

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 молокозавода

Обучающийся

А. А. Куклов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Целью работы является проектирование системы электроснабжения молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза, производящего до 4 тонн молока в сутки.

В результате проведённого анализа существующего состояния рассматриваемого вопроса, определены цели, задачи и методы исследования, применяемые в работе.

Осуществлён анализ исходных данных к выполнению работы и обзор литературных источников по рассматриваемой работе.

Проведён расчёт и выбор элементов системы электроснабжения молокозавода, выбраны силовые трансформаторы на понизительной подстанции, а также электрические проводники и аппараты.

Осуществлено определение основных технико-экономических показателей разработанного проекта.

Разработаны мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности в системе электроснабжения объекта исследования.

Все принятые решения подтверждены на основании полученных результатов расчётов с применением общепринятых методов анализа, подходов и методик.

В графической части работы разработано 6 листов формата А1.

Общее количество страниц выполненной работы – 71.

Содержание

Введение.....	4
1 Характеристика проектируемого объекта	6
1.1 Общая характеристика объекта.....	6
1.2 Характеристика электрооборудования объекта	14
1.3 Источники электроэнергии	17
2 Расчёт системы электроснабжения молокозавода.....	21
2.1 Выбор схемы электроснабжения	21
2.2 Расчёт электрических нагрузок	23
2.3 Выбор трансформаторов	28
2.4 Выбор компенсирующих устройств	30
2.5 Выбор проводников	34
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	41
2.7 Выбор электрических аппаратов.....	49
3 Экономический анализ и обеспечение безопасности персонала.....	56
3.1 Экономический расчёт.....	56
3.2 Обеспечение безопасности жизнедеятельности.....	61
3.3 Расчёт контура заземления.....	65
Заключение	68
Список используемых источников.....	70

Введение

Молокозаводы относятся к предприятиям пищевой промышленности, обеспечивая переработку натурального молока для производства различных пищевых молочных продуктов. Они в значительной степени автоматизированы, что требует их надежного электроснабжения.

Особенность переработки молока заключается в жестких ограничениях времени, так как молоко быстро портится. По этой причине большая часть оборудования относится к 1 и 2 категориям надежности.

Актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью качественного проектирования систем электроснабжения предприятий пищевого комплекса и выполнение требований, согласно программе [20], которая обусловлена вводом в эксплуатацию новых ответственных потребителей [1].

Объектом исследования является система электроснабжения молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки.

Предметом исследования является схема электроснабжения, оборудование понизительной подстанции, а также питающих и распределительных сетей и аппаратов молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки.

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

Целью работы является проектирование системы электроснабжения молокозавода, отвечающей самым современным требованиям. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать состояние существующей системы электроснабжения и выявить ее слабые места;

- провести расчеты, необходимые для принятия решений по элементам вышеуказанной системы;
- провести экономический анализ проекта и сформулировать предложения по обеспечению безопасности персонала.

Работа состоит из трех разделов. В первом приводится характеристика молокозавода и его потребителей, а также оборудования и источников питания. Здесь же проведён краткий анализ требований, предъявляемых к проектированию систем электроснабжения предприятий общественного питания. Во втором разделе выполнены основные задачи проектирования системы электроснабжения - рассчитаны электрические нагрузки, токи короткого замыкания, выбраны провода и коммутационная аппаратура. Третий раздел посвящён разработке предложений по электроснабжению объекта. В нем проведен экономический расчёт для определения финансовых показателей спроектированной системы электроснабжения молокозавода, описаны мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности, а также проведен расчёт контура защитного заземления на объекте исследования.

Для решения поставленных заданий, в работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод.

Принятые решения должны быть подтверждены на основании полученных результатов расчётов с применением общепринятых методов анализа, подходов и методик.

Все исследования и расчёты выполняются с использованием рекомендованной и действующей нормативно – технической литературы.

1 Характеристика проектируемого объекта

1.1 Общая характеристика объекта

В работе проводится разработка проекта системы электроснабжения молокозавода, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, территориально расположенного в г. Пенза.

Молоко-сырье поставляется с фермы один раз в сутки в изотермической автомолцистерне с сопроводительными документами.

Максимальная температура принимаемого молока на молокозаводе – не более 8⁰ С.

Ассортимент вырабатываемой продукции молокозавода, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза, включает следующие основные производимые продукты:

- «Наринэ»;
- «Биолакт-МК»;
- «Творог жирный»;
- «Биолакт-МК с сахаром»;
- «Молоко пастеризованное»;
- «Сметана»;
- «Сыворотка творожная».

Маркировка молочных продуктов производится в соответствии с требованиями ТИ на получаемые продукты.

План помещений проектируемого в работе молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, представлен на рисунке 1.

Далее в работе необходимо привести и охарактеризовать основной технологический процесс производства продукции на молокозаводе, рассматриваемом и проектируемом в работе.

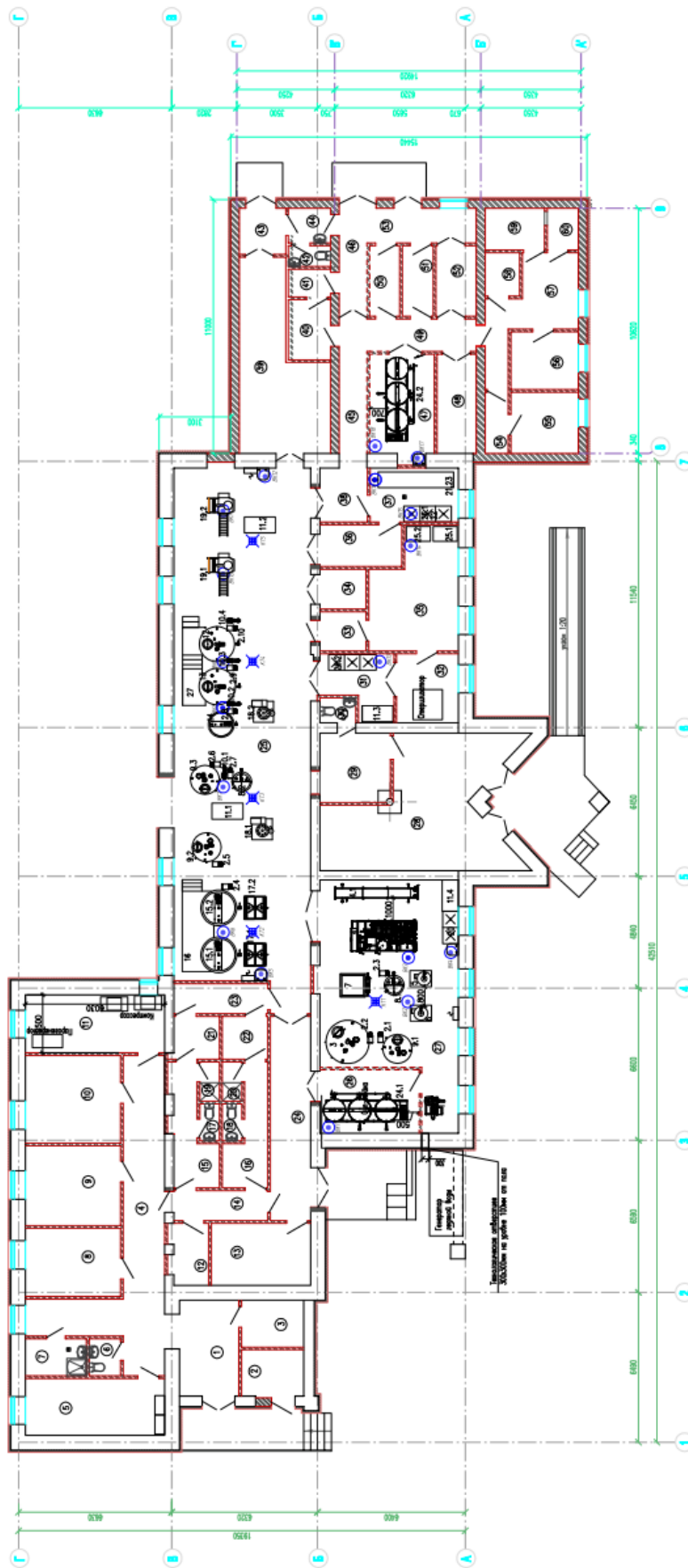


Рисунок 1 – План помещений молокозавода

Из рисунка 1 можно сделать вывод, что объект достаточно компактен и его электроснабжение не связано с проблемами передачи электроэнергии на большие расстояния.

Схема технологического процесса молокозавода, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза представлена на рисунке 2.

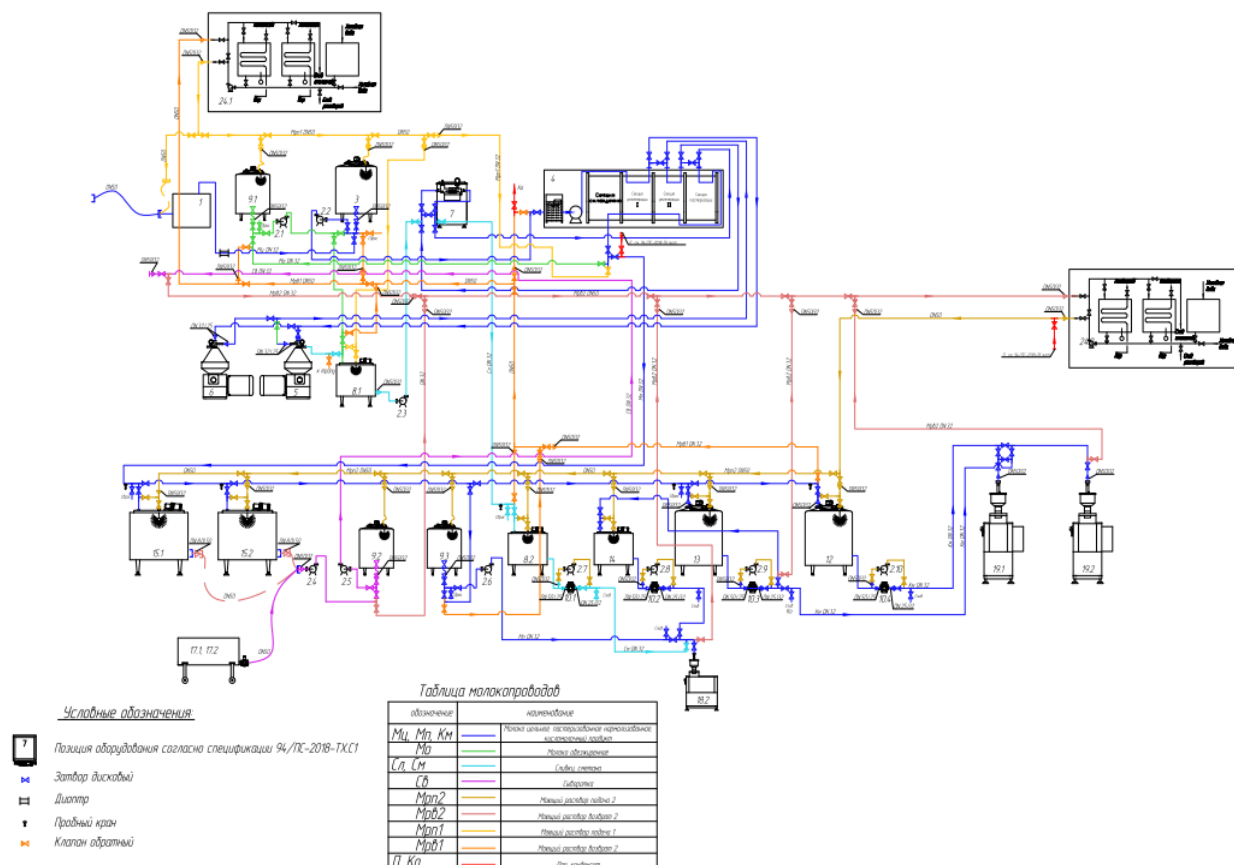


Рисунок 2 – Схема технологического процесса молокозавода

Исходя из плана помещений (рисунок 1), а также схемы технологического процесса проектируемого в работе молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, далее в работе проводится описание технологического процесса производства (основные этапы).

Все позиционные обозначения, приводимые и упоминаемые далее, показаны в виде условных знаков и номеров на рисунке 1 (помещения) и рисунке 2 (оборудование технологического процесса в этих помещениях).

После оценки качества, молоко сырое цельное из автоцистерны подают в установку приемки 1. В комплекте установки приемки: насос центробежный, фильтр, регулятор потока, воздухоотделитель, счетчик-расходомер. После учета объема, молоко резервируется в приемной емкости 3.

Молоко из емкости 3, центробежным насосом 2.2 подают в приемный бак пастеризационно - охлаждающей установки (далее по тексту-ПОУ) 4, а затем в секцию регенерации, откуда подогретое до температуры (35-55) °С, молоко поступает в сепаратор-сливкоотделитель 5.

Полученные сливки 35% жирности самотеком поступают в ванну 8.1.

Обезжиренное молоко возвращается в ПОУ 4, пастеризуется при температуре (78±2) °С с выдержкой 20 сек в трубчатом выдерживателе, далее охлаждается в секциях регенерации до температуры (4+2) °С и поступает на хранение в емкость 9.1.

Температура хранения обезжиренного молока (4+2) °С. Контроль массы обезжиренного молока производится по датчику тензометрическому емкости 9.1.

Нормализацию цельного сырого молока проводят резервуарным способом в приемной емкости 3.

Обезжиренное молоко из емкости 9.1 центробежным насосом 2.1 подают по трубопроводу подачи обезжиренного молока в приемную емкость 3, где смешивается с цельным молоком.

Контроль подаваемого молока производят по датчикам тензометрическим емкостей 9.1 и 3.

Нормализованную смесь из емкости 3 центробежным насосом 2.2 подают в ПОУ 4. Подогретое в секции регенерации до температуры 35-55°С молоко подается для центробежной очистки в сепаратор-молокоочиститель 6. Очищенное молоко возвращается в ПОУ, нагревается до температуры 65-70°С и направляется, если это необходимо в гомогенизатор 7. Нормализацию сливок проводят в ванне 8.1.

Обезжиренное молоко из емкости 9.1 центробежным насосом 2.1 подают по трубопроводу подачи обезжиренного молока в ванну 8.1. Нормализацию сливок производят по мерной линейке ванны 8.1.

Нормализованное и очищенное молоко из ПОУ 4 направляется в гомогенизатор 7. Молоко гомогенизируют при давлении $(12,5 \pm 2,5)$ МПа, и далее возвращают в секцию пастеризации ПОУ 4. Пастеризуют при температуре (92 ± 2) °С с выдержкой 20 сек в трубчатом выдерживателе, охлаждают до температуры (6 ± 2) °С и подают по трубопроводу подачи пастеризованного молока в емкость 9.3.

ПОУ укомплектована приборами контроля и регистрации температуры пастеризации. Пастеризованное молоко из емкости 9.3 центробежным насосом 2.6 подают в автомат фасовки 18.2, разливают в стаканчики и отправляют в камеру хранения молочной продукции. Все данные по производству пастеризованного молока записывают в технологический журнал по утвержденной форме. Полученные сливки 35% жирности самотеком поступают в ванну 8.1.

Обезжиренное молоко возвращается в ПОУ4, пастеризуется при температуре (78 ± 2) °С с выдержкой 20 сек в трубчатом выдерживателе, далее охлаждается в секциях регенерации до температуры (4 ± 2) °С и поступает на хранение в емкость 9.1. Температура хранения обезжиренного молока (4 ± 2) °С. Контроль массы обезжиренного молока производится по датчику тензометрическому емкости 9.1. Нормализацию цельного сырого молока проводят резервуарным способом в приемной емкости 3.

Обезжиренное молоко из емкости 9.1 центробежным насосом 2.1 подают по трубопроводу подачи обезжиренного молока в приемную емкость 3, где смешивается с цельным молоком. Контроль подаваемого молока производят по датчикам тензометрическим емкостей 9.1 и 3. Нормализованную смесь из емкости 3 центробежным насосом 2.2 подают в ПОУ 4. Подогретое в секции регенерации до температуры 35-55°С молоко подается для центробежной очистки в сепаратор-молокоочиститель 6.

Очищенное молоко возвращается в ПОУ, нагревается до температуры 65-70°C и направляется, если это необходимо в гомогенизатор 7.

Нормализацию сливок проводят в ванне 8.1.

Обезжиренное молоко из емкости 9.1 центробежным насосом 2.1 подают по трубопроводу подачи обезжиренного молока в ванну 8.1. Нормализацию сливок производят по мерной линейке ванны 8.1. Нормализованное и очищенное молоко из ПОУ 4 направляется в гомогенизатор 7. Молоко гомогенизируют при давлении $(12,5 \pm 2,5)$ МПа, возвращают в секцию пастеризации ПОУ 4.

Пастеризуют молоко при температуре (92 ± 2) °С с выдержкой 20 сек в трубчатом выдерживателе, охлаждают до температуры (6 ± 2) °С и подают по трубопроводу подачи пастеризованного молока в емкость 9.3. ПОУ укомплектована приборами контроля и регистрации температуры пастеризации.

Пастеризованное молоко из емкости 9.3 центробежным насосом 2.6 подают в автомат фасовки 18.2 разливают в стаканчики и отправляют в камеру хранения молочной продукции. Все данные по производству пастеризованного молока записывают в технологический журнал по утвержденной форме. Нормализованное очищенное гомогенизированное молоко пастеризуют при температуре (92 ± 2) °С с выдержкой 300 сек в трубчатом выдерживателе 4.1.

Затем молоко поступает обратно в ПОУ в секцию нагрева, где нагревается до температуры заквашивания и подается по молочному трубопроводу в ванны 13 и 12 для производства биолакта и наринеэ соответственно. Закваску вносят вручную через люк ванны (приготовление закваски). После внесения закваски смесь перемешивают в течение 10-15 мин, после чего оставляют в покое при температуре заквашивания до образования молочно-белкового сгустка требуемой кислотностью.

По окончании сквашивания в ванне 13 биолакт-МК перемешивают и необходимый объем роторным насосом 10.3 отправляют в ванну 14. Туда же

добавляют сахарный сироп в заданном количестве. Перемешивают 10-15 минут.

Далее в ваннах 12, 13, 14 включают подачу ледяной воды в рубашку емкостей. Сгусток перемешивают от 10 до 30 минут. Кисломолочный продукт охлаждают до температуры (15 ± 2) °С и роторными насосами 10.2, 10.3, 10.4 подают в автоматы фасовки. Биолакт-МК и Наринэ фасуют в полиэтиленовые пакеты в разливочных автоматах 19 и 28.

Биолакт-МК с сахаром фасуют в стаканчики в автомате фасовки 18.2. Далее подают в камеру хранения готовой продукции, где продукт охлаждается до температуры (6 ± 2) °С, после чего технологический процесс считается законченным и продукт готов к реализации.

Все данные по производству кисломолочного продукта записывают в технологический журнал по утвержденной форме. Для приготовления закваски для кисломолочной продукции предусмотрена заквасочная.

Заквасочное отделение состоит из тамбура, заквасочной, моечной. В заквасочном отделении предусмотрено разместить заквасочники – 25.1, 25.2. Также в заквасочном отделении необходимо разместить термостаты, стерилизатор, холодильник, стол, стеллаж для ушатов, бактерицидные лампы и другое необходимое оборудование. Тамбур заквасочного отделения необходимо оборудовать раковиной и емкостью с дезинфицирующим раствором, бактерицидной лампой и вешалкой для сменной спецодежды.

В моечной необходимо разместить трехсекционную ванну мойки 26.2. Обезжиренное молоко для приготовления закваски отбирают из трубопровода подачи обезжиренного молока в чистую пропаренную флягу. Из фляги молоко разливают в ушаты заквасочника 25.1, 25.2. В заквасочнике 25 молоко подогревают до температуры пастеризации 95-97 °С, выдерживают (30-45) мин., охлаждают до температуры сквашивания, вносят закваску, перемешивают, сквашивают. Ушаты с готовой закваской охлаждают до 6-8 °С и хранят не более суток в холодильнике.

Проектируется производить сметану резервуарным способом с использованием закваски прямого внесения.

Хранение заквасок должно осуществляться в специально отведенном холодильнике (режимы и сроки хранения уточняются при заказе заквасок у фирм-производителей).

Перед внесением, упаковку и ножницы необходимо профламбировать, вскрыть упаковку, через крышку ванны внести закваску. Нормализованные сливки требуемой жирности нагревают в ванне 8.1 до температуры (60 ± 2) °С.

Далее центробежным насосом 2.3 подают в гомогенизатор 7, где гомогенизируют при давлении 7-10МПа.

Сливки после гомогенизации отправляют в ванну 8.2. Затем, гомогенизированные сливки доводят до температуры пастеризации (92 ± 2) °С с выдержкой 20 секунд, охлаждают до температуры заквашивания.

В случае необходимости торможения молочнокислого процесса, сквашенные сливки охлаждают до 20 °С подачей ледяной воды в трубчатый змеевик ванны, перемешивают в течение 10-15 минут.

На фасовку готовую сметану отправляют роторным насосом 10.1 в автомат фасовки 18.2, где разливают в пластиковые стаканчики и подают в камеру хранения готовой продукции, в которой продукт охлаждается до температуры (4 ± 2) °С, после чего технологический процесс считается законченным и продукт готов к реализации.

Все данные по производству сметаны записывают в технологический журнал по утвержденной форме. Также есть возможность производить творог с использованием заквасок прямого внесения. Нормализованное пастеризованное молоко из ПОУ 4 при температуре заквашивания направляют в творожную ванну 15.1 или 15.2.

Далее в молоко вносят закваску, тщательно перемешивают и оставляют в покое до образования сгустка.

Готовый сгусток осторожно перемешивают и оставляют в покое на 30-40 мин для отделения сыворотки. Сгусток подогревают на $(10-15)$ °С подачей

пара в рубашку ванны. Нагретый сгусток выдерживают 20-30 мин., охлаждают на 10°C подачей в рубашку холодной воды на проток.

Сгусток сливают в аппарат формовочный 17.1 или 17.2. Отделившуюся сыворотку центробежным насосом 2.4 перекачивают в емкость 9.2 для дальнейшей отгрузки.

Творог в аппарате формовочном 17.1, 17.2 подпрессовывают и охлаждают. Охлажденный и обезвоженный творог при температуре (8-15) °С и влажности 80%, отправляют на фасовку в автомат 18.1.

Фасованный продукт отправляют в камеру хранения готовой продукции. Охлажденный до температуры (6±2) °С продукт готов к реализации.

Особенности технологического процесса на молокозаводе используются в работе при выборе и проверке оборудования.

1.2 Характеристика электрооборудования объекта

На основе задания на проектирование, проводится анализ состава и характеристики электрооборудования молокозавода с учётом расположения его на плане завода.

На рисунке 3 приводится исходный план расположения электрооборудования на молокозаводе, система которого проектируется в работе.

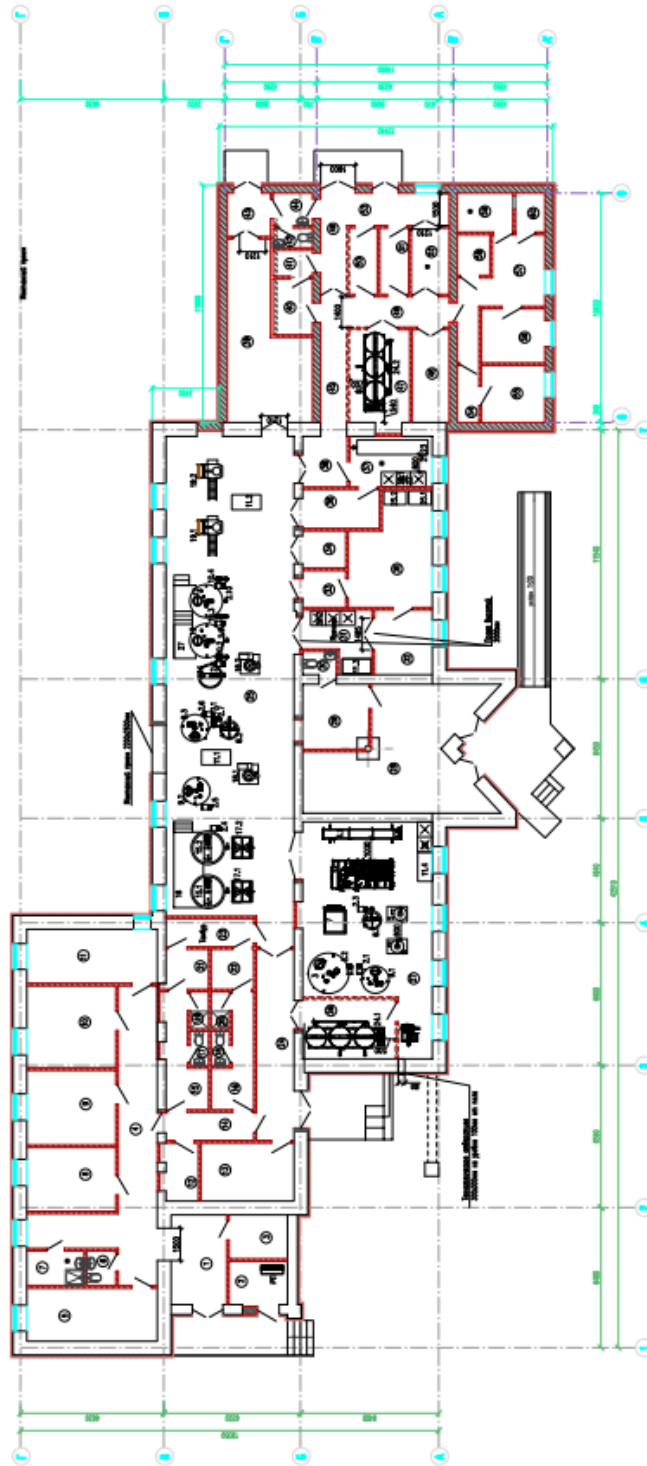


Рисунок 3 – Исходный план расположения электрооборудования
молокозавода

Состав и характеристики электропотребителей молокозавода приведены
в таблице 1.

Таблица 1 – Состав и характеристики потребителей молокозавода

Позиция	Наименование	$P_{ном}$, кВт	Кол-во, шт	Суммарная мощность, $P_{сум}$, кВт
1	Установка приемки молока УП-3,0	3,0	1	3,0
2	Насос центробежный для жидких пищевых продуктов	2,2	1	2,2
3	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	1	3,0
4	Установка теплообменная пастеризационно-охладительная ПОУ-3000КМ	4,4	1	4,4
4.1	Выдерживатель к ПОУ-3000КМ	11,0	1	11,0
5	Сепаратор-сливкоотделитель	7,5	1	7,5
6	Сепаратор-молокоочиститель	4,0	1	4,0
7	Гомогенизатор	30,0	1	30,0
8 (8.1 – 8.2)	Ванна длительной пастеризации ВДП-0,25П	1,1	2	2,2
9 (9.1 – 9.3)	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	3	9,0
10 (10.1 – 10.4)	Насос роторный 500-2000 л/час	3,0	4	12,0
11	Стол технологический	3,0	4	12,0
12	Ванна длительной пастеризации ВСК-1,0П	3,0	1	3,0
13	Ванна длительной пастеризации ВСК-2,0П	1,5	1	1,5
14	Ванна длительной пастеризации ВДП-0,35П	1,5	1	1,5
15 (15.1 – 15.2)	Ванна длительной пастеризации ВДП-Т-1,0	1,5	2	3,0
16	Автоматизированная площадка обслуживания	22,0	1	22,0
17 (17.1 – 17.2)	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	2	11,0
18 (18.1 – 18.2)	Автомат фасовки в пластиковые контейнеры	2,2	2	4,4
19 (19.1 – 19.2)	Автомат розлива в полиэтиленовый пакет	2,2	2	4,4
20	Ванна мойки двухсекционная ОСО-ВМ	4,5	1	4,5
21	Ванна мойки труб ОСО-ВМ	4,5	1	4,5
22	Конвейер	2,2	1	2,2
23	Конвейер	2,2	1	2,2
24 (24.1 – 24.2)	Установка циркуляционной мойки УЦМ1-0,4	3,7	2	7,4
25 (25.1 – 25.2)	Ванна длительной пастеризации ВЗ-0,06	4,5	2	9,0
26 (26.1 – 26.2)	Ванна мойки трехсекционная ОСО-ВМ	4,5	2	9,0
27	Автоматизированная площадка обслуживания	22,0	1	22,0
Всего по заводу		-	44	211,9

На основании приведенных данных и с учетом особенностей расположения оборудования можно сформулировать требования к системе электроснабжения и оценить возможность их выполнения, исходя из доступных источников электроэнергии.

1.3 Источники электроэнергии

Молокозавод получает питание по единственной двухцепной линии от двухтрансформаторной подстанции ТП-10/04 кВ, от которой также питаются и другие потребители.

Далее проводится анализ исходных данных электрической части питающей понизительной подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ молокозавода. Данная понизительная подстанция территориально находится в г. Перми и находится на балансе Пермских электрических сетей, обеспечивая питание электроэнергией промышленных и коммунальных потребителей города на номинальном напряжении 0,4 кВ. Она полностью обслуживается и ремонтируется работниками данного учреждения.

Понизительная подстанция ТП-10/0,4 кВ переменного напряжения системы электроснабжения объекта проектирования, по месту расположения в схеме электроснабжения города, является тупиковой распределительной понижающей подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения объектов городской коммунальной инфраструктуры.

Подстанция ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения объекта проектирования, является двухтрансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа с резервированием на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН).

Конструктивно ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения объекта проектирования, выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки с кабельными вводами.

В схеме РУ-10 кВ понизительной подстанции ТП-10/0,4 кВ переменного напряжения системы электроснабжения объекта проектирования, для питания

сборных шин 10 кВ, применяется схема с наличием автоматического резервирования на стороне 10 кВ подстанции, что также соответствует условиям для питания I и II категорий потребителей согласно нормам и требованиям [10].

На отходящих линиях в РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения объекта проектирования, установлены следующие основные защитные и коммутационные аппараты (графический лист 1):

- выключатели нагрузки марки ВНА-10/630-Л-з-ПТ1.3-И2-УХЛ2-КЭАЗ с ручным приводом марки с ручным приводом ПРБД-10 – 2 единицы (год изготовления – 2015, введён в эксплуатацию на подстанции в 2017 году);
- предохранители ПКТ-103-10 (однофазные) – 6 единиц (год изготовления – 2006, введены в эксплуатацию на подстанции в 2017 году).

Питание РУ-10 кВ понизительной подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения объекта проектирования от РП-10 кВ города, осуществляется кабельной линией с помощью двух силовых кабелей марки АСБ-10 (3×35). На данной ТП-10/0,4 кВ, установлены два силовых трансформатора марки ТМ-250/10 (изготовлены в 2009, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 2017).

Далее рассматривается распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки с применением ячеек стационарного типа (год производства – 2006, введены в эксплуатацию на подстанции в 2007 году).

В схеме РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения объекта проектирования, предусмотрены две рабочие, секционированные выключателем с АВР, системы сборных шин с резервированием.

Защита и коммутация схемы РУ-0,4 кВ подстанции обеспечивается автоматическими воздушными выключателями (автоматами), установленными в шкафах РУ-0,4 кВ подстанции.

Такая схема с наличием автоматического резервирования на стороне 0,4 кВ подстанции, полностью соответствует условиям для питания I и II категорий потребителей согласно нормам и требованиям [2].

Исходная схема электрических соединений ТП-10/0,4 кВ, которая является источником электроэнергии для системы электроснабжения молокозавода, представлена в данной работе на рисунке 4.

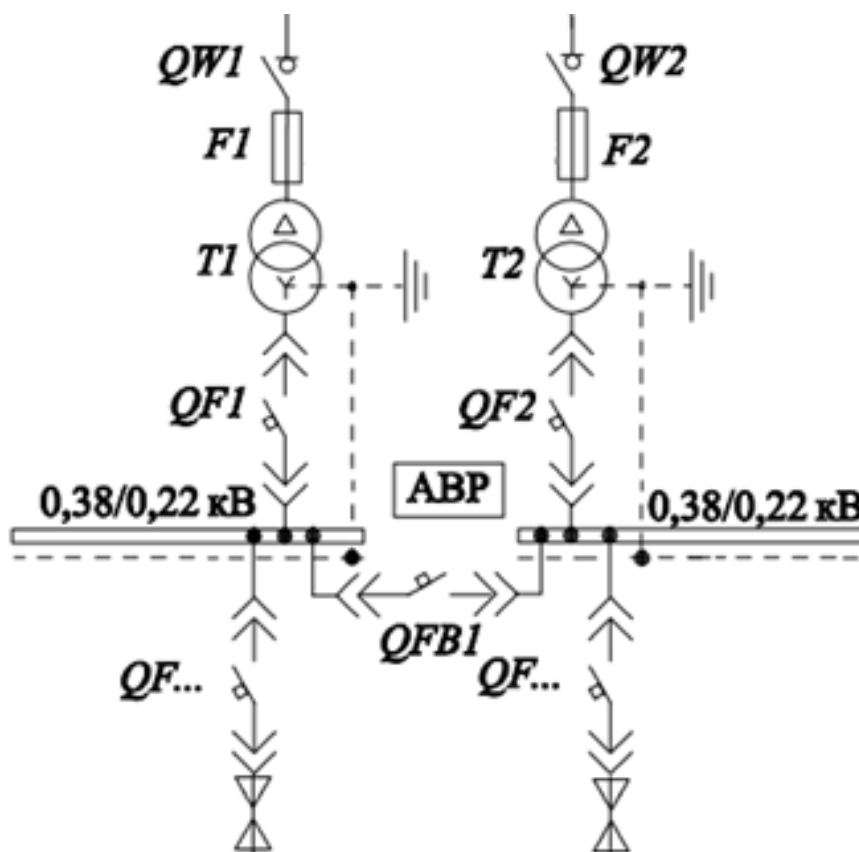


Рисунок 4 – Схема электрических соединений питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения молокозавода

На схеме электрических соединений рисунка 4, на ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения объекта проектирования, показаны следующие основные элементы:

- Т1, Т2 – силовые трансформаторы;

- QW1, QW2 – выключатели нагрузки;
- F1, F2 – предохранители;
- QF1, QF2– вводные автоматы;
- QFB1 – секционный автомат;
- QF – линейные автоматы.

От шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения объекта проектирования, получают непосредственное питание потребители объекта.

Схема внешнего и внутреннего электроснабжения молокозавода разрабатывается в работе далее с учётом приведённых исходных данных по источнику питания.

Выводы по разделу 1.

В работе проведён анализ технологического процесса, электрооборудования и источников электроэнергии молокозавода, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, территориально расположенного в г. Пенза.

В результате проведения анализа, установлено следующее:

- технологический процесс на объекте проектирования носит сложный циклический характер;
- в системе электроснабжения молокозавода установлено различное технологическое оборудование по мощности и назначению;
- единственным источником электроэнергии для системы электроснабжения молокозавода является понизительная ТП-10/0,4 кВ г. Пермь.

Учитывая данную информацию, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по проектированию системы электроснабжения молокозавода.

2 Расчёт системы электроснабжения молокозавода

2.1 Выбор схемы электроснабжения

При выборе схемы электроснабжения молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, следует учитывать компактность предприятия и наличие потребителей 1 и 2 категории надежности.

«Так как проектируемый завод по переработке молока относится к объектам средней мощности II категории надёжности, принимается питание от ТП-10/0,4 кВ ко ВРУ молокозавода по радиальной схеме двумя питающими пятижильными силовыми кабелями марки ВВГнг-LS, сечение которых выбирается и проверяется в работе далее.»[8].

Такая схема – более надёжная и экономичная, поэтому рекомендована к применению на объекте [15].

В соответствии с технологическим процессом, на заводе должны быть предусмотрены силовые распределительные шкафы, питание которых осуществляется по радиальной схеме кабелями ВВГнг-LS, которые не горят и не поддерживают горения. Шкафы должны располагаться возле стен снаружи. Их количество и расположение определяется результатами расчета электрических нагрузок и соображениями удобства пользования. От каждого шкафа также по радиальной схеме получают питание трехфазные потребители.

«Для защиты электрической силовой сети молокозавода от ненормальных режимов (токов КЗ, перегрузки и т.д.) применяются автоматические выключатели» [3]:

- «автоматы ввода ВРУ (трёхфазные) – защищают всю систему электроснабжения от токов внешних токов КЗ (со стороны источника питания на ТП-10/0,4 кВ)» [14];

- «трёхфазные автоматы ввода СРШ – необходимы для защиты и коммутации данных щитов и групп потребителей» [14];
- «трёхфазные автоматы (линейные автоматы) – применяются для защиты и коммутации потребителей сети молокозавода» [14].

«Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции электрооборудования и электрических сетей применяется защитное заземление» [12].

«Согласно существующим требованиям, предъявляемым, в работе принимается система заземления TN-C-S»[5] .

Предполагается систему освещения разделить на 2 части – рабочее и аварийное, которые будут получать энергию соответственно от шкафов ЩРО и ЩАО. Их питание также должно осуществляться по радиальной схеме и предусматривать возможность резервирования.

Для ЩРО и ЩАО в работе выбираются негорючие пятижильные кабели марки ВВГнг-LS.

Принятая в работе схема системы электроснабжения на основе негорючих 5-жильных кабелей с учетом применения в системе освещения современных энергосберегающих светильников обеспечивает бесперебойное питание силовой и осветительной сети молокозавода и экономичность передачи электроэнергии [4].

Такая схема обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования.

Принятая в работе схема электроснабжения приводится на графическом листе 2 работы.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Для следующего этапа, включающего расчёт электрических нагрузок молокозавода, в работе далее используются данные, представленные в таблице 1 ранее в работе.

Выбрана схема электроснабжения молокозавода. Известно, что такая схема обеспечит значительно более высокий уровень надёжности с применением условий резервирования и секционирования, что положительно скажется на бесперебойном электроснабжении потребителей объекта исследования [5].

С учётом этого, далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок питающей и распределительной систем электроснабжения молокозавода, целью которого является определение расчётных электрических нагрузок всех потребителей по отдельности, а также суммарной расчётной нагрузки объекта проектирования.

«Расчетные нагрузки молокозавода определяется методом коэффициента спроса» [7].

«Активная силовая расчётная нагрузка потребителей проектируемого молокозавода» [5]

$$P_p = P_{ном} \cdot k_c, кВт, \quad (1)$$

где k_c – коэффициент спроса потребителя. На стадии проектирования принимается $k_c = 1$ [7].

Реактивная силовая расчётная нагрузка потребителей проектируемого молокозавода

$$Q_p = P_p \cdot tg\varphi, квар, \quad (2)$$

где $tg \varphi$ – коэффициент реактивной мощности, соответствующий значению $cos \varphi$. С учётом компенсации реактивной мощности, в

работе принимается значение $tg \varphi = 0,33$ при $cos \varphi = 0,95$ [9].

Определяется полная силовая расчётная нагрузка потребителей молокозавода

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА.} \quad (3)$$

Расчетный ток потребителей молокозавода

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А.} \quad (4)$$

В работе рассматривается расчет силовых электрических нагрузок на примере потребителя №1 по плану (установка приемки молока УП-3,0).

Активная и реактивная нагрузки

$$P_p = 3,0 \cdot 1 = 3,0 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 3,0 \cdot 0,33 = 0,99 \approx 1 \text{ квар.}$$

Определяется полная расчётная нагрузка

$$S_p = \sqrt{3^2 + 1^2} = 3,2 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток

$$I_p = \frac{3,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4,9 \text{ А.}$$

Аналогично рассчитаны нагрузки для других потребителей проектируемой сети молокозавода (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты расчёта электрических нагрузок потребителей молокозавода

Позиция	Наименование	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
1	Установка приемки молока УП-3,0	3,0	1,0	3,2	4,9
2	Насос центробежный для жидких пищевых продуктов	2,2	0,7	2,3	3,6
3	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
4	Установка теплообменная пастеризационно-охладительная ПОУ-3000КМ	4,4	1,5	4,6	7,1
4.1	Выдерживатель к ПОУ-3000КМ	11,0	3,6	11,6	17,8
5	Сепаратор-сливкоотделитель	7,5	2,5	7,9	12,2
6	Сепаратор-молокоочиститель	4,0	1,3	4,2	6,5
7	Гомогенизатор	30,0	9,9	31,6	48,6
8 (8.1 – 8.2)	Ванна длительной пастеризации ВДП-0,25П	1,1	0,4	1,2	1,8
9 (9.1 – 9.3)	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
10 (10.1 – 10.4)	Насос роторный 500-2000 л/час	3,0	1,0	3,2	4,9
11	Стол технологический	3,0	1,0	3,2	4,9
12	Ванна длительной пастеризации ВСК-1,0П	3,0	1,0	3,2	4,9
13	Ванна длительной пастеризации ВСК-2,0П	1,5	0,5	1,6	2,4
14	Ванна длительной пастеризации ВДП-0,35П	1,5	0,5	1,6	2,4
15(15.1 – 15.2)	Ванна длительной пастеризации ВДП-Т-1,0	1,5	0,5	1,6	2,4
16	Автоматизированная площадка обслуживания	22,0	7,3	23,2	35,6
17(17.1 – 17.2)	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	1,8	5,8	8,9
18(18.1 – 18.2)	Автомат фасовки в пластиковые контейнеры	2,2	0,7	2,3	3,6
19(19.1 – 19.2)	Автомат розлива в полиэтиленовый пакет	2,2	0,7	2,3	3,6
20	Ванна мойки двухсекционная ОСО-ВМ	4,5	1,5	4,7	7,3
21	Ванна мойки труб ОСО-ВМ	4,5	1,5	4,7	7,3
22	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
23	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
24(24.1 – 24.2)	Установка циркуляционной мойки УЦМ1-0,4	3,7	1,2	3,9	6,0
25(25.1 – 25.2)	Ванна длительной пастеризации ВЗ-0,06	4,5	1,5	4,7	7,3
26(26.1 – 26.2)	Ванна мойки трехсекционная ОСО-ВМ	4,5	1,5	4,7	7,3
27	Автоматизированная площадка обслуживания	22,0	7,3	23,2	35,6

«Далее в работе необходимо распределить потребители по соответствующим силовым распределительным щитам и рассчитать нагрузку для каждого СРШ отдельно с учётом коэффициентов одновременности максимума нагрузки (K_o)» [17].

В работе необходимо предусмотреть следующие распределительные щиты, которые являются промежуточными звеньями в системе распределения электроэнергии системы электроснабжения проектируемого молокозавода, питающая потребители объекта:

- «СРШ 1 – СРШ 5 – силовые распределительные шкафы, предназначенные для непосредственного питания силовой нагрузки молокозавода» [9];
- «ЩРО – щит рабочего освещения, необходим для питания системы рабочего освещения молокозавода, обеспечивая условия общего освещения на объекте (определяется по удельной плотности нагрузки освещения, лампы – светодиодные)» [4];
- «ЩАО – щит аварийного освещения, необходим для питания системы аварийного освещения молокозавода, обеспечивая условия аварийного и эвакуационного освещения на объекте (принимается 10% от нагрузки рабочего освещения)» [4].

Также в работе проведены расчёты нагрузки секций шин ВРУ с учётом принятой схемы электроснабжения, для обеспечения качественного питания системы внешнего электроснабжения от ТП-10/0,4 кВ.

Результаты расчёта электрических нагрузок СРШ, щитков освещения ЩРО и ЩАО, а также всего проектируемого молокозавода, представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок СРШ молокозавода

Позиция	Наименование СРШ/ потребителя, питающегося от СРШ	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
1	2	3	4	5	6
СРШ1					
4	Установка теплообменная пастеризационно-охлаждающая ПОУ-3000КМ	4,4	1,5	4,6	7,1
5	Сепаратор-сливоотделитель	7,5	2,5	7,9	12,2
6	Сепаратор-молокоочиститель	4,0	1,3	4,2	6,5
7	Гомогенизатор	30,0	9,9	31,6	48,6
8.1	Ванна длительной пастеризации ВДП-0,25П	1,1	0,4	1,2	1,8
8.2	Ванна длительной пастеризации ВДП-0,25П	1,1	0,4	1,2	1,8
11	Стол технологический	3,0	1,0	3,2	4,9
20	Ванна мойки двухсекционная ОСО-ВМ	4,5	1,5	4,7	7,3
21	Ванна мойки труб ОСО-ВМ	4,5	1,5	4,7	7,3
22	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
Всего по СРШ1 (с учётом $K_o=0,9$)		56,1	18,6	59,1	90,9
СРШ2					
15.1	Ванна длительной пастеризации ВДП-Т-1,0	1,5	0,5	1,6	2,4
15.2	Ванна длительной пастеризации ВДП-Т-1,0	1,5	0,5	1,6	2,4
16	Автоматизированная площадка	22,0	7,3	23,2	35,6
17.1	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	1,8	5,8	8,9
17.2	Аппарат формовочный (пресс-тележка)	5,5	1,8	5,8	8,9
18.1	Автомат фасовки в пластиковые контейнеры	2,2	0,7	2,3	3,6
18.2	Автомат фасовки в пластиковые контейнеры	2,2	0,7	2,3	3,6
19.1	Автомат розлива в полиэтиленовый пакет	2,2	0,7	2,3	3,6
19.2	Автомат розлива в полиэтиленовый пакет	2,2	0,7	2,3	3,6
Всего по СРШ2 (с учётом $K_o=0,9$)		40,3	13,2	42,4	65,2
СРШ3					
24.1	Установка циркуляционной мойки УЦМ1-0,4	3,7	1,2	3,9	6,0
24.2	Установка циркуляционной мойки УЦМ1-0,4	3,7	1,2	3,9	6,0
25.1	Ванна длительной пастеризации ВЗ-0,06	4,5	1,5	4,7	7,3
25.2	Ванна длительной пастеризации ВЗ-0,06	4,5	1,5	4,7	7,3
26.1	Ванна мойки трехсекционная ОСО-ВМ	4,5	1,5	4,7	7,3
26.2	Ванна мойки трехсекционная ОСО-ВМ	4,5	1,5	4,7	7,3
27	Автоматизированная площадка обслуживания	22,0	7,3	23,2	35,6
Всего по СРШ3 (с учётом $K_o=0,9$)		42,7	14,1	45,0	69,2
СРШ4					
9.1	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
9.2	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
9.3	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
10.1	Насос роторный 500-2000 л/час	3,0	1,0	3,2	4,9
10.2	Насос роторный 500-2000 л/час	3,0	1,0	3,2	4,9
10.3	Насос роторный 500-2000 л/час	3,0	1,0	3,2	4,9
10.4	Насос роторный 500-2000 л/час	3,0	1,0	3,2	4,9
12	Ванна длительной пастеризации ВСК-1,0П	3,0	1,0	3,2	4,9

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
Всего по СРШ4 (с учётом $K_0=0,9$)		21,6	7,2	22,8	35,0
Позиция	Наименование СРШ/ потребителя, питающегося от СРШ	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
СРШ5					
1	Установка приемки молока УП-3,0	3,0	1,0	3,2	4,9
2	Насос центробежный для жидких пищевых продуктов	2,2	0,7	2,3	3,6
3	Емкость для низкотемпературной обработки	3,0	1,0	3,2	4,9
4.1	Выдерживатель к ПОУ-3000КМ	11,0	3,6	11,6	17,8
13	Ванна длительной пастеризации ВСК-2,0П	1,5	0,5	1,6	2,4
14	Ванна длительной пастеризации ВДП-0,35П	1,5	0,5	1,6	2,4
23	Конвейер	2,2	0,7	2,3	3,6
Всего по СРШ5 (с учётом $K_0=0,9$)		22,0	7,4	23,2	35,7
ЩРО (с учётом $K_0=1$)		8,6	2,8	9,1	13,9
ЩАО (с учётом $K_0=1$)		0,9	0,3	0,9	1,4
Всего по 1 СШ ВРУ (СРШ1, СРШ2, освещение)		101,0	33,2	106,3	163,6
Всего по 2 СШ ВРУ (СРШ3, СРШ4, СРШ5, освещение)		91,2	30,4	96,1	147,9
Всего по заводу		192,2	63,6	202,5	311,5

Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок, используются в работе далее при выборе электрических аппаратов, а также кабелей системы электроснабжения молокозавода.

2.3 Выбор трансформаторов

Как было указано ранее, на питающей подстанции переменного напряжения молокозавода ТП-10/0,4 кВ, изначально были установлены два силовых трансформатора ТМ-250/10.

Проводится проверка мощности этих трансформаторов на соответствие потребляемой нагрузке, с учётом подключения нагрузки потребителей системы электроснабжения молокозавода.

«Так как понизительные трансформаторы молокозавода питают также другие потребители, большинство из которых относится ко II категории надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции устанавливаются два силовых трансформатора»[4].

«При выборе трансформаторов на питающей подстанции необходимо также учесть нагрузку сторонних потребителей, которых питает эта ТП-10/0,4 кВ» [9].

Как известно, «номинальная мощность силового трансформатора для его установки на подстанции» [13] переменного напряжения молокозавода, определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки, по условию [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p + P_{\text{см.}}}{N\beta_t}, \quad (5)$$

«где $S_{\text{ном.т.}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя молокозавода;
 $S_{\text{ном.т.р}}$ – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя молокозавода;
 P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения молокозавода;
 $P_{\text{см.}}$ – суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя молокозавода» [9];
 N – «количество силовых трансформаторов для установки на ТП-10/0,4 кВ кВ, питающей потребителя молокозавода, шт» [4];
 β_t – «нормируемый коэффициент загрузки силового трансформатора на ТП-10/0,4 кВ, питающей потребителя молокозавода» [4].

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{192,2 + 120}{2 \cdot 0,8} = 195,1 \text{ кВА.}$$

Следовательно, расчётами предварительно подтверждена мощность двух силовых трансформатора марки ТМ-250/10 для их установки на ТП-10/0,4 кВ, питающей потребители молокозавода [12].

«Кроме того, дополнительно необходимо провести проверку выбранных силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы, которая выполняется в работе далее после выбора компенсирующих устройств на ТП-10/0,4 кВ» [19].

2.4 Выбор компенсирующих устройств

При выборе мощности трансформаторов на подстанциях цехового типа 6(10)/0,4 кВ, рекомендуется обеспечить необходимую степень компенсации реактивной мощности потребителей системы электроснабжения согласно рекомендациям [5].

В результате проведённого анализа, установлено, что основными потребителями системы электроснабжения молокозавода является активно-индуктивная двигательная нагрузка (электродвигатели различных технологических механизмов), которая, как известно, имеет значительную реактивную составляющую [11].

Следовательно, расчёт и выбор устройств для компенсации реактивной мощности потребителей системы электроснабжения молокозавода, реализуемый на питающей ТП-10/0,4 кВ, в работе является актуальной и необходимой задачей.

При установке устройств компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ молокозавода, на объекте исследования будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и самой системе электроснабжения объекта исследования.

Такая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения называется централизованной и наиболее широко распространена среди способов компенсации реактивной мощности (далее – КРМ).

«Так как на питающей ТП-10/0,4 объекта исследования установлено два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным» [8].

Значение стандартных реактивных мощностей КУ, большее расчётного значения, выбирать нельзя, так как при этом будет наблюдаться явление «перекомпенсации» реактивной нагрузки и сдвига фазы в сторону емкостной составляющей реактивной нагрузки [16].

«Реактивная мощность, которую способен пропустить через себя силовой трансформатор на питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода с учётом нагрузки сторонних потребителей» [18]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - (P_p + P_{\text{ст.}})^2}. \quad (6)$$

Расчётная мощность конденсаторных установок (КУ) на питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода определяется так:

$$Q_{\text{н.к}} = (Q_p + Q_{\text{ст.}}) - Q_T, \quad (7)$$

где Q_p – реактивная нагрузка потребителей молокозавода, квар;

$Q_{\text{ст}}$ – реактивная нагрузка сторонних потребителей, квар.

Суммарная расчетная мощность КУ:

$$Q_{\text{КУ}} = n \cdot Q_{\text{н.к.}} \quad (8)$$

С учётом установки компенсирующих устройств на питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода [13]

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{КУ})^2}. \quad (9)$$

«Проверка выбранных трансформаторов в нормальном режиме с учётом выбранных КУ по допустимому коэффициенту загрузки» [12]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,85. \quad (10)$$

«Проверка выбранных ранее трансформаторов по допустимому коэффициенту загрузки в послеаварийном режиме, с учётом выбранных типов и мощности КУ на питающей ТП-10/0,4» [12]

$$K_3^{п.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (11)$$

Согласно (6)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 250)^2 - (192,2 + 120)^2} = 250,1 \text{ квар.}$$

Согласно (7)

$$Q_{н.к} = (63,6 + 39,6) - 250,1 = -146,9 \text{ квар.}$$

«Так как в результате расчётов получилось отрицательное расчётное значение мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на питающем ТП-10/0,4 кВ молокозавода в работе не устанавливаются» [9].

Исходя из этого, расчётная нагрузка питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода с учётом сторонних потребителей

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{ст.})^2 - (Q_p + Q_{ст.})^2}, \text{ кВА.} \quad (12)$$

$$S_p = \sqrt{(192,2 + 120)^2 - (63,6 + 39,6)^2} = 328,8 \text{ кВА.}$$

«Проверка выбранных трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода с учётом сторонних потребителей в нормальном режиме» [12]

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,8. \quad (13)$$

«Проверка выбранных трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ» [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7. \quad (14)$$

«Проверка трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ» [12]

$$K_3^H = \frac{0,5 \cdot 328,8}{250} = 0,66 \leq 0,8.$$

«Проверка трансформаторов ТП-10/0,4 кВ в ПАВ режиме выполняется» [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{328,8}{250} = 1,3 \leq 1,6.$$

Окончательно принимается на питающей ТП-10/0,4 кВ с учётом нагрузки сторонних потребителей, два силовых трансформатора ТМ-250/10.

2.5 Выбор проводников

Далее необходимо провести выбор сечения кабельных линий для питания ТП-10/0,4 кВ, а также всей системы электроснабжения системы электроснабжения молокозавода, питающейся от данной подстанции.

В работе необходимо выбрать сечения следующих кабельных линий, с последующими необходимыми проверками:

- питающая кабельная линия напряжением 10 кВ (два силовых кабеля для питания трансформаторов ТП-10/0,4 кВ по радиальной схеме с резервированием);
- питающие кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ для питания СРШ системы электроснабжения молокозавода от шин РУ-0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ (силовые кабели по радиальной схеме с резервированием на шинах РУ-0,4 кВ);
- распределительные кабельные линии напряжением 0,38/0,22 кВ для питания потребителей системы электроснабжения молокозавода от шин СРШ (силовые кабели по радиальной схеме с резервированием на шинах 0,4 кВ СРШ).

Питающая кабельная линия напряжением 10 кВ ТП-10/0,4 кВ подлежит выбору по экономической плотности тока с проверкой по условиям допустимого перегрева и допустимых потерь напряжения [13].

Далее в работе проводится практический расчёт и выбор сечения и марки питающая кабельная линия напряжением 10 кВ ТП-10/0,4 кВ по методике [7].

Расчётный «рабочий ток линии» [7]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (15)$$

«Максимальный расчётный ток линии» [11]:

$$I_{p.\max} = 1,4I_{p.\max} \cdot \quad (16)$$

«Условие проверки» [11]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{p.\max}, \quad (17)$$

где « $I_{\text{дон}}$ – длительно – допустимый ток, А» [1];

« $I_{p.\max}$ – максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

«Проводники выше 1 кВ выбираются по экономической плотности тока» [1]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}}. \quad (18)$$

В результате проверочного выбора силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ в работе ранее, было рекомендовано использовать на подстанции два силовых трансформатора марки ТМ-250/10 с номинальной мощностью 250 кВА. Эта стандартная мощность принимается в качестве расчётной при выборе питающей кабельной линии на стороне 10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ.

Следовательно, с учётом этих фактов, расчётный ток нормального режима на стороне 10 кВ подстанции:

$$I_{p.} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,5 \text{ А.}$$

Сечение кабельной линии 10 кВ:

$$F_{\text{э}} = \frac{14,5}{1,6} = 9 \text{ мм}^2.$$

Исходя из результатов расчёта, для питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения молокозавода, принимается сечение на питающей кабельной линии 10 кВ, равное 16 мм² с предельным допустимым током нагрева при прокладке в земле $I_{дон}=75$ А [12].

С учётом марки, принимается «кабель АСБ-10 (3×16) с предельно-допустимым током $I_{дон}=75$ А» [1].

Максимальный расчётный ток на питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения молокозавода

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 36,4 \approx 51 \text{ А.}$$

Условия проверки питающей кабельной линии 10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения молокозавода по условию допустимого нагрева в послеаварийном режиме, выполняется:

$$75 \text{ А} \geq 20,3 \text{ А.}$$

«Помимо этого, согласно требованиям, обязательным условием является проведение непосредственного расчёта потери напряжения, для выбранного сечения кабельных линий» [4]

$$\Delta U = \frac{S_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100 \% \leq 5 \%, \quad (19)$$

где S_p – значение расчётной полной нагрузки питающей ТП-10/0,4 кВ, кВА;

l – длина трассы кабельной линии, км.

Проверка выбранного сечения кабельной линии 10 кВ для питания ТП-10/0,4 кВ, на допустимую потерю напряжения в нормальном режиме:

$$\Delta U_n = \frac{\sqrt{3} \cdot 328,8 \cdot 0,5 \cdot (1,17 \cdot \cos 0,95 + 0,066 \cdot \sin 0,95)}{6000} \cdot 100\% = 1,12\%.$$

Условие проверки выполняется

$$1,12\% \leq 5\%.$$

Следовательно, исходя из полученных результатов, для питающей кабельной линии 10 кВ молокозавода, окончательно выбран силовой кабель марки АСБ-10 (3×16), условия прокладки – в стандартной земляной траншее.

Данная марка кабелей характеризуется хорошими показателями надёжности за счёт сочетания высококалассной термостойкой изоляции и брони, а также использования сектороподобных токопроводящих жил, улучшающих токопроводимость кабеля.

Выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ для питания потребителей объекта осуществляется по условиям допустимого перегрева (приведены в работе ранее).

Выберем линию от трансформатора до первой секции сборных шин.

Для рассчитанного ранее тока $I_p = 163,6$ А при прокладке в земле подходит кабель марки ПвВГ (5×50) с $I_{дон} = 190$ А [1].

Для этого кабеля с учётом отклонений от стандартных условий:

$$I'_{дон} = 1 \cdot 190 = 190 \text{ А}.$$

«Условие проверки кабеля по нагреву током нормального режима выполняются» [10]

$$I'_{дон} = 190 \text{ А} \geq 163,6 \text{ А}.$$

«Условие проверки кабеля по нагреву в послеаварийном режиме не выполняется» [10]

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 163,6 = 229,1 \text{ A.}$$

$$190 \text{ A} \leq 229,1 \text{ A.}$$

Следовательно, необходимо принять кабель большего сечения.

Принимается кабель марки ПвВГ (5×70) с $I_{\text{дон}} = 235 \text{ A}$ [1]

«Условие проверки кабеля по нагреву в послеаварийном режиме выполняется» [9]

$$235 \text{ A} \geq 229,1 \text{ A.}$$

Потери напряжения в кабельной линии в нормальном режиме работы:

$$\Delta U_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 106,3 \cdot 0,1 \cdot (0,28 \cdot \cos 0,95 + 0,042 \cdot \sin 0,95)}{380} \cdot 100\% = 2,62\%.$$

«Условие проверки выполняется по допустимой потере напряжения выполняется» [9]

$$2,62 \% < 5\%.$$

«Окончательно принимается в качестве кабеля для питающей линии «ТП-10/0,4 кВ – СШ1 ВРУ» силовой кабель марки ПвВГ (5×70) с $I_{\text{дон}} = 235 \text{ A}$ (прокладка – в земле)» [9].

Аналогично проводятся расчёты для остальных кабельных линий питающей сети молокозавода и результаты приводятся в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ молокозавода

Наименование	$I_p,$ А	$I_{p,max},$ А	Марка кабеля	$I'_{дон},$ А
Питающая сеть «ТП-10/0,4 кВ – ВРУ»				
СШ1 ВРУ	163,6	229,1	ПвВГ (5×70)	235
СШ2 ВРУ	147,9	207,1	ПвВГ (5×70)	235
Питающая сеть «ВРУ – СРШ (ЩРО, ЩАО)»				
СРШ1	90,9	127,3	ПвВГ (5×25)	133
СРШ2	65,2	91,3	ПвВГ (5×16)	104
СРШ3	69,2	96,9	ПвВГ (5×16)	104
СРШ4	35,0	49,0	ПвВГ (5×6)	59
СРШ5	35,7	50,0	ПвВГ (5×6)	59
ЩРО	13,9	19,5	ПвВГ (5×2,5)	37
ЩАО	1,4	2,0	ПвВГ (5×2,5)	37

«Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ молокозавода говорят о том, что все выбранные кабели удовлетворяют всем условиям проверок.

Аналогично выбирается сечение кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ (от СРШ к потребителям) молокозавода.

Для кабелей распределительной сети до 1 кВ (0,38/0,22 кВ) молокозавода также выбираются современные пожаростойкие силовые кабели силовые кабели, с медной жилой, с изоляцией из сшитого полиэтилена, оболочкой из ПВХ, марки ПвВГ с наличием пяти жил (в зависимости от режима нейтрали, а также количества фаз потребителей).

Так как все основные технологические потребители молокозавода – трёхфазные, поэтому выбор пятижильных силовых кабелей оправдан технически.

Такие кабели рекомендуются в современной мире технической-нормативной документацией» [5].

Кроме того, данная марка кабелей хорошо зарекомендовала себя в производстве как надёжная, относительно недорогая и пожаробезопасная разработка.

«Результаты выбора кабельных линий распределительной сети 0,38/0,22 кВ молокозавода представлены в работе в форме таблицы 5» [16].

Таблица 5 – Результаты выбора кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ

Номер потребителя, п/п	I_p, A	$I_{p,max}, A$	Марка кабеля	$I'_{доп}, A$
Потребители СРШ1				
4	7,1	9,9	ПВВГ (5×2,5)	37
5	12,2	17,1	ПВВГ (5×2,5)	37
6	6,5	9,1	ПВВГ (5×2,5)	37
7	48,6	68,1	ПВВГ (5×10)	79
8.1	1,8	2,5	ПВВГ (5×2,5)	37
8.2	1,8	2,5	ПВВГ (5×2,5)	37
11	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
20	7,3	10,2	ПВВГ (5×2,5)	37
21	7,3	10,2	ПВВГ (5×2,5)	37
22	3,6	2,1	ПВВГ (5×2,5)	37
Потребители СРШ2				
15.1	2,4	3,4	ПВВГ (5×2,5)	37
15.2	2,4	3,4	ПВВГ (5×2,5)	37
16	35,6	49,7	ПВВГ (5×6)	59
17.1	8,9	12,5	ПВВГ (5×2,5)	37
17.2	8,9	12,5	ПВВГ (5×2,5)	37
18.1	3,6	2,1	ПВВГ (5×2,5)	37
18.2	3,6	2,1	ПВВГ (5×2,5)	37
19.1	3,6	2,1	ПВВГ (5×2,5)	37
19.2	3,6	2,1	ПВВГ (5×2,5)	37
Потребители СРШ3				
24.1	6,0	8,4	ПВВГ (5×2,5)	37
24.2	6,0	8,4	ПВВГ (5×2,5)	37
25.1	7,3	10,2	ПВВГ (5×2,5)	37
25.2	7,3	10,2	ПВВГ (5×2,5)	37
26.1	7,3	10,2	ПВВГ (5×2,5)	37
26.2	7,3	10,2	ПВВГ (5×2,5)	37
27	35,6	49,7	ПВВГ (5×6)	59
Потребители СРШ4				
9.1	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
9.2	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
9.3	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
10.1	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
10.2	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
10.3	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
10.4	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
12	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
Потребители СРШ4				
1	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
2	3,6	5,1	ПВВГ (5×2,5)	37
3	4,9	6,9	ПВВГ (5×2,5)	37
4.1	17,8	24,9	ПВВГ (5×2,5)	37
13	2,4	3,4	ПВВГ (5×2,5)	37
14	2,4	3,4	ПВВГ (5×2,5)	37
23	3,6	5,1	ПВВГ (5×2,5)	37

Все выбранные проводники как питающей (10 кВ), так и распределительной (0,4 кВ) сетей системы электроснабжения молокозавода, удовлетворяют условиям выбора и проверки, поэтому могут быть применены на данном объекте.

Результаты выбора линий питающей и распределительной сетей объекта проектирования показаны в графической части работы на листе 2.

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Далее необходимо провести определение токов короткого замыкания в системе электроснабжения системы электроснабжения молокозавода.

Так как на питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора мощностью 250 кВА каждый, а также, внутренняя система электроснабжения – полностью симметрична, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 0,4 кВ за ними будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на питающей подстанции ТП-10/0,4 кВ в работе остаётся один силовой трансформатор, который выдерживает нагрузку всех потребителей подстанции, что проверено в работе ранее.

Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ» [15] в максимальном режиме в системе электроснабжения молокозавода представлена в работе на графическом листе 5.

В данной схеме введены следующие допущения и позиции: Т2 – отключён, питание Т1 – по одной линии 10 кВ.

Однолинейная упрощённая расчётная схема сети системы электроснабжения молокозавода, необходимая для расчёта токов КЗ в максимальном режиме представлена в работе на рисунке 5.

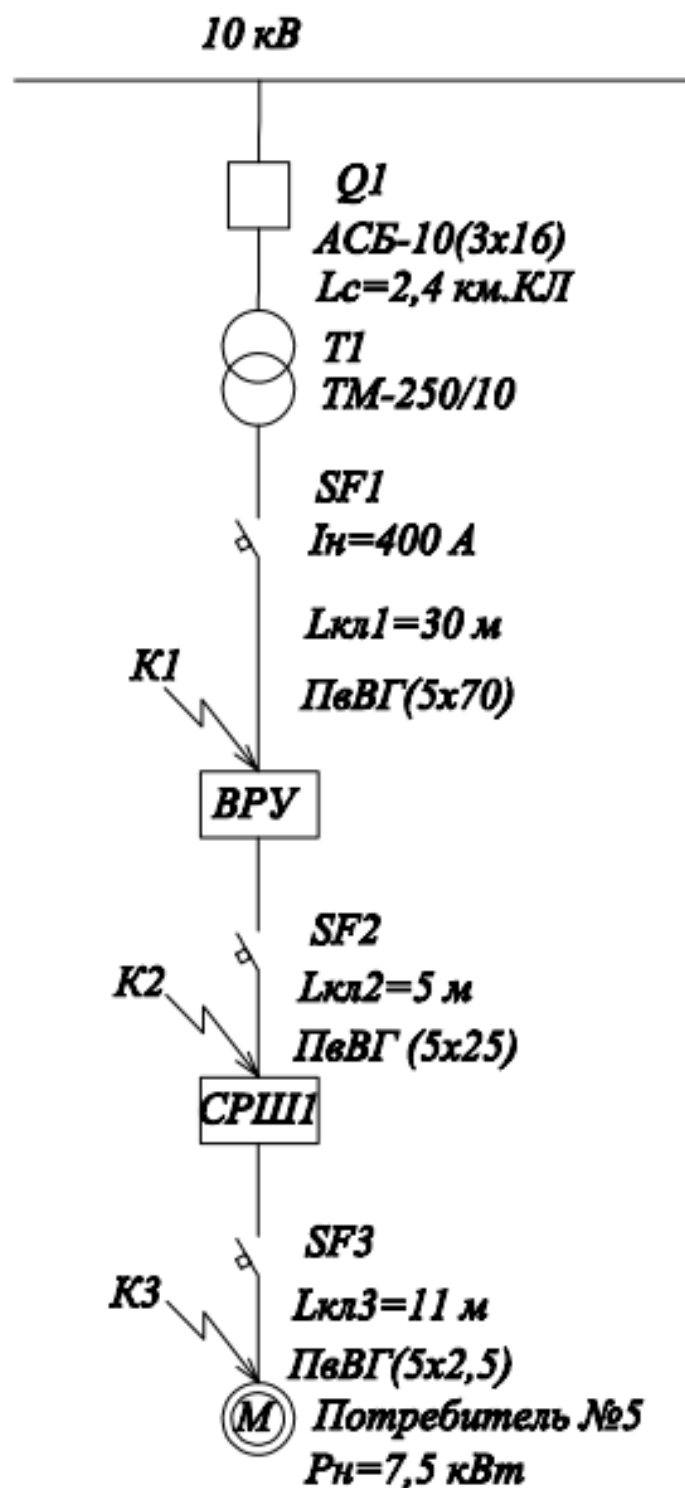


Рисунок 5 – Однолинейная упрощённая расчётная схема сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения молокозавода

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 10 кВ.

Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов молокозавода [16].

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов молокозавода:

$$S_{\sigma} = 250 \text{ кВА} = 0,25 \text{ МВА.}$$

Базисное напряжение схемы молокозавода определяется так [6]:

$$U_{\sigma.} = 1,05 \cdot U_{ном}, \text{кВ.} \quad (20)$$

По условию (20):

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

$$U_{\sigma.2} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ.}$$

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

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3}U_{\sigma}}. \quad (21)$$

По условию (21):

$$I_{\sigma 1} = \frac{0,25}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,01 \text{ кА.}$$

$$I_{\sigma 2} = \frac{0,25}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,38 \text{ кА.}$$

Исходя из расчётной схемы, составляется однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения молокозавода (рисунок 6).

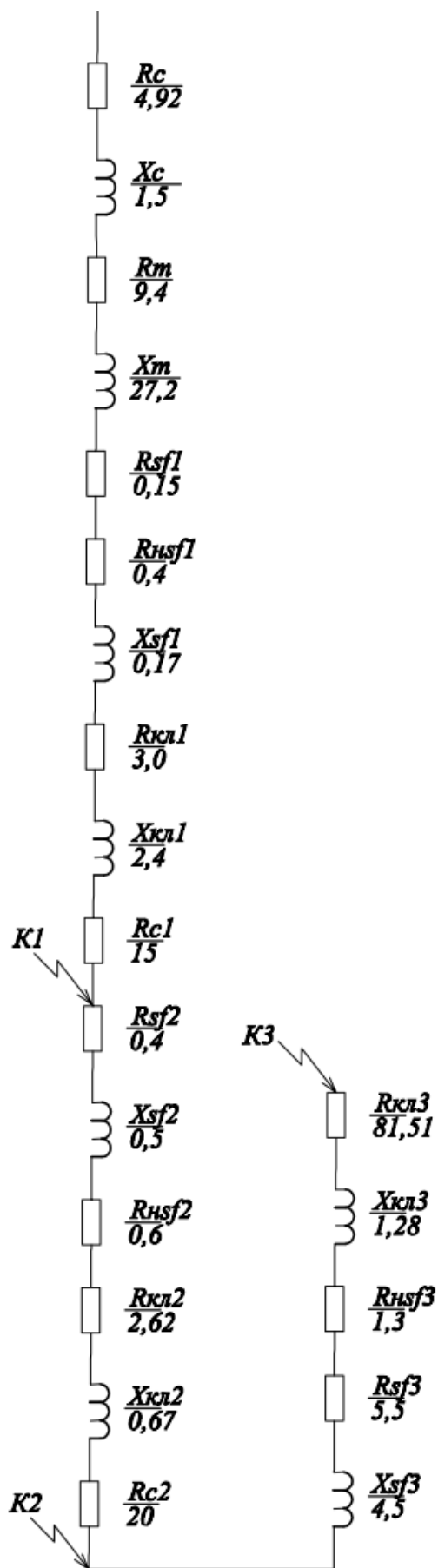


Рисунок 6 – Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме в системе электроснабжения молокозавода

Далее в работе «вычисляются сопротивления элементов и наносятся на схему замещения» [5].

$$I_c = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_c}, A, \quad (22)$$

$$I_c = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 A.$$

«Удельное индуктивное сопротивление КЛ марки АСБ-10(3×16): $x_0 = 0,4$ Ом/км; $r_0 = 1,28$ Ом/км» [8].

$$X'_c = x_0 L_c, Ом, \quad (23)$$

$$R'_c = r_0 L_c, Ом, \quad (24)$$

$$X'_c = 0,4 \cdot 2,4 = 0,96 Ом,$$

$$R'_c = 1,28 \cdot 2,4 = 3,07 Ом.$$

«Сопротивления приводятся к базисным условиям 0,4 кВ» [5]:

$$R_c = R'_c \left(U_{нн} / U_{вн} \right)^2, мОм, \quad (25)$$

$$X_c = X'_c \left(U_{нн} / U_{вн} \right)^2, мОм, \quad (26)$$

$$R_c = 3,072 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 4,92 мОм,$$

$$X_c = 0,96 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 1,5 мОм.$$

«Для кабелей схемы» [5]

$$R_{кл1} = r_{01} \cdot L_{кл1}, мОм, \quad (27)$$

где « $R_{кл1}$ – активное сопротивление КЛ» [5].

$$X_{кл1} = x_{01} \cdot L_{кл1}, \text{ мОм}, \quad (28)$$

где « $X_{кл1}$ – индуктивное сопротивление КЛ» [5].

Отсюда для питающей КЛ-10 кВ:

$$R_{кл1} = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ мОм},$$

$$X_{кл1} = 0,08 \cdot 30 = 2,4 \text{ мОм}.$$

Отсюда для питающей КЛ-0,4 кВ:

$$R_{кл2} = 0,524 \cdot 5 = 2,62 \text{ мОм},$$

$$X_{кл2} = 0,133 \cdot 5 = 0,67 \text{ мОм}.$$

Отсюда для распределительной КЛ-0,4 кВ:

$$R_{кл3} = 7,41 \cdot 11 = 81,51 \text{ мОм},$$

$$X_{кл3} = 0,116 \cdot 11 = 1,28 \text{ мОм}.$$

Упрощённая преобразованная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения молокозавода, приведена на рисунке 7.

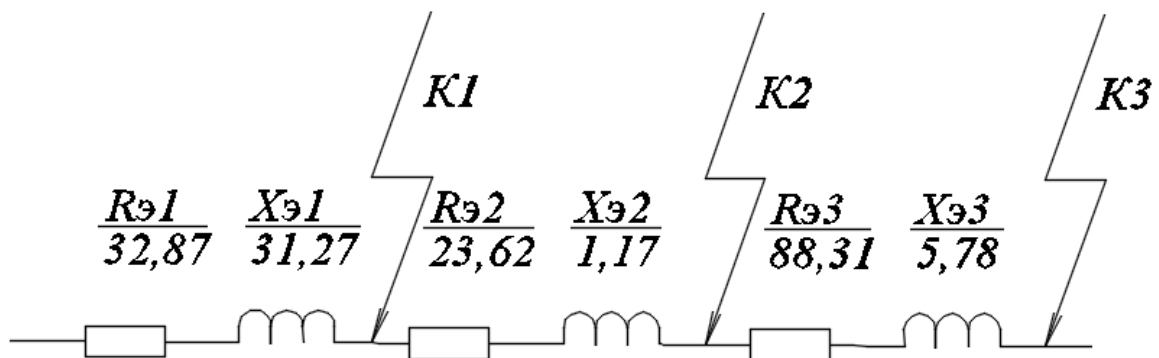


Рисунок 7 – Упрощённая преобразованная схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения молокозавода

«Далее выполняется последовательное преобразование упрощённой преобразованной схемы замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения молокозавода, относительно расчётных точек КЗ, с последующим расчётом эквивалентных сопротивлений в каждой расчётной точке» [8]:

$$R_{\vartheta 1} = R_c + R_m + R_{SF1} + RH_{SF1} + R_{c1} + R_{\kappa 1}, \text{ мОм}, \quad (29)$$

$$R_{\vartheta 1} = 4,92 + 9,4 + 0,15 + 0,4 + 15 + 3 = 32,87 \text{ мОм},$$

$$X_{\vartheta 1} = X_c + X_m + X_{SF1} + X_{\kappa 1}, \text{ мОм}, \quad (30)$$

$$X_{\vartheta 1} = 1,5 + 27,2 + 0,17 + 2,4 = 31,27 \text{ мОм},$$

$$R_{\vartheta 2} = R_{SF2} + RH_{SF2} + R_{\kappa 2} + R_{c2}, \text{ мОм}, \quad (31)$$

$$R_{\vartheta 2} = 0,4 + 0,6 + 2,62 + 20 = 23,62 \text{ мОм},$$

$$X_{\vartheta 2} = X_{SF2} + X_{\kappa 2}, \text{ мОм}, \quad (32)$$

$$X_{\vartheta 2} = 0,5 + 0,67 = 1,17 \text{ мОм},$$

$$R_{\vartheta 3} = R_{SF3} + RH_{SF3} + R_{\kappa 3}, \text{ мОм}, \quad (33)$$

$$R_{\vartheta 3} = 5,5 + 1,3 + 81,51 = 88,31 \text{ мОм},$$

$$X_{\vartheta 3} = X_{SF3} + X_{\kappa 3}, \text{ мОм}. \quad (34)$$

$$X_{\vartheta 3} = 4,5 + 1,28 = 5,78 \text{ мОм}.$$

«Проводится расчёт эквивалентных сопротивлений к точкам КЗ» [5]:

$$R_{\kappa 1} = R_{\vartheta 1}, \text{ мОм}, \quad (35)$$

$$R_{\kappa 1} = 32,87 \text{ мОм},$$

$$X_{\kappa 1} = X_{\vartheta 1}, \text{ мОм}, \quad (36)$$

$$X_{\kappa 1} = 31,27 \text{ мОм},$$

$$Z_{\kappa 1} = \sqrt{R_{\kappa 1}^2 + X_{\kappa 1}^2}, \text{ мОм}, \quad (37)$$

$$Z_{\kappa 1} = \sqrt{32,87^2 + 31,27^2} = 45,37 \text{ мОм},$$

$$R_{\kappa 2} = R_{\vartheta 1} + R_{\vartheta 2}, \text{ мОм}, \quad (38)$$

$$R_{\kappa 2} = 32,87 + 23,62 = 56,48 \text{ мОм},$$

$$X_{\kappa 2} = X_{\vartheta 1} + X_{\vartheta 2}, \text{ мОм}, \quad (39)$$

$$X_{\kappa 2} = 31,27 + 1,17 = 32,44 \text{ мОм},$$

$$Z_{\kappa 2} = \sqrt{R_{\kappa 2}^2 + X_{\kappa 2}^2}, \text{ мОм}, \quad (40)$$

$$Z_{\kappa 2} = \sqrt{56,48^2 + 32,44^2} = 65,13 \text{ мОм},$$

$$R_{\kappa 3} = R_{\kappa 2} + R_{\vartheta 3}, \text{ мОм}, \quad (41)$$

$$R_{\kappa 3} = 56,48 + 88,31 = 144,79 \text{ мОм},$$

$$X_{\kappa 3} = X_{\kappa 2} + X_{\vartheta 3}, \text{ мОм}, \quad (42)$$

$$X_{\kappa 3} = 32,44 + 5,78 = 38,22 \text{ мОм},$$

$$Z_{\kappa 3} = \sqrt{R_{\kappa 3}^2 + X_{\kappa 3}^2}, \text{ мОм}, \quad (43)$$

$$Z_{\kappa 2} = \sqrt{144,79^2 + 38,22^2} = 149,75 \text{ мОм}.$$

«Искомые значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы рассчитываются так» [5]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \text{ кА}, \quad (44)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 45,37} \cdot 10^3 = 5,09 \text{ кА},$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 65,13} \cdot 10^3 = 3,37 \text{ кА},$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 149,75} \cdot 10^3 = 0,85 \text{ кА}.$$

«Значение ударных токов» [18]:

$$i_{\text{ук}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА}. \quad (45)$$

где « K_y - ударный коэффициент» [18].

$$i_{yк1} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 5,09 = 7,18 \text{ кА.}$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,37 = 4,75 \text{ кА.}$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,85 = 1,2 \text{ кА.}$$

«Результаты расчёта токов КЗ в расчётных точках схемы приведены в таблице 6» [5].

Таблица 6 – Результаты расчёта токов КЗ

Точка КЗ	R_k , мОм	X_k , мОм	Z_k , мОм	$I_k^{(3)}$, кА	i_y , кА
К1	32,87	31,27	45,37	5,09	7,18
К2	56,48	32,44	65,13	3,37	4,75
К3	144,79	38,22	149,75	0,85	1,20

2.7 Выбор электрических аппаратов

«Выбор и проверка электрических аппаратов в работе предусматривает:

- выбор и проверку электрических аппаратов напряжением 10 кВ (на питающей ТП-10/0,4 кВ);
- выбор и проверку электрических аппаратов напряжением 0,38/0,22 кВ для защиты и коммутации питающей и распределительной сети завода.

Для защиты и коммутации питающей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения молокозавода, на напряжении 10 кВ на питающем РП-10 кВ энергосистемы, используются высоковольтные выключатели.

Для обеспечения безопасности проводимых работ с целью создания видимого разрыва в РУ-10 кВ питающей трансформаторной подстанции ТП-

10/0,4 кВ системы электроснабжения молокозавода, применяются втычные контакты.

Для защиты от перенапряжений в схеме питающей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения молокозавода, применяются ограничители перенапряжения» [13].

В работе выбираются современные электрические аппараты, характеризующиеся высокой надёжности узлов, механизмов и систем оборудования, повышенным коммутационным ресурсом, минимальным износом главной и дугогасительной контактных систем, стабильным отключением больших токов, применением современных способов гашения электрической дуги, а также повышенными характеристиками электробезопасности, экологической безопасности, пожаробезопасности и взрывобезопасности.

Помимо этого, выбранные типы аппаратов должны обладать удобствами и минимумом затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт, минимумом финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений, а также возможностью дальнейшей модернизации.

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

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (46)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (47)$$

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

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (48)$$

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

$$i_{a.\tau} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (49)$$

где « $\beta_{ном}$ – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе» [12];
« $i_{a.ном}$ – номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка аппаратов на электродинамическую стойкость [12]:

– «по номинальному току отключения» [5]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (50)$$

– «по отключению ударного тока» [5]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (51)$$

где « $i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости» [12].

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (52)$$

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

Для примера проводится выбор и проверка «выключателя для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ, установленном на питающем РП энергосистемы 10 кВ» [19]:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ}.$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 20,2 \text{ А}.$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА}.$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

«Окончательно выбирается для установки на питающем РП-10 кВ для защиты и коммутации» [19] молокозавода, вакуумный выключатель номинального напряжения 10 кВ марки VD-4-10-20/630-У2-48 (производитель – фирма АВВ, Швеция).

«Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ (коммутационных, защитных и регулирующих)» [19] для их установки в РУ-10 кВ питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода, а также и на питающем РП-10 кВ города (таблица 7).

«Таблица 7 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ» [19]

Наименование аппарата	Марка (типономинал) аппарата
Выключатель (питающий РП-10 кВ)	VD-4-10-8/630 У2
Предохранитель плавкий	ПК103-10-40-31,5/У3
Трансформатор тока	ТПЛ-10
Трансформатор напряжения	НАМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1
Выключатель нагрузки	ВНР-10/400-10-У3

Далее в работе проводится выбор и проверка аппаратов в сети 0,4 кВ молокозавода.

В схеме электроснабжения молокозавода, автоматы устанавливаются в шкафах РУ-0,4 кВ на питающем ТП-10/0,4 кВ, а также в СРШ для защиты одиночных потребителей объекта. Автоматы в сети 0,4 кВ молокозавода, выбираются по условиям, приведённым ниже.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя автомата» [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (53)$$

$$I_{у.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (54)$$

«Ток электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (55)$$

«В случае, если автомат выполнен с регулируемым электромагнитным расцепителем, зависящим от тока уставки теплового расцепителя» [19]:

$$I_{у.э.р} \geq K \cdot I_{у.т.р}, \quad (56)$$

где « K – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [19].

Выбор автоматических выключателей системы электроснабжения молокозавода для защиты и управления питающей сети её потребителей осуществлён аналогично (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора автоматов для защиты и управления питающей сети 0,38/0,22 кВ молокозавода

Наименование	I_p, A	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
Питающая ТП-10/0,4 кВ					
Вводной	538,5	ВА 52-39	630	630	6300
Секционный	430,8	ВА 52-39	630	500	5000
ВРУ					
Вводной СШ1	229,1	ВА 53-37	250	250	2500
Вводной СШ2	207,1	ВА 53-37	250	250	2500
Секционный	184,0	ВА 53-37	250	250	2500
СРШ1	127,3	ВА 52-33	160	160	1600
СРШ2	91,3	ВА 52-33	160	125	1250
СРШ3	96,9	ВА 52-33	160	125	1250
СРШ4	49,0	ВА 52-31	100	63	630
СРШ5	50,0	ВА 52-31	100	63	630
ЩРО	19,5	ВА 52-31	100	25	250
ЩАО	2,0	ВА 52-31	100	6,3	63

Все выбранные автоматы питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ проектируемого молокозавода удовлетворяют условиям выбора и проверок.

«Результаты выбора и проверки автоматов для защиты и коммутации распределительной сети системы электроснабжения молокозавода, полученные по аналогичной методике выбора аппаратов, приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора автоматов распределительной сети

Номер потребителя, п/п	I_p, A	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{у.т.р}, A$	$I_{у.э.р}, A$
Потребители СРШ1					
4	9,9	ВА 52-31	100	16	160
5	17,1	ВА 52-31	100	25	250
6	9,1	ВА 52-31	100	16	160
7	68,1	ВА 52-31	100	80	800
8.1	2,5	ВА 52-31	100	6,3	63
8.2	2,5	ВА 52-31	100	6,3	63
11	6,9	ВА 52-31	100	10	100
20	10,2	ВА 52-31	100	16	160
21	10,2	ВА 52-31	100	16	160
22	5,1	ВА 52-31	100	10	100
Потребители СРШ2					
15.1	3,4	ВА 52-31	100	6,3	25
15.2	3,4	ВА 52-31	100	6,3	25
16	49,7	ВА 52-31	100	63	630
17.1	12,5	ВА 52-31	100	16	160
17.2	12,5	ВА 52-31	100	16	160
18.1	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
18.2	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
19.1	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
19.2	2,1	ВА 52-31	100	6,3	63
Потребители СРШ3					
24.1	8,4	ВА 52-31	100	10	100
24.2	8,4	ВА 52-31	100	10	100
25.1	10,2	ВА 52-31	100	16	160
25.2	10,2	ВА 52-31	100	16	160
26.1	10,2	ВА 52-31	100	16	160
26.2	10,2	ВА 52-31	100	16	160
27	49,7	ВА 52-31	100	63	630
Потребители СРШ4					
9.1	6,9	ВА 52-31	100	10	100
9.2	6,9	ВА 52-31	100	10	100
9.3	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.1	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.2	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.3	6,9	ВА 52-31	100	10	100
10.4	6,9	ВА 52-31	100	10	100
12	6,9	ВА 52-31	100	10	100
Потребители СРШ5					
1	6,9	ВА 52-31	100	10	100
2	5,1	ВА 52-31	100	10	100
3	6,9	ВА 52-31	100	10	100
4.1	24,9	ВА 52-31	100	31,5	315
13	3,4	ВА 52-31	100	6,3	63
14	3,4	ВА 52-31	100	6,3	63
23	5,1	ВА 52-31	100	10	100

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты, выбранные для установки в системе электроснабжения молокозавода, проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы» [9].

Исходя из полученных проверочных результатов, они могут быть применены в данных технических условиях системы электроснабжения объекта проектирования. Все электрические аппараты, выбранные в работе, показаны в графической части проекта.

Выводы по разделу 2.

Разработана схема электроснабжения молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза», производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки. Питание данного молокозавода осуществляется по радиальной двухлучевой схеме от понизительной трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ, на которой установлены два силовых трансформатора марки ТМ-250/10. От указанной ТП-10/0,4 кВ по радиальной двухлучевой схеме получает питание вводное распределительное устройство, от которого питаются 5 СРШ, а также ЩРО и ЩАО. Распределительная силовая сеть выполнена по радиальной схеме: от СРШ получают питание потребители завода на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ. Такая схема отвечает требованиям ПУЭ по надёжности и экономичности.

В работе выбраны и проверены сечения кабельных линий в системе электроснабжения молокозавода. Выбраны и проверены электрические аппараты для установки на питающих РП-10 кВ и в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ, а также автоматы марки ВА для защиты и коммутации питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ.

3 Экономический анализ и обеспечение безопасности персонала

3.1 Экономический расчёт

«Исходя из принятых решений в работе, капиталовложения в систему электроснабжения молокозавода определяются» [18]:

$$K = K_{ТП} + K_C + K_A, \quad (57)$$

«где $K_{ТП}$ - капиталовложения в ТП-10/0,4 кВ (включая трансформаторы и шкафы РУ-10 кВ и РУ-0,4 кВ);

K_C - капиталовложения в сети (включая кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,4 кВ);

K_A - капиталовложения в электрические аппараты 10 кВ и 0,4 кВ (включая распределительные шкафы и ячейки)» [9].

Капиталовложения в ТП-10/0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами и шкафами РУ системы электроснабжения молокозавода определяются [18]:

$$K_{ТП} = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (58)$$

где « n - количество единиц оборудования, шт.» [18];

« $C_{осн.}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.» [18];

« M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.» [18];

« H_p - накладные расходы, тыс. руб.» [18]

$$M_n = 0,3C_{осн.}; H_p = 0,1C_{осн.} \quad (59)$$

Результаты расчёта стоимости оборудования ТП-10/0,4 кВ с учётом выбранных в работе двух силовых трансформаторов марки ТМ-250/10 сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Стоимость оборудования ТП-10/0,4 кВ

Тип электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Силовой трансформатор ТМ-250/10	2	160,0	320,0
Шкаф РУ-10 кВ (без оборудования)	2	20,0	40,0
Шкаф РУ-0,4 кВ (без оборудования)	9	10,0	90,0
Итого:	13	-	450,0

Капиталовложения в ТП-10/0,4 кВ проектируемого молокозавода

$$K_{ТП} = 450 + 0,3 \cdot 450 + 0,1 \cdot 450 = 630 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в электрические сети (кабельные линии напряжением 10 кВ и 0,4 кВ) определяются так [18]

$$K_C = l_C \cdot C_C + M_n + H_p, \quad (60)$$

где l_C - длина сети, км;

C_C - стоимость 1 км сети, тыс. руб.

Расчеты стоимости электрических сетей проектируемого молокозавода сводятся в таблицу 11.

Таблица 11 – Стоимость электрических сетей молокозавода

Марка кабеля	Кол-во, км	Стоимость, за км, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
АСБ-10(3×16)	1,0	220,0	220,0
ПвВГ (5×2,5)	5,0	116,0	580,0
ПвВГ (5×6)	0,5	350,0	175,0
ПвВГ (5×10)	0,6	400,0	240,0
ПвВГ (5×16)	0,8	450,0	360,0
ПвВГ (5×25)	0,5	680,0	340,0
ПвВГ (5×70)	1,0	900,0	900,0
Итого:	7,8	-	2815,0

Капиталовложения в электрические сети:

$$K_C = 2815 + 0,3 \cdot 2815 + 0,1 \cdot 2815 = 3941 \text{ тыс. руб.}$$

Капиталовложения в электрические аппараты (включая распределительные шкафы и ячейки ВРУ, СРШ, ЩРО и ЩАО) определяются так [18]

$$K_A = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (61)$$

где « n - количество единиц оборудования, шт.» [18];

« $C_{осн.}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.» [18];

« M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.» [18];

« H_p - накладные расходы, тыс. руб.» [18].

Расчеты стоимости электрических аппаратов молокозавода (включая распределительные шкафы и ячейки ВРУ, СРШ, ЩРО и ЩАО) сводятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Стоимость электрических аппаратов молокозавода

Марка электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	2	280,0	560,0
ТПЛ-10	6	36,0	216,0
ВНР-10/400-10-У3	2	46,0	92,0
ПК103-10-100-31,5/У3	6	4,0	24,0
Блок ОПН-0,4 кВ	2	23,5	47,0
Автоматы ВА	60	2,5	150,0
Шкафы ВРУ (базовая комплектация)	3	24,0	72,0
Шкафы СРШ СПА-77 (базовая комплектация)	7	16,0	112,0
Итого:	-	-	1273,0

Капиталовложения в электрические аппараты:

$$K_C = 1273 + 0,3 \cdot 1273 + 0,1 \cdot 1273 = 1782,2 \text{ тыс.руб.}$$

Определение суммы общих капитальных вложений в систему электроснабжения молокозавода [18]

$$K = 630 + 2815 + 1782,2 = 5227,2 \text{ тыс.руб.}$$

В общем виде расчетная формула эксплуатационных издержек (затрат) для системы электроснабжения молокозавода имеет вид [18]:

$$\begin{aligned} \text{ЭЗ} = & \text{ЗП} + \text{СВ} + A_{o\text{ТП}} + A_{o\text{С}} + A_{o\text{А}} + \\ & + P_{\text{ТО(ТП)}} + P_{\text{ТО(С)}} + P_{\text{ТО(А)}} + C_{\text{ЭЭ}} + \text{Пр}, \end{aligned} \quad (62)$$

«где ЗП – заработная плата, тыс. руб.» [18];

«СВ – страховые взносы, тыс. руб.» [18];

«А – амортизационные отчисления, тыс. руб.» [18];

«Р – затраты на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб.» [18]

«Заработная плата за год» [18]

$$\text{ЗП} = M_0 \cdot N \cdot K_{\text{дон}} \cdot T, \quad (63)$$

«где N – количество оперативно – технических работников» [18];

«K_{дон} – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату» [18];

«T – число месяцев в году» [18].

$$\text{ЗП} = 30,37 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 12 = 2733,3 \text{ тыс.руб.}$$

$$\text{СВ} = 0,309 \cdot \text{ЗП}. \quad (64)$$

$$\text{СВ} = 0,309 \cdot 2733,3 = 844,6 \text{ тыс.руб.}$$

Амортизационные отчисления на разработанную систему электроснабжения молокозавода согласно [18], определяются так:

$$A_o = K \cdot \frac{a}{100}, \quad (65)$$

где a - годовая норма амортизационных отчислений, % [18].

$$A_{oIII} = 630 \cdot 0,1 = 63 \text{ тыс.руб.},$$

$$A_{oC.} = 2815 \cdot 0,1 = 281,5 \text{ тыс.руб.},$$

$$A_{oA.} = 1782,2 \cdot 0,1 = 178,2 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные амортизационные отчисления

$$A_o = 63 + 281,5 + 178,2 = 522,7 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание [18]

$$P_{TO} = K \cdot \frac{r}{100}, \quad (66)$$

где r - годовая норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования и сетей, % [18].

$$P_{TO(III)} = 630 \cdot 0,025 = 15,8 \text{ тыс.руб.};$$

$$P_{TO(C)} = 2815 \cdot 0,025 = 70,4 \text{ тыс.руб.}$$

$$P_{TO(A)} = 1782,2 \cdot 0,025 = 44,6 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные расходы на ремонт и техническое обслуживание

$$P_{TO} = 15,8 + 70,1 + 44,6 = 130,5 \text{ тыс.руб.}$$

Прочие расходы [18]

$$Pr = 0,01 \cdot \sum K. \quad (67)$$

$$Pr = 0,01 \cdot 5227,2 \approx 52,3 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки [18]

$$\text{ЭЗ} = 2733,3 + 844,6 + 522,7 + 130,5 + 52,3 = 4283,4 \text{ тыс.руб.}$$

Технико-экономические показатели системы электроснабжения молокозавода представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Технико-экономические показатели системы электроснабжения молокозавода

Наименование статьи затрат	Ед. измерения	Величина
Суммарные капиталовложения	тыс. руб.	5227,2
Заработная плата	тыс. руб.	2733,3
Страховые взносы	тыс. руб.	844,6
Суммарные амортизационные отчисления	тыс. руб.	522,7
Суммарные расходы на ремонт и техническое обслуживание	тыс. руб.	130,5
Прочие расходы	тыс. руб.	52,3
Годовые эксплуатационные издержки	тыс. руб.	4283,4

Технико-экономические показатели системы электроснабжения молокозавода, предлагается использовать при практической реализации проекта.

3.2 Обеспечение безопасности жизнедеятельности

Далее в работе проводится описание мероприятий по обеспечению безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения молокозавода.

Основные цели системы управления безопасностью производственной деятельности (далее – СУБПД), включает главную цель, которая заключается в обеспечении безопасности, сохранения здоровья человека на всех этапах его жизненного цикла и производственной деятельности (рисунок 8).

Также регламентируются подцели второго уровня и цели третьего уровня СУБПД (рисунок 8).



Рисунок 8 – Основные цели системы управления безопасностью производственной деятельности

Известно, что обеспечение безопасности персонала при выполнении работ в системе электроснабжения молокозавода, является приоритетной задачей, решать которую должны как руководители высшего звена (директор и его заместители, а также главные инженер, энергетик и механик), так и руководители среднего звена, к которым относятся начальники и мастера смен и участков [9].

Для решения задач по обеспечению безопасности используются различные методы, имеющие различную природу.

Методы обеспечения безопасности жизнедеятельности в системе электроснабжения объекта, представлены на рисунке 9.



Рисунок 9 – Методы обеспечения безопасности жизнедеятельности

Мероприятия, которые должны проводиться для обеспечения безопасности персонала при выполнении работ в системе электроснабжения судоремонтного завода, сводятся к организационным и техническим.

Организационные мероприятия предусматривают проведение инструктажей по технике безопасности (вводного, на рабочем месте и специальных), назначение и распределение должностных обязанностей и лиц, ответственных за безопасность проведения работ в электроустановках, выполнение оперативного надзора и организацию охраны труда на предприятиях, составление и внедрение должностных инструкций и документов по безопасности проведения работ, ответственность за нарушения и поощрения в случаях выполнения указаний.

Технические мероприятия по безопасному выполнению работ предусматривают множество соответствующих мероприятий, целью которых

является совершенствование и предупреждение аварийных ситуаций техническим путём.

К техническим мероприятиям относятся: заземление всех металлических конструкций электроустановок, электрических машин, воздушных и кабельных линий, установка переносного контура заземления при непосредственном выполнении работ, вывешивание предупреждающих плакатов по технике безопасности, оперативные переключения в электроустановках, ограждение рабочего места и прочие мероприятия, направленные на техническое ограничение аварийных ситуаций в электроустановках.

Известно, что все инструменты, которые используются при выполнении электромонтажных работ и работ по ремонту и обслуживанию электроустановок, должны быть поверены в электротехнической лаборатории.

Просроченные инструменты и оборудование категорически не допускается к применению обслуживающим персоналом системы электроснабжения судоремонтного завода.

Все электроустановки должны быть оборудованы средствами обеспечения защиты персонала [9]. К таким средствам относятся:

- устройства релейной защиты (особенно, защита от коротких замыканий на землю);
- защитная автоматика;
- защитная сигнализация;
- телемеханика и видеонаблюдение;
- защитное заземление (включая переносное);
- защитное зануление (в сети 0,38/0,22 кВ);
- защитное отключение (на аппаратах);
- система блокировок различных уровней и видов.

Все перечисленные мероприятия должны применяться для обеспечения безопасности обслуживающего персонала в системе электроснабжения судоремонтного завода.

3.3 Расчёт контура заземления

Проводится расчёт контура заземления производственного корпуса системы электроснабжения молокозавода.

Данный контур заземления сооружается на питающей ТП-10/0,4 кВ. К нему подключается всё оборудование производственного корпуса.

«Рассчитывается сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных заземлителей» [16]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (68)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в}, \quad (69)$$

«где $\rho_{y\delta}$ – удельное сопротивление грунта» [19];

« $K_{n.z}$ и $K_{n.в}$ – нормируемые коэффициенты» [19].

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

«Для стержневого вертикального заземлителя» [19]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,51 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом.} \quad (70)$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,02} + 0,51 \lg \frac{4 \cdot 0,5 + 3 \cdot 2}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 23,65 \text{ Ом.}$$

«Число вертикальных заземлителей» [19]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт.} \quad (71)$$

$$N = \frac{23,65}{0,66 \cdot 4} = 8,96 \text{ шт.}$$

«Принимается $N = 9$ шт» [16].

«Сопротивление растеканию горизонтальных электродов» [19]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.z} \cdot 2\pi \cdot l_z} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_z^2}{b \cdot t}, \text{ Ом.} \quad (72)$$

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 8} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом.}$$

«Уточненное значение» [19]

$$R_{в.э.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (73)$$

$$R_{в.э.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

«Уточненное число вертикальных заземлителей» [19]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{ шт,} \quad (74)$$

$$N = \frac{23,65}{0,66 + 4,72} = 7,6 \text{ шт.}$$

«Сопротивление вертикальных заземлителей» [19]:

$$R_{в.е.} = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot N}, \text{ Ом.} \quad (75)$$

$$R_{в.е.} = \frac{23,65}{0,66 \cdot 8} = 4,48 \text{ Ом.}$$

«Общее сопротивление заземлителей (электродов) спроектированного контура заземления питающей ТП-10/0,4 кВ молокозавода» [19]:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, Ом. \quad (76)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,48 \cdot 26,17}{4,48 + 26,17} = 3,74 \text{ Ом.}$$

«Окончательно принимается к установке в контуре заземления питающей ТП-10/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения молокозавода восемь вертикальных заземлителей» [16].

Выводы по разделу 3.

В разделе, исходя из необходимых параметров и характеристик, согласно заданию на проектирование, а также исходя из требований, проведён расчёт экономических показателей спроектированной системы электроснабжения молокозавода. «Суммарные капиталовложения в систему электроснабжения молокозавода, составили 5227,2 тыс. руб. при величине годовых эксплуатационных издержек 4283,4 тыс. руб» [9].

Рассмотрены и описаны основные цели системы управления безопасностью производственной деятельности, а также методы и способы обеспечения безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения молокозавода.

Проведён расчёт контура заземления производственного корпуса системы электроснабжения молокозавода, в результате чего выбраны восемь вертикальных заземлителей.

На основе полученных результатов установлено, что спроектированный в работе контура заземления системы электроснабжения молокозавода, отвечает всем требуемым нормам документов отрасли, следовательно, он может быть применён на данном объекте.

Полученные результаты могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения молокозавода, производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки, территориально расположенного в г. Пенза.

Проведён анализ технологического процесса, электрооборудования и источников электроэнергии молокозавода.

В результате проведения анализа, установлено следующее:

- технологический процесс на объекте проектирования носит сложный циклический характер;
- в системе электроснабжения молокозавода установлено различное технологическое оборудование по мощности и назначению;
- единственным источником электроэнергии для системы электроснабжения молокозавода является понизительная ТП-10/0,4 кВ г. Пермь.

Разработана схема электроснабжения молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза», производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки.

Питание данного молокозавода осуществляется по радиальной двухлучевой схеме от понизительной трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ, на которой установлены два силовых трансформатора марки ТМ-250/10.

От указанной ТП-10/0,4 кВ по радиальной двухлучевой схеме получает питание вводное распределительное устройство, от которого питаются 5 СРШ, а также ЩРО и ЩАО.

Распределительная силовая сеть выполнена по радиальной схеме: от СРШ получают питание потребители завода на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ. Такая схема отвечает требованиям ПУЭ по надёжности и экономичности.

В работе выбраны и проверены сечения кабельных линий в системе

электроснабжения молокозавода.

Для питающей кабельной линии ТП-10/0,4 кВ выбраны кабели марки АСБ-10 (3×16), для питающей и распределительной сети 0,38/0,22 кВ – силовые кабели с изоляцией со сшитого полиэтилена марки ПвВГ разных сечений.

Выбраны и проверены электрические аппараты в системе электроснабжения молокозавода МАУ «Детское и лечебное питание» г. Пенза», производящего до 4 тонн молочных продуктов в сутки: высокого напряжения 10 кВ для установки на питающих РП-10 кВ и в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ, а также автоматы марки ВА для защиты и коммутации питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ.

Исходя из необходимых параметров и характеристик, согласно заданию на проектирование, а также исходя из требований, проведён расчёт экономических показателей спроектированной системы электроснабжения молокозавода. Установлено, что суммарные капиталовложения в систему электроснабжения молокозавода, составили 5227,2 тыс. руб. при величине годовых эксплуатационных издержек 4283,4 тыс. руб.

Рассмотрены и описаны основные цели системы управления безопасностью производственной деятельности, а также методы и способы обеспечения безопасности жизнедеятельности при выполнении работ в системе электроснабжения молокозавода.

Проведён расчёт контура заземления производственного корпуса системы электроснабжения молокозавода, в результате чего выбраны восемь вертикальных заземлителей.

На основе полученных результатов установлено, что спроектированный в работе контура заземления системы электроснабжения молокозавода, отвечает всем требуемым нормам документов отрасли, следовательно, он может быть применён на данном объекте.

Полученные результаты могут быть приняты к сведению при практической реализации проекта.

Список используемых источников

1. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интермет Инжиниринг, 2017. 672 с.
2. Водяников В.Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК. М.: Колос, 2018. 263с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Кабели АСБ-10 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.rkz.ru/cables/1079/> (дата обращения: 26.09.2022).
5. Кабели ПвВГ. [Электронный ресурс]. URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-\(1kv\)/pvvg/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-izolyacziej-iz-silanolnosshitogo-polietilena-(1kv)/pvvg/) (дата обращения: 27.09.2022).
6. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
7. Каталог автоматических выключателей Ново Вятка. [Электронный ресурс]: URL: http://www.expoelectro.ru/netcat_files/104/42/Katalog_avtomaticheskie_vyklyuchateli_Novo_vyatka_.pdf (дата обращения: 27.09.2022).
8. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2019. 184 с.
9. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2019. 608 с.
10. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.

11. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
12. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.
13. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
14. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 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. 312 с.
18. Схемы принципиальные электрические распределительных устройств и указания по их применению. [Электронный ресурс]: URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293830/4293830107.htm> (дата обращения: 27.09.2022).
19. 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».
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2017. 136 с.