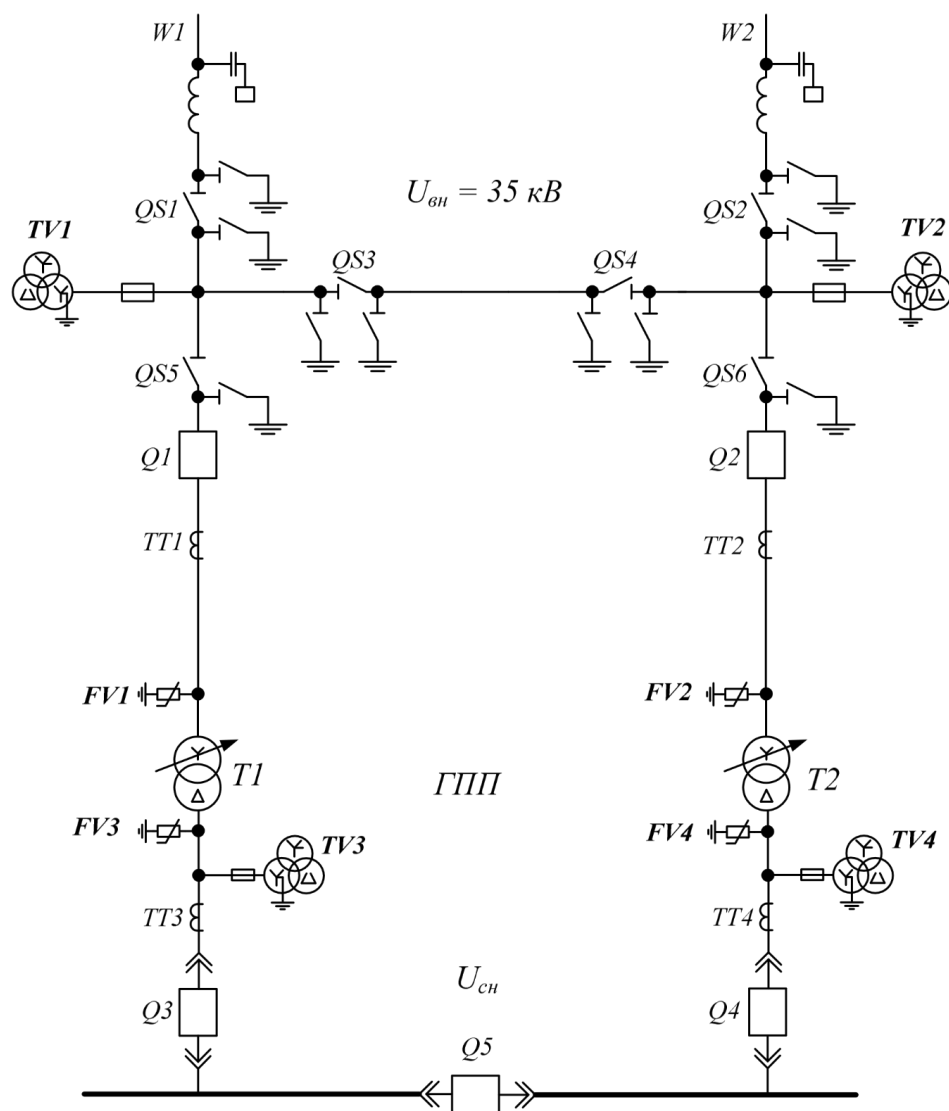


Рисунок 2 – Схема оперативного режима ГПП проектируемой системы электроснабжения кондитерского производства

«Далее от шин 10 кВ ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства получают питание понижительные цеховые подстанции напряжением 10/0,4 кВ (далее – ТП-10/0,4 кВ), которые питают соответствующие потребители цехов и участков системы электроснабжения объекта проектирования» [1].

Резервирование обеспечено с помощью секционных автоматических выключателей, установленных конструктивно в РУ-0,38 кВ на каждой цеховой ТП.

Такая схема технически надёжная и экономичная, следовательно, может быть принята в работе.

Кроме того, отдельными кабельными линиями от РУ-10 кВ ГПП по радиальной схеме (без резервирования внутренней структуры) осуществляется питание двух высоковольтных двигателей насосной.

Из двух высоковольтных электродвигателей, один получает питание от первой секции сборных шин 10 кВ РУ-10 кВ ГПП, а второй двигатель – от второй секции 10 кВ РУ-10 кВ ГПП.

Режим работы двигателей – раздельный, причём постоянно работает только один двигатель, второй находится в резерве.

При недостатке мощности в схеме нормальных соединений возможен параллельный запуск обоих высоковольтных двигателей.

Таким образом, данная схема питания высоковольтных АД системы электроснабжения кондитерского производства обладает достаточной гибкостью.

При такой схеме обеспечивается поочерёдное (парное «сквозное» резервирование), при котором при выходе из строя одного двигателя автоматически включается второй, покрывая потребность в необходимой мощности насосной.

Такая схема полностью соответствует условиям питания ответственных «потребителей системы электроснабжения кондитерского производства согласно» [10,11].

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Далее в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок разработанной схемы электрических соединений системы электроснабжения кондитерского производства.

Известно, что в сети переменного тока расчёту подлежат активная, реактивная и полная расчётные электрические нагрузки [15].

Численное значение «расчётной активной нагрузки силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков проектируемого кондитерского производства, кВт» [8]:

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

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

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

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

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

«Принимается в зависимости от степени компенсации реактивной нагрузки» [16] по справочным данным. Соответствует стандартному значению $\operatorname{cos}\varphi$.

В работе, помимо силовой расчётной нагрузки объекта, также необходимо провести расчёты осветительной нагрузки кондитерского производства, исходя из площади, которая подлежит освещению.

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого кондитерского производства, кВт» [1]:

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

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

« $P_{н.о}$ – суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха (участка) проектируемого кондитерского производства, кВт» [1].

«При этом» [1]:

$$P_{н.о} = P_{уд.о} F, \quad (5)$$

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

« F – площадь соответствующего цеха (участка) проектируемого кондитерского производства согласно генплану, м²» [1].

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемого кондитерского производства» [1]:

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

«Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ соответствующего цеха (участка) проектируемой» [1] системе электроснабжения кондитерского производства рассчитываются по условиям (1) и (2), а полная расчётная силовая нагрузка – по условиям и методике [7]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

«Расчетная полная нагрузка проектируемого в работе кондитерского производства определяется по суммарным расчетным нагрузкам,

включающим расчётные силовые и осветительные нагрузки, с учётом предварительных потерь мощности в цеховых трансформаторах и в трансформаторах ГПП» [8].

Расчёт нагрузок в работе проводится с учётом потерь в элементах сети. Как правило, максимальными потерями, которыми нельзя пренебречь, являются нагрузочные потери в силовых трансформаторах на ГПП и цеховых ТП [17].

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения кондитерского производства на этапе проверки можно рассчитать таким образом» [16]:

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

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

«Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах ГПП системы электроснабжения кондитерского производства на этапе проверки можно рассчитать таким образом» [16]:

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

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

«По приведённым выше условиям (1) – (10) проводится расчёт нагрузок цехов и участков проектируемого» [4] кондитерского производства.

Основой для дальнейших расчётов и выбора оборудования и сетей является суммарная расчётная «нагрузка цехов (участков) и кондитерского производства в целом» [1].

«Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения кондитерского производства сведены в таблицу 3» [1].

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения кондитерского производства

Наименование цеха (участка)	Осветительная нагрузка					Суммарная расчётная нагрузка		
	F , м ²	$P_{уд.о.}$, Вт/м ²	$P_{н.о.}$, кВт	$K_{с.о}$	$P_{р.о.}$, кВт	$P_{р.+P_{р.о.}}$, кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Потребители 0,38/0,22 кВ								
Цех кондитерских изделий	20000	20	400	0,95	380	793	363,44	872,3
Таро-консервный цех	20000	20	400	0,95	380	1180	704	1374,1
Холодильный цех	2200	20	44	0,95	41,8	169,78	163,3	235,6
Компрессорная	1200	18	21,6	0,95	20,52	172,52	94,24	196,6
Лаборатория контроля качества	2500	17	42,5	0,95	40,38	238,38	174,24	295,3
Участок ремонта и обслуживания оборудования	3500	17	45	0,95	42,75	275,25	174,38	325,8
Пункт приёма и обработки первичного сырья	4000	17	68	0,95	64,6	144,6	60	166,64
Административное здание	5000	18	90	0,95	85,5	160,5	76,5	177,8
Торгово-выставочный комплекс	4000	18	72	0,95	39,9	89,7	37,35	89,7
Склады	6400	16	102,4	0,95	97,28	153,28	18,48	154,4
Насосная	4000	18	72	0,95	39,9	71,9	19,84	74,6
Итого 0,4 кВ					1423,6	4647,88	2668,07	5359,2
Потребители 10 кВ								
Насосная	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3
Итого 10 кВ	-	-	-	-	-	680	326,4	754,3

Кроме того, при расчёте нагрузки всей системы электроснабжения проектируемого кондитерского производства, необходимо учесть перспективную нагрузку (запас мощности), который планируется оставить в случае дальнейшего расширения производства.

Согласно исходным данным, перспективная активная нагрузка объекта проектирования равна $P_n = 1500$ кВт, следовательно:

- по условию (1) для перспективной активной нагрузки:

$$P_{p.n} = 0,9 \cdot 1500 = 1350 \text{ кВт.}$$

- по условию (2) для перспективной реактивной нагрузки:

$$Q_{p.n} = 1350 \cdot 0,54 = 729 \text{ квар.}$$

Численное значение полной расчётной нагрузки S_p с учётом всех расчётных нагрузок проектируемого кондитерского производства, а также с учётом перспективной активной и реактивной нагрузки, соответствует сумме нагрузок объекта напряжением 0,4 кВ и 10 кВ:

$$S_p = \sqrt{(P_{p.0,4} + P_{p.10} + P_{p.n})^2 + (Q_{p.0,4} + Q_{p.10} + Q_{p.n})^2}. \quad (12)$$

По условию (11):

$$S_p = \sqrt{(4647,88 + 680 + 1350)^2 + (2668,07 + 326,4 + 729)^2} = 8541,4 \text{ кВА.}$$

«Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения кондитерского производства на этапе проверки можно рассчитать таким образом (аналогично потерям в трансформаторах на ГПП)» [16]:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 S_{p.n}, \text{ кВт}; \quad (13)$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 S_{p.n}, \text{ квар.} \quad (14)$$

Для проектируемой схемы внутреннего электроснабжения питающей сети цеховых ТП-10/0,4 кВ:

$$\Delta P_{ТЦ} = 0,02 \cdot 8541,4 = 170,8 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{ТЦ} = 0,1 \cdot 8541,4 = 854,1 \text{ квар.}$$

«На этапе проектирования необходимо рассчитать величину компенсации реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП» [19] схемы внутреннего электроснабжения объекта по условию [19]:

$$Q_{KY} = P_M(tg\varphi_O - tg\varphi_M). \quad (15)$$

Для условий ГПП с учётом определённых ранее всех расчётных нагрузок:

$$Q_{KY} = 8024,65(0,4 - 0,36) \approx 321 \text{ квар.}$$

Как видно из полученных результатов расчёта, на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства, необходима компенсация реактивной мощности (далее – КРМ).

«Для компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения» [1] объекта выбираются конденсаторные установки напряжением 10 кВ, устанавливаемые на секциях шин 10 кВ ГПП.

Исходя из расчётных значений, «выбраны две конденсаторные установки марки УКРМ-10,5-160-50 (100р+60р) номинальной реактивной мощностью 160 квар каждая» [12].

«Значение суммарной расчетной реактивной нагрузки с учётом КУ в системе» [19]:

$$Q_{p\Sigma} = (Q_{p.n} + Q_{p.в}) \cdot K_{pm} + Q_{TЦ} - Q_{KY}, \text{ квар,} \quad (16)$$

где K_{pm} – «коэффициент одновременности максимумов нагрузки на шинах 10 кВ ГПП» [12].

«Для схемы ГПП системы электроснабжения кондитерского производства, исходя из расчётных данных нагрузок, полученных ранее» [1], с учётом подключения конденсаторных установок на шины РУ-10 кВ (КРМ):

$$Q_{p\Sigma} = (2925,7 + 326,4) \cdot 0,95 + 854,1 - 320 \approx 3622,6 \text{ квар.}$$

«Суммарная расчетная активная нагрузка проектируемого кондитерского производства» с учётом КРМ [12]

$$P_{p\Sigma} = (P_{p.n} + P_{p.г}) \cdot K_{рм} + P_{тц} + P_{p.o}, \text{ кВт.} \quad (17)$$

$$P_{p\Sigma} = (6601,04 + 680 + 708,7) \cdot 0,95 + 170,8 + 1423,58 \approx 9184,6 \text{ кВт.}$$

«Суммарная расчетная полная нагрузка проектируемого кондитерского производства» с учётом КРМ [12]

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{(P_{p.\Sigma})^2 + (Q_{p.\Sigma})^2}. \quad (18)$$

$$S_{p.\Sigma} = \sqrt{9184,6^2 + 3622,6^2} \approx 9873,2 \text{ кВА.}$$

Величина потерь:

$$\Delta P_{T.ГПП} = 0,02 \cdot 9873,2 = 197,5 \text{ кВт;}$$

$$\Delta Q_{тц} = 0,1 \cdot 9873,2 = 987,3 \text{ квар.}$$

«Полная расчётная нагрузка ГПП проектируемого кондитерского производства с учётом предварительных потерь активной и реактивной мощности в трансформаторах» [12]

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{p.\Sigma} + \Delta P_{T.ГПП})^2 + (Q_{p.\Sigma} + \Delta Q_{тц})^2}, \text{ кВА.} \quad (19)$$

Значит

$$S_{p.} = \sqrt{(9184,6 + 197,5)^2 + (3622,6 + 987,3)^2} = 10453,5 \text{ кВА.}$$

«Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок» [15] отдельных цехов и участков, а также всей проектируемой системы внешнего и внутреннего электроснабжения кондитерского производства, «используются в работе далее при выборе и проверке силовых трансформаторов для установки на ГПП и цеховых ТП, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников на объекте исследования» [15].

Указанные мероприятия по выбору оборудования в проектируемой системе электроснабжения кондитерского производства на основании полученных результатов расчётных нагрузок, проводятся далее.

2.3 Выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП системы электроснабжения кондитерского производства

Известно, что суммарное количество силовых трансформаторов ГПП выбирается в зависимости от категории надёжности электроснабжения потребителей [15].

Также известно, что для обеспечения «электроснабжения потребителей I и II категории надёжности должно быть предусмотрено два независимых источника» [12] питания, следовательно, исходя из этого, на питающей подстанции (ГПП) должно быть установлено два силовых трансформатора.

Согласно, допускается перегрузка маслонаполненных трансформаторов на 30% в течении 120 минут, на 45% в течение 80 минут, на 65% в течение 45 минут [11].

Мощность силовых трансформаторов ГПП должна быть выбрана с учетом максимальной расчётной нагрузки предприятия при рабочем режиме с учетом нагрузки при обеспечении аварийного резерва с учётом отключения цехов и участков, относящихся к III категории надёжности по условию категорийности потребителей [10].

Выбор и проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта в работе проводится по следующему алгоритму:

- выбор силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимым коэффициентам загрузки с предварительной проверкой по допустимой расчётной нагрузке;
- проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме;
- «проверка силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимой загрузке в послеаварийном режиме работы» [17].

«Минимальная мощность трансформатора для установки на ГПП» [15] определяется, исходя из условия, по формуле:

$$S_{ном.} \geq \frac{S_p}{N \cdot k_{загр}}, \quad (20)$$

где $k_{загр}$ – рекомендуемый коэффициент загрузки трансформаторов на подстанциях;

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

По уравнению (19)

$$S_{ном} \geq \frac{10453,5}{2 \cdot 0,65} = 8041,5 \text{ кВА.}$$

Исходя из номинального ряда мощностей для «силовых трансформаторов [5], для установки на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства, предварительно выбираются два силовых трансформатора ТМН-10000/35 с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ» [14].

«Условие проверки силовых трансформаторов ГПП объекта по фактической нагрузке в нормальном режиме» [15]:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,65. \quad (21)$$

Проверка силовых трансформаторов ГПП объекта по фактической нагрузке в «нормальном режиме выполняется» [15]:

$$K_3 = \frac{10453,5}{2 \cdot 10000} = 0,52 \leq 0,65.$$

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

«Условие проверки силовых трансформаторов» [11] главной понизительной подстанции объекта по допустимой загрузке в послеаварийном режиме работы согласно [11]:

$$1,35 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (22)$$

Условие проверки силовых трансформаторов главной понизительной подстанции объекта по допустимой загрузке в послеаварийном режиме работы выполняется:

$$1,35 \cdot 10000 = 13500 \text{ кВА} \geq 10453,5 \text{ кВА}.$$

«Расчётным путём установлено, что трансформаторы ТМН-10000/35 могут быть приняты для установки на ГПП-35/10 кВ объекта» [18].

2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций

«Далее в работе необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов» [19] цеховых трансформаторных подстанций системы электроснабжения кондитерского производства с учётом схемы электрических соединений объекта проектирования, а также подключения нагрузки в питающей сети 10 кВ и распределительной сети 0,38/0,22 кВ.

Известно, что номинальная полная «мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ систем электроснабжения промышленных предприятий, определяется по следующему условию» [12]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N \beta_T}, \quad (23)$$

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

« $\sum P_p$ – активная нагрузка объектов, питающихся от ТП, 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 по условию (22)» [19]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{793}{2 \cdot 0,8} = 495,6 \text{ кВА.}$$

«Для установки на цеховой ТП-1 приняты два силовых трансформатора марки ТМ-630/10» [12].

«На других цеховых ТП выбор силовых трансформаторов аналогичен (таблица 4)» [19].

Таблица 4 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

ТП	№ цеха	Наименование цеха (участка)	Категория надёжности	P_p , кВт	$S_{ном.т.р.}$, кВА	$n \times S_{ном.т.}$, кВА
ТП-1	1	Цех кондитерских изделий	I	793	495,6	2x630
ТП-2	2	Таро-консервный цех	I	1180	842,8	2x1000
ТП-3	3	Холодильный цех	I	708,7	591,9	2x630
	5	Лаборатория контроля качества	II	238,38		
	Всего по ТП-3			I, II		
ТП-4	4	Компрессорная	I	172,52	370,2	2x400
	6	Участок ремонта и обслуживания оборудования	II	275,25		
	7	Пункт приёма и обработки первичного сырья	II	144,6		
	Всего по ТП-4			II		
ТП-5	11	Насосная	I	71,9	339,6	2x400
	8	Административное здание	III	160,5		
	9	Торгово-выставочный комплекс	III	89,7		
	10	Склады	III	153,28		
	Всего по ТП-5			II, III		

«Коэффициенты загрузки трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ» [19] системы электроснабжения кондитерского производства «не превышают максимально допустимое значение, следовательно, выбранные типы трансформаторов удовлетворяют требованиям» [19] и условиям выбора и проверок.

2.5 Выбор и проверка проводников системы электроснабжения кондитерского производства

Далее в работе необходимо провести выбор и проверку проводников системы электроснабжения кондитерского производства.

В работе в системе электроснабжения кондитерского производства, выбору подлежат проводники воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (питающие воздушные линии от энергосистемы к силовым трансформаторам ГПП) и 10 кВ (отходящие кабельные линии от РУ-10 кВ ГПП к цеховым ТП-10/0,4 кВ).

«Сечение проводников проектируемой линии можно определить по формуле» [19]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{РАСЧ}}}{j_{\text{ЭК}}}, \quad (24)$$

где « $I_{\text{РАСЧ}}$ – расчетное значение тока, А» [17];

« $j_{\text{ЭК}}$ – экономическая плотность тока, А/мм²» [19].

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

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (25)$$

где $S_{\text{р}}$ – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

«Выбранное сечение линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы» [1]

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{н}}, \quad (26)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [4].

«Также выбранное сечение линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [4].

Проверка по условию длительного нагрева в послеаварийном режиме сводится к проверке выполнения условия [12]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{а}}. \quad (27)$$

Следовательно, для корректного выбора сечения проводников линий электропередач системы электроснабжения кондитерского производства, необходимо предварительно провести расчёт максимальных токов послеаварийного режима присоединений 35 кВ и 10 кВ (соответственно, питающей и распределительной сетей системы внешнего и внутреннего электроснабжения объекта).

Для данного значения K_{nn} и $t_M = 1$ ч коэффициент допустимой перегрузки в послеаварийном режиме $K_{ав} = 1,4$ [6].

Расчёт максимальных рабочих токов послеаварийного режима проводится с учётом резервирования в схеме электроснабжения с влиянием категоричности объектов в системе электроснабжения кондитерского производства, по упрощённой формуле расчёта:

$$I_a = K_{ав} \cdot I_n = 1,4 \cdot I_n. \quad (28)$$

Рассчитанные значения максимальных токов послеаварийного режима для сети 35 кВ и 10 кВ используются далее для выбора сечения соответствующих проводников линий.

Также эти расчётные данные используются при выборе и проверке электрических аппаратов в работе далее.

Необходима также проверка сечений проводников линий по условию допустимой потере напряжения [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \%. \quad (29)$$

Допустимые потери в системе электроснабжения любого типа должны быть не более 5% [15].

Далее в работе проводится детальный выбор и проверка сечения проводника воздушной линии 35 кВ, которая осуществляет питание

трансформаторов ГПП системы электроснабжения кондитерского производства от энергосистемы.

Расчётный ток нормального режима ВЛ-35 кВ системы электроснабжения кондитерского производства:

$$I_p = \frac{10453,5}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 86,2 \text{ А.}$$

Максимальный рабочий ток ВЛ-35 кВ системы электроснабжения кондитерского производства:

$$I_{p.\max} = \frac{10453,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 172,4 \text{ А.}$$

Экономически выгодное «сечение провода питающей ВЛ-35 кВ проектируемой системы электроснабжения кондитерского производства» [19]:

$$F_s = \frac{86,2}{1,1} = 78,3 \text{ мм}^2.$$

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

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме выполняется» [4]

$$265 \text{ А} \geq 86,2 \text{ А.}$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]

$$265 \text{ A} \geq 172,4 \text{ A}.$$

Известно, что 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 назначения линии.

Математически это условие выражается так [12]:

$$F_{ст} \geq F_{мин}, \text{ мм}^2. \quad (30)$$

Значит, в данной работе, исходя из перечисленных условий, с учётом климатических данных, а также таблиц и диаграмм, приведённых в разделе 3 [10], минимальные сечения проводов АС для линий 35 кВ находятся на уровне не менее 35 мм² [9].

Проверка предварительного выбранного сечения провода ВЛ-35 кВ проектируемой системы электроснабжения кондитерского производства по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам выполняется:

$$70 \text{ мм}^2 \geq 35 \text{ мм}^2.$$

По условию возникновения короны проверяются воздушные линии напряжением от 110 кВ и выше [17]. Условия проверок выполняются, следовательно, данный провод марки АС-70/11 полностью удовлетворяет всем условиям выбора и проверки, и подходит в качестве провода для питающей линии 35 кВ к трансформаторам главной понизительной подстанции проектируемой системы электроснабжения кондитерского производства.

«По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий напряжением 10 кВ, питающих ТП-10/0,4 кВ с приведением результатов выбора в форме таблицы 5» [9].

В работе питающая сеть напряжением 10 кВ выполняется силовыми кабелями при прокладке в траншеях. Расстояние между кабелями принимается равным 200 мм. При этом резервирование линий 10 кВ, отходящих к потребителям, также должны быть учтены при расчёте. Данное резервирование осуществляется через секционный выключатель в РУ-10 кВ подстанции [21].

Также скрытые кабельные линии, в отличие от воздушных, не подлежат проверке по условию механической прочности провода по климатическим и механическим факторам. Допустимое отклонение напряжения на конце кабелей распределительной сети 10 кВ – не более 5%.

Для ТСН и вводов силовых трансформаторов ГПП на стороне 10 кВ провода воздушных линий не используются (для этой цели на подстанции применяется жёсткий шинпровод). Поэтому для данных присоединений выбор проводников линий 10 кВ в работе не проводится.

Таблица 5 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства

№ ТП (линии)	<i>n</i> , шт.	I_p , А	$I_{p.max}$, А	$F_{э}$, мм ²	Марка силового кабеля	$I_{доп}$, А	ΔU , %
ТП-1	2	25,2	50,4	18,0	АСБ-10 (3×16)	75	2,4
ТП-2	2	39,7	79,4	28,3	АСБ-10 (3×25)	90	1,8
ТП-3	2	32,3	64,6	23,0	АСБ-10 (3×25)	90	1,1
ТП-4	2	19,9	39,8	14,2	АСБ-10 (3×16)	75	1,9
ТП-5	2	14,3	28,6	10,2	АСБ-10 (3×16)	75	2,6
Насосная (АД 10 кВ)	2	21,8	43,6	15,6	АСБ-10 (3×16)	75	2,1

Все выбранные в работе проводники (воздушная линия 35 кВ питающей сети внешнего электроснабжения и «силовые кабели напряжением 10 кВ распределительной сети внутреннего электроснабжения) кондитерского производства удовлетворяют всем условиям выбора и проверки» [14].

2.6 Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения кондитерского производства

Далее в работе осуществляется расчёт токов короткого замыкания (КЗ) в максимальном режиме работы системы (режим трёхфазного КЗ) согласно схемы на рисунке 3.

Так как на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения объекта, в результате проведения её реконструкции, установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 10 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на главной понизительной подстанции остаётся один силовой трансформатор (рисунок 3), на который также приходится нагрузка второго трансформатора, отключённый в максимальном режиме устройствами релейной защиты. Схема замещения для расчета токов КЗ в максимальном режиме показана на рисунке 4.

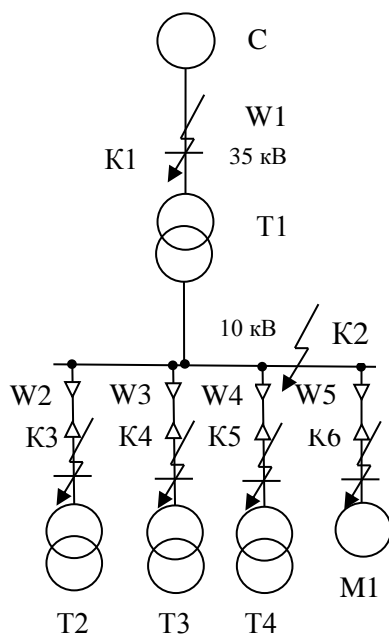


Рисунок 3 – Упрощённая расчетная схема для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения проектируемого кондитерского производства

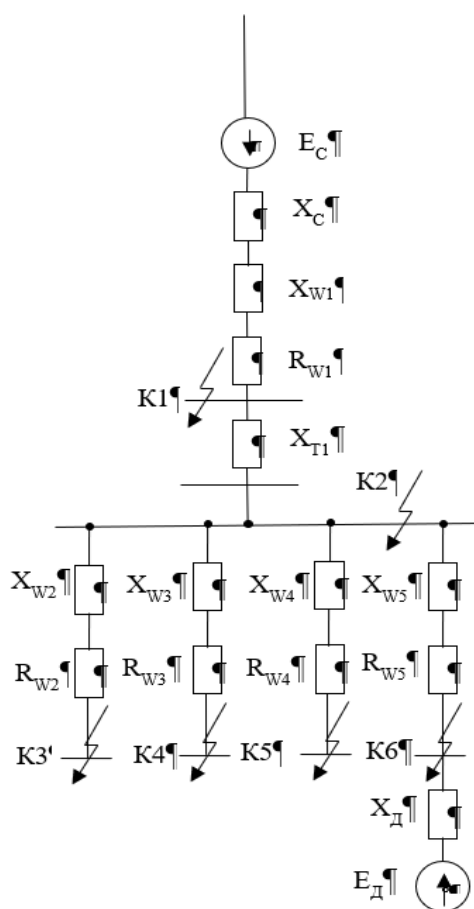


Рисунок 4 – Упрощённая схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения проектируемого кондитерского производства

После составления схемы замещения (рисунок 4), далее в работе принимаются базисные условия при расчёте в относительных единицах при последующем приведении к принятым базисным условиям в именованных единицах.

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности, поступающей с энергосистемы на ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства, с учётом перетоков мощностей:

$$S_{\sigma} = 100 \text{ МВА.}$$

Величина базисного напряжения в системе электроснабжения кондитерского производства принимается больше значения номинального напряжения сети на 5%.

Базисное напряжение схемы определяется так [6]:

$$U_{\sigma} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{ кВ.} \quad (31)$$

По условию (30)

$$U_{\sigma.1} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ.}$$

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

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

$$I_B = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (32)$$

Базисный ток на стороне ВН (35 кВ) схемы (численное значение):

$$I_{Б.ВН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 36,75} = 1,57 \text{ кА.}$$

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

$$I_{Б.НН} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА.}$$

Далее в работе поочередно определяется значение сопротивлений схемы замещения.

«Индуктивное сопротивление ВЛ» [17]:

$$X_{W1} = \frac{1}{n} \cdot X_0 \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_0}{U_B^2}. \quad (33)$$

где X_0 – «удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км» [12];

L – «суммарная длина питающей линии, км» [12];

n – «число цепей линии, шт.» [12]

Для ВЛ-35 кВ, питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление линии» [12]:

$$R_{W1} = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_0}{U_B^2}. \quad (34)$$

где R_0 – «удельное активное сопротивление линии» [4].

Для ВЛ-35 кВ, питающей ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{100}{36,75^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [12] при приведении к базисным условиям:

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{К.З.}}{100} \cdot \frac{S_{\sigma}}{S_{H.T}}. \quad (35)$$

Численное значение индуктивного сопротивления трансформатора, установленного на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства (ТМН-10000/35):

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 0,59 \text{ о.е.}$$

«Индуктивное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины при приведении к базисным условиям» [12]:

$$X_{W2} = 0,09 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,02 \text{ о.е.}$$

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,016 \text{ о.е.}$$

$$X_{W4} = 0,09 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,04 \text{ о.е.}$$

$$X_{W5} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,01 \text{ о.е.}$$

«Активное сопротивление кабельных линий W2-W5 с учётом их длины» [12] при приведении к базисным условиям:

$$R_{W2} = 0,62 \cdot 0,3 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,17 \text{ о.е.}$$

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,11 \text{ о.е.}$$

$$R_{W4} = 0,62 \cdot 0,5 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,28 \text{ о.е.}$$

$$R_{W5} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,08 \text{ о.е.}$$

Известно, что при наличии в системе электроснабжения высоковольтных электродвигателей большой мощности, в результате электромагнитных и электродинамических процессов, они существенно влияют на величину токов короткого замыкания за счёт токов подпитки и сверхпереходных сопротивлений.

Таким образом, в схеме должны быть учтены высоковольтные асинхронные двигатели (далее – АД) мощностью 400 кВт каждый, установленных в насосной объекта проектирования.

«Сверхпереходные сопротивления АД» [7]

$$x_d'' = 0,2;$$

$$E_d = E'' = 0,9.$$

«Параметры рассматриваемого высоковольтного двигателя согласно техническим данным» [13]

$$P_n = 400 \text{ кВт}; \cos \varphi = 0,92; \eta = 85,0 \%$$

«С учётом этого, величина мощности, потребляемого высоковольтным двигателем из сети» [18]:

$$S_H = \frac{P_H}{\cos \varphi \cdot \eta}, \text{ кВА.} \quad (36)$$

«Для высоковольтного двигателя 10 кВ насосной по условию (35)» [18]:

$$S_H = \frac{400}{0,92 \cdot 0,85} = 511,5 \text{ кВА.}$$

«Величина фактического сопротивления высоковольтного двигателя с учётом сверхпереходного значения его сопротивления» [9]:

$$x_D = x_d'' \cdot \frac{S_B}{n \cdot S_H}, \text{ о.е.} \quad (37)$$

$$x_D = 0,2 \cdot \frac{100}{1 \cdot 511,5} = 0,196 \text{ о.е.}$$

«Проводится расчет токов КЗ в расчётной точке К1» [12].

«Полное сопротивление цепи короткого замыкания до точки К1» [12]:

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (38)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,05 + 0,02)^2 + 0,02^2} = 0,073 \text{ о.е.}$$

«Расчёт токов КЗ при трёхфазном коротком замыкании в расчётной точке К1» [12]

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_6. \quad (39)$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1}{0,073} \cdot 1,57 = 6,98 \text{ кА.}$$

«Определяется полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2 без учёта подпитки от АД» [12]

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_{T1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (40)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59)^2 + 0,02^2} = 0,66 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa 2 \text{БП}}^{(3)} = \frac{1}{0,66} \cdot 5,5 = 8,33 \text{ кА.}$$

«Начальное значение периодической составляющей трехфазного тока подпитки при КЗ от АД в точке К2» [12]:

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{E''}{Z'_{\Sigma k2}} \cdot I_6. \quad (41)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(X_{w5} + X_{\text{Д}})^2 + R_{w5}^2}}. \quad (42)$$

$$Z'_{\Sigma k2} = \frac{1}{\sqrt{(0,01 + 0,196)^2 + 0,08^2}} = 4,76 \text{ о.е.}$$

$$I_{\text{Д}}^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в точке К2» [12]:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = I_{\kappa 2 \text{БП}}^{(3)} + I_{\text{Д}}^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = 8,33 + 1,04 = 9,37 \text{ кА.}$$

Аналогично проводится расчёт результирующего сопротивления и трёхфазных токов КЗ в остальных точках схемы с учётом расположения отдельных элементов с схеме при определённом их соединении:

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w2})^2 + (R_{w1} + R_{w2})^2}. \quad (43)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,02)^2 + (0,02 + 0,17)^2} = 0,71 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa3}^{(3)} = \frac{1}{0,71} \cdot 5,5 = 7,75 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (44)$$

$$Z_{\Sigma k4} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,016)^2 + (0,02 + 0,11)^2} = 0,69 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa4}^{(3)} = \frac{1}{0,69} \cdot 5,5 = 7,97 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w4})^2 + (R_{w1} + R_{w4})^2}. \quad (45)$$

$$Z_{\Sigma k5} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,04)^2 + (0,02 + 0,28)^2} = 0,76 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa5}^{(3)} = \frac{1}{0,76} \cdot 5,5 = 7,24 \text{ кА.}$$

В расчётной точке К6 необходимо учесть подпитку от высоковольтных АД, находящихся в последовательном соединении с линией [12]:

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w5} + X_{Д})^2 + (R_{w1} + R_{w5})^2}. \quad (46)$$

$$Z_{\Sigma k6} = \sqrt{(0,05 + 0,02 + 0,59 + 0,01 + 0,196)^2 + (0,02 + 0,08)^2} = 0,87 \text{ о.е.}$$

$$I_{\kappa6БП}^{(3)} = \frac{1}{0,87} \cdot 5,5 = 6,32 \text{ кА.}$$

$$I_{Д}^{(3)} = \frac{0,9}{4,76} \cdot 5,5 = 1,04 \text{ кА.}$$

«Результирующий ток трёхфазного КЗ в расчётной точке К6» [12]:

$$I_{\kappa6}^{(3)} = I_{\kappa6БП}^{(3)} + I_{Д}^{(3)}, \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa6}^{(3)} = 6,32 + 1,04 = 7,36 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [9]:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \quad (47)$$

где $K_{y\partial}$ – «ударный коэффициент КЗ» [7].

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ в точке К1» [12]

$$I_{y\partial.k1} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 6,98 = 15,71 \text{ кА.}$$

Остальные значения ударного тока для всех остальных точек КЗ схемы получены аналогично и приведены в таблице 7.

«Ток двухфазного короткого замыкания» [12]:

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (48)$$

«В расчётной точке К1» [12]

$$I_{\kappa1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,98 = 6,04 \text{ кА.}$$

Остальные значения двухфазного тока для всех остальных точек КЗ схемы получены аналогично и приведены в таблице 6.

Таблица 6 – «Полученные результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы в проектируемой системе электроснабжения кондитерского производства» [9]

Точка КЗ	$I_{\kappa}^{(3)}, \text{кА}$	$I_{\kappa}^{(2)}, \text{кА}$	$I_{y\partial}, \text{кА}$
К1	6,98	6,04	15,71
К2	9,37	8,11	18,55

К3	7,75	6,71	15,02
К4	7,97	6,90	15,44
К5	7,24	6,27	14,03
К6	7,36	6,37	14,26

«На основе полученных результатов расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы электроснабжения кондитерского производства, далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для их установки, соответственно, в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ объекта проектирования» [18].

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения кондитерского производства

Далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения кондитерского производства.

Выбору подлежат электрические коммутационные и защитные аппараты, установленные на ГПП объекта проектирования (в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ).

В работе для проектируемой системы электроснабжения кондитерского производства, следует выбрать новые, современные электрические коммутационные и защитные аппараты, которые значительно превосходят устаревшие марки и модификации.

Известно, что современные технические решения по выбору оборудования системы электроснабжения кондитерского производства завода включают применение нового современного оборудования, которое характеризуется техническими и экономическими критериями [19,20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования;
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем;
- стабильное отключение больших токов;
- применение современных способов гашения электрической дуги;

- повышенная электробезопасность;
- экологическая безопасность;
- пожаробезопасность;
- взрывобезопасность;
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт;
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений;
- возможность дальнейшей модернизации;
- возможность расширения и ввода новых устройств;
- полноценная работа в техническом комплексе системы электроснабжения.

«Исходя из данных критериев, далее в работе проводится выбор и проверка электрических аппаратов для применения в системе электроснабжения» [11] кондитерского производства.

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по условиям» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (49)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (50)$$

«Для отключающих аппаратов проверка на ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (51)$$

«Проверка на отключение аperiodической составляющей тока» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (52)$$

где « $\beta_{ном}$ – аperiodическая составляющая в отключаемом токе» [12];

« $i_{а.ном}$ – номинальное допускаемое значение аperiodической

составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость [12]:

– «по условию номинального тока отключения» [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (53)$$

– «по величине ударного тока» [6,7]:

$$i_y \leq i_{дин}. \quad (54)$$

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (55)$$

где « I_T – предельный ток термической стойкости по каталогу» [12].

«Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 35 кВ системы электроснабжения кондитерского производства, представлены в таблице 7» [16]. «Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства, представлены в таблице 8» [16].

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 35 кВ системы электроснабжения кондитерского производства

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Аппараты напряжением 35 кВ			
Выключатель ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$	$I_{р.ав} = 172,4 \text{ А}$
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 40 \text{ кА}$	$I_{п.о.}^{(3)} = 6,98 \text{ кА}$

	$i_{a.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{a.ном} = 22,6 \text{ кА}$	$i_{ат}^{(3)} = 6,98 \text{ кА}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$	$i_{уд} = 15,71 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 9,26 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Разъединитель РДЗ – 35/1000 У1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 600 \text{ А}$	$I_{р.ав} = 172,4 \text{ А}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 100 \text{ кА}$	$i_{уд} = 15,71 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 40^2 \cdot 0,3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 9,26 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Ограничитель перенапряжения ОПН-35 УХЛ1	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$
Трансформатор тока ТГФМ-35-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 35 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 35 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$	$I_{р.ав} = 172,4 \text{ А}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 52 \text{ кА}$	$i_{уд} = 15,71 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 9,26 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки электрических аппаратов напряжением 10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства

Наименование аппарата	Условие выбора	Паспортные данные	Расчетные данные
Аппараты напряжением 10 кВ			
Выключатель вакуумный ВВ/TEL-10-20-1600-У2- 48	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{р.ав} = 809,2 \text{ А}$
	$I_{откл.ном} \geq I_{п.о.}^{(3)}$	$I_{откл.ном} = 20 \text{ кА}$	$I_{п.о.}^{(3)} = 9,37 \text{ кА}$
	$i_{a.ном} \geq i_{ат}^{(3)}$	$i_{a.ном} = 20 \text{ кА}$	$i_{ат}^{(3)} = 9,37 \text{ кА}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 18,55 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 31,5^2 \cdot 0,3 = 297,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Трансформатор тока ТПК-10-У3	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{ном} \geq I_{р.ав}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$	$I_{р.ав} = 809,2 \text{ А}$
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{дин} = 80 \text{ кА}$	$i_{уд} = 18,55 \text{ кА}$
	$I_T^2 \cdot t_T \geq B_K$	$I_T^2 \cdot t_T = 50^2 \cdot 1 = 2500 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_K = 15,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$
Ограничитель перенапряжения ОПН-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
ТН марки НТМИ-10-66	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$
Предохранитель ПКН-10	$U_{ном} \geq U_{сети}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Следовательно, установлено, что их можно использовать для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства.

2.8 Выбор трансформаторов собственных нужд на ГПП кондитерского производства

«Далее в работе проводится выбор трансформаторов собственных нужд на ГПП кондитерского производства по следующим формулам» [18]:

$$P_{расч.} = P_y \cdot K_c. \quad (56)$$

$$Q_{расч.} = P_{расч.} \cdot tg\varphi. \quad (57)$$

$$S_{с.н.рас.} = \sqrt{\sum P_{рас.}^2 + \sum Q_{рас.}^2}. \quad (58)$$

Мощность собственных нужд ГПП:

$$S_{с.н.} = \sqrt{34,5^2 + 0^2} = 34,5 \text{ кВА}$$

Расчетная мощность ТСН:

$$S_{ТСН} = \frac{S_p}{k_3 \cdot n}, \text{ кВА}. \quad (59)$$

$$S_{ТСН} = \frac{34,5}{0,7 \cdot 2} = 24,64 \text{ кВА}.$$

К установке на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства принимаются два двухобмоточных трехфазных трансформатора внутренней установки типа ТМ-25/10У1, работающих

раздельно, каждый на свою секцию шин, подключенных к вводным выключателям в РУ-10 кВ ГПП.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по проектированию электрической части объекта исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые практические мероприятия по разработке схемы электрических соединений РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП, а также распределительной сети ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения кондитерского производства.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач:

- выбрана схема питающей сети внешнего электроснабжения с питающей ГПП, а также пятью цеховыми двухтрансформаторными ТП-10/0,4 кВ;
- проведён расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей ГПП системы электроснабжения объекта исследования в целом, с учётом исходных данных и схемы электрических соединений;
- осуществлён выбор силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения кондитерского производства;
- определены токи короткого замыкания в сетях напряжением 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства;
- проведён выбор электрических аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения кондитерского производства. Выбраны следующие современные аппараты: выключатель высокого напряжения ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1 (ООО «НТЭАЗ Электрик»), разъединители РДЗ – 35/1000 У1 (ТМ «Энергия»), ограничители перенапряжения ОПН-35 УХЛ1 (ООО «Разряд»), трансформатор тока ТГФМ-35-У3 (ООО «Екатеринбург Энерго»);

выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48 (ООО «Таврида Электрик»), ограничитель перенапряжения ОПНп-10 (ООО «Разряд»);

- выбраны трансформаторы собственных нужд для установки на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства.

Предложенный в работе проект системы электроснабжения кондитерского производства характеризуется надёжностью, экономичностью и безопасностью.

3 Разработка мероприятий по монтажу и эксплуатации оборудования спроектированной системы электроснабжения

Далее в работе проводится описание организации монтажных работ в системе электроснабжения кондитерского производства в связи с введением в эксплуатацию объекта проектирования и мероприятиями, разработанными и описанными в настоящей работе ранее.

Организация строительно-монтажных работ в условиях ввода новых объектов в эксплуатацию должно быть увязано с производственной деятельностью [8].

Заказчик и подрядчик должны определить порядок согласованных действий и назначить ответственного за оперативное руководство работами.

Монтаж существующего оборудования осуществляется на первом этапе с учётом требований безопасности по утверждённым технологическим картам.

Доставка стройматериалов и нового оборудования осуществляется на объект до дальнейшего распоряжения Заказчика.

Отверстия под железобетонные стойки при монтаже воздушной линии 35 кВ в системе электроснабжения кондитерского производства, а также выемку грунта, необходимо производить бурильно-крановой машиной БКМ-317.

Монтаж всех конструкций на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства производится автокраном КС-35716-5 [12].

Производство земляных работ под маслоуловитель нового силового трансформатора, устанавливаемого на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства вследствие проведения реконструкции, осуществляется экскаватором ЭО-2621 с вывозом грунта за пределы строительной площадки в отвал.

Монтаж сборных железобетонных блоков опорных конструкций ОРУ-35 кВ на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства необходимо производить автокраном КС35715-10.

Под железобетонные стойки опорных конструкций оборудования ОРУ-35 кВ ГПП системы электроснабжения кондитерского производства, необходимо пробурить отверстия диаметром 450 мм бурильно-крановой машиной марки БКМ-317.

Установку силовых трансформаторов на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства необходимо производить автокраном КС 35715-10 на фундаментные плиты ФП 1.

Под фундаментные плиты нового силового трансформатора заливается монолитное бетонное основание толщиной не менее 250 мм [8].

Место, на которое осуществляется монтаж силового трансформатора, укрепляют бетоном или армируют с последующей его перезаливкой (при необходимости).

Бетон доставляется на стройплощадку после того, как место заливки бетоном (площадка) подготовлено к бетонированию. Для подъезда к монтажной площадке подстанции, включая ОРУ-35 кВ, место для установки трансформаторов и РУ-10 кВ, необходимо предусмотреть двухслойное асфальтобетонное покрытие щебеночной подготовки, шириной не менее 4,5 м.

После подготовительных строительных работ и оборудования, на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства проводится монтаж нового оборудования в следующей последовательности [8]:

- монтаж силового оборудования ОРУ-35 кВ;
- монтаж силового оборудования РУ-10 кВ;
- монтаж соединительных конструкций к оборудованию (проводов, кабелей, шинпроводов);
- монтаж вторичных цепей: релейной защиты, автоматики, сигнализации, средств контроля и измерений;
- монтаж освещения подстанции.

После выполнения монтажа нового оборудования производится его пробное включение в работу и наладка с последующей сдачей в эксплуатацию.

Доставка рабочих к месту строительства организовывается подрядной организацией. Для организации работ рабочие, которые выполняют монтажные работы, делятся на бригады (строительно-монтажные и пуско-наладочные).

Работы по монтажу оборудования в системе электроснабжения кондитерского производства, следует организовать вахтовым методом, в зависимости от вида выполняемых работ.

Работы подготовительного периода выполняются в сроки, обеспечивающие своевременное начало и бесперебойное ведение основных строительно-монтажных работ.

Все рабочие строительно-монтажных бригад должны быть обеспечены специальной одеждой и обувью, а также другими средствами индивидуальной защиты.

Для размещения конторы строительного участка, складских помещений, а также бытовых помещений для нужд строителей и монтажников, предусматривается использование инвентарных передвижных вагончиков.

В целях удобства и безопасности, руководители строительства, прорабы, а также отдельные бригады, должны быть обеспечены сотовой связью.

Производство строительно-монтажных работ в условиях ввода в эксплуатацию системы электроснабжения кондитерского производства, должно быть увязано с производственной деятельностью.

Заказчик и подрядчик должны определить порядок согласованных действий в системе электроснабжения кондитерского производства и назначить ответственного за оперативное руководство работами, которому поручается также и организация мероприятий по охране труда на объекте.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению во время выполнения монтажных работ в системе электроснабжения кондитерского производства.

Во время эксплуатации электроустановок к ним предъявляются следующие общие требования, описание которых приведено далее согласно

[14,23].

«Перед приемкой в эксплуатацию оборудования» [18] электроустановок системы электроснабжения кондитерского производства должны быть проведены [4,13,16]:

- индивидуальные испытания оборудования и функциональные испытания отдельных систем, завершающиеся пробным пуском основного и вспомогательного оборудования;
- комплексное опробование оборудования.

«Эксплуатация организуется в двух направлениях: техническая эксплуатация оборудования и сооружений и оперативного управления работой энергосистемы в целом» [16].

В обычных условиях работы, оперативный персонал должен дежурить на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства.

«В ряде случаев оперативное обслуживание подстанции без дежурного персонала производится специально обученным и допущенным к оперативной работе ремонтным персоналом» [14,23].

«Привлечение к переключениям ремонтного персонала целесообразно в периоды массовых ремонтов оборудования, когда дежурный персонал бывают сильно загружен работой» [17].

Выводы по разделу 3.

«В разделе проведено описание основных работ по организации монтажных работ» [18] в связи с вводом в эксплуатацию системы электроснабжения кондитерского производства.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения кондитерского производства.

Для решения поставленных задач в работе были проведены решение следующих основных задач (с кратким приведением основных полученных результатов):

- приведён исходный анализ технологического процесса, а также основных и вспомогательных цехов и участков системы электроснабжения кондитерского производства, с детальным их анализом и систематизацией по принадлежности к категориям надёжности, а также по производственной среде;
- детально рассмотрены основные нормы и требования, предъявляемые к проектированию систем электроснабжения пищевых предприятий;
- проведён расчёт электрических нагрузок присоединений потребителей и всей ГПП системы электроснабжения объекта исследования в целом с учётом разработанной схемы электрических соединений;
- осуществлён выбор и проверка силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ (трансформатор ТМН-10000/35) и пяти цеховых ТП-10/0,4 кВ (трансформаторы марки ТМ разных типоминалов) системы электроснабжения кондитерского производства;
- проведены выбор и проверка проводников питающей воздушной линии (провод марки АС-70/11) и отходящих кабельных линий (кабели марки АСБ-10 разных сечений) системы электроснабжения кондитерского производства;
- определены значения токов короткого замыкания в сетях напряжением 35 кВ и 10 кВ системы электроснабжения кондитерского производства;

- выбраны новые современные электрические аппараты для установки в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП системы электроснабжения кондитерского производства: ОРУ-35 кВ – выключатель высокого напряжения ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1 (ООО «НТЭАЗ Электрик»), разъединители РДЗ – 35/1000 У1 (ТМ «Энергия»), ограничители перенапряжения ОПН-35 УХЛ1 (ООО «Разряд»), трансформатор тока ТГФМ-35-У3 (ООО «Екатеринбург Энерго»); РУ-10 кВ: выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20-1600-У2-48 (ООО «Таврида Электрик»), ограничитель перенапряжения ОПНп-10 (ООО «Разряд»);
- выбраны трансформаторы собственных нужд для установки на ГПП системы электроснабжения кондитерского производства;
- проведено описание основных работ по организации монтажных и эксплуатационных работ в связи с вводом в эксплуатацию системы электроснабжения кондитерского производства.

Принятые решения по выбору и внедрению мероприятий по проектированию системы электроснабжения кондитерского производства основываются на результатах сравнительного анализа перспективных разработок новейшего современного оборудования, инновационных схемных решений, нормативно-правовых документах, современных типовых проектах в данной отрасли.

Предложенный в работе проект системы электроснабжения кондитерского производства характеризуется надёжностью, экономичностью и безопасностью.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2018. 416 с.
2. Будзко И.А., Зуль Н. М. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: Агропромиздат, 2018. 496 с.
3. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. М.: Колос, 2018. 263 с.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
5. Луковников А.В. Современные перспективные решения на производстве. М.: Колос, 2021. 360 с.
6. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. М.: Энергоатомиздат, 2018. 356 с.
7. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
8. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. М: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 282 с.
9. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
12. Рогалев Н.Д. Экономика энергетики: учебное пособие для ВУЗов. М.: «МЭИ», 2019. 288 с.
13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального

образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.

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

15. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.

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

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

18. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина. М.: Энергоатомиздат, 2019. 576 с.

19. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 03.09.2022).

20. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

21. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. М.: Лань, 2018. 480 с.