Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ПЦК «ЭД»

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ (РАБОТА)**

на тему « **Реконструкция электроснабжения помещения на предприятии ООО «УралОмегаПласт»**
обучающегося группы ЭС9-22-1СПО по специальности
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)
Краснопёров Никита Юрьевич
Фамилия имя отчество студента

Руководитель работы: _____ \ Комаренко В.А. \

Консультант по
организационно -экономической части: _____\ Стругова Л.А. \

Консультант по
охране труда _____ \ Торощин А.К. \

Рецензент: _____ _____\

Допуск к защите: _____ \ Торощин А.К. \

Лысьва, 2026 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ПЦК «ЭД»

**УТВЕРЖДАЮ**
Председатель ПЦК ЭД
_____ А.К. Торощин
«___»_____2026 г.

**ЗАДАНИЕ**
**на выполнение дипломного проекта (работы)**

**Фамилия И. О.:** Краснопёров Н.Ю
**Специальность:** 13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)
**Группа:** ЭС9-22-1СПО
**1. Наименование темы:** Реконструкция электроснабжения цеха компаундирования на предприятии ООО "УралОмегаПласт"
**2. Содержание пояснительной записки:**
ВВЕДЕНИЕ
В разделе «Введение» обосновывается актуальность реконструкции системы электроснабжения цеха компаундирования на предприятии ООО «УралОмегаПласт». Рассматриваются предпосылки к модернизации: износ оборудования, рост требований к надёжности и энергоэффективности. Формулируется цель дипломного проекта — разработка проекта реконструкции электроснабжения цеха компаундирования для повышения надёжности, безопасности и энергоэффективности системы. Определяется перечень задач: расчёт электрических нагрузок; выбор схемы электроснабжения; определение трассы и способа прокладки питающих кабелей; выбор электрооборудования; расчёт токов короткого замыкания; проверка выбранного оборудования.
Наименование разделов:
а) РАЗДЕЛ 1. ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ПРОЕКТИРОВАНИЯ
В разделе даётся общая характеристика предприятия ООО «УралОмегаПласт» — одного из ведущих производителей электромонтажной продукции (гофротруба, металлорукав, кабель-каналы). Описывается производственная структура предприятия: четыре производственных цеха, более 150 единиц технологического оборудования. Подробно рассматривается технологический процесс цеха компаундирования — смешение полимерной основы (ПВХ, ПНД) с модифицирующими добавками. Приводится перечень электрооборудования цеха (таблица 1.1): дозаторы сыпучих компонентов (3 шт., 0,55 кВт), компрессор винтовой (7,5 кВт), осушитель рефрижераторный (0,37 кВт), загрузчик-смеситель (11 кВт), смеситель двухстадийный (37 кВт), растариватель биг-бэгов (4 кВт), двухшнековый экструдер-компаундер (600 кВт). Суммарная установленная мощность — 667,02 кВт.
б) РАЗДЕЛ 2. СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ
2.1. Категория надёжности и выбор схемы электроснабжения.
Выполняется классификация электроприёмников по категориям надёжности согласно ПУЭ. Основное оборудование (экструдер, смесители, компрессор, дозаторы) отнесено ко II категории; растариватель и освещение — к III категории. На основании категорий и технико-экономических соображений принята однотрансформаторная схема

электроснабжения. Определяется распределение электроприёмников по распределительным устройствам: экструдер питается через шинопровод ШМА-1; смесители и загрузчик — от шкафа ШР-2; компрессор, осушитель и дозаторы — от ШР-3; растариватель — от ШР-1; освещение — от щита ЩО. Обоснованы способы прокладки кабелей: кабель 10 кВ — в траншее; ШМА — на подвесных опорах; кабели 0,4 кВ — в металлорукаве и лотках.

2.2. Расчёт электрических нагрузок, компенсирующего устройства и выбор трансформатора.

Методом коэффициента использования и коэффициента максимума рассчитываются средние и максимальные электрические нагрузки цеха. Результаты: средняя активная мощность Рсм = 538,68 кВт; средневзвешенный cosφ = 0,847; максимальная полная мощность до компенсации Sм = 699,5 кВА; максимальный ток Iм = 1065 А. Для повышения коэффициента мощности до cosφ = 0,96 рассчитывается мощность компенсирующего устройства: Qк.р = 159,4 квар. Принимаются 4 установки КС-0,38-50 суммарной мощностью 200 квар. После компенсации: Sм.к = 616,9 кВА; Iм.к = 939 А; cosφ = 0,960. Расчётная мощность трансформатора с коэффициентом перспективы — 815,8 кВА. Выбирается трансформатор ТМ-1000/10 (1000 кВА, 10/0,4 кВ). Коэффициент загрузки Кз = 0,62. Рассчитываются потери мощности в трансформаторе: ΔРт = 6,68 кВт, ΔQт = 35,14 квар.

2.3. Расчёт и выбор элементов электроснабжения.

Производится выбор вводного автоматического выключателя на стороне 0,4 кВ — принят ВА 53-43-3 с Iн.р = 1600 А. Выбирается питающий кабель 10 кВ по экономической плотности тока — кабель ААБлУ-10 (3×50). Для питания экструдера (Iн = 868,5 А) выбирается шинопровод ШМА-1000-44 (Iн = 1000 А). Составляется сводная ведомость выбранных автоматических выключателей и кабельных линий для всех электроприёмников цеха.

2.4. Расчёт токов короткого замыкания и проверка оборудования.

Расчёт выполняется для трёх характерных точек: К1 — на шинах 0,4 кВ (Iк3 = 11,3 кА); К3 — у экструдера (Iк3 = 11,2 кА); К2 — у наиболее удалённого потребителя — компрессора (Iк3 = 0,13 кА). Рассчитываются токи однофазного КЗ по петле «фаза-ноль». Выполняется проверка вводного автомата ВА 53-43-3 на отключающую способность (42 кА ≥ 15,9 кА) и чувствительность (4,18 кА ≥ 2,4 кА для полупроводникового расцепителя). Проверяется кабель ААБлУ-10 (3×50) на термическую стойкость (50 мм² ≥ 46,7 мм²). Шинопровод ШМА-1000-44 проверяется на динамическую стойкость (σдоп = 70 МПа ≥ σ = 3,43 МПа). Потеря напряжения до наиболее удалённого потребителя (компрессор): ΔU = 9,96% ≤ 10% (допустимо по ПУЭ).

в) РАЗДЕЛ 3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Составляется ведомость монтируемого электрооборудования (14 позиций): трансформатор ТМ-1000/10 — 1 шт.; конденсаторные установки КС-0,38-50 — 4 шт.; шинопровод ШМА-1000-44 — 5 м; распределительные шкафы ПР85-3004-54-У3 — 3 шт.; щит осветительный ЩОС-4-25-44 — 1 шт.; автоматические выключатели серии ВА — 11 шт.; кабели силовые (ААБлУ-10, АВВГ различных сечений) — 614 пм; светодиодные светильники 150 Вт IP65 — 18 шт. Составляется ведомость физических объёмов электромонтажных работ (15 позиций), включающая монтаж оборудования, прокладку кабелей и металлорукава (450 м).

г) РАЗДЕЛ 4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Определяется сметная стоимость монтажных работ ресурсным методом на основании ГЭСНм-2001, сборник №8. Прямые затраты составляют 135 287 руб., накладные расходы (95% от ФОТ = 32 000 руб.) — 30 400 руб., плановая прибыль (65% от ФОТ) — 20 800 руб. Итоговая стоимость СМР — 186 487 руб. Стоимость оборудования и материалов — 1 100 595 руб. Общая сметная стоимость реконструкции с учётом транспортных (55 030 руб.), заготовительно-складских (22 012 руб.) и прочих расходов (13 641 руб.) составляет 1 381

665 рублей. Выполняется оценка экономической эффективности: годовая экономия от снижения потерь электроэнергии — 150 279 руб.; экономия эксплуатационных расходов — 138 166 руб.; суммарный годовой экономический эффект — 288 445 руб. Простой срок окупаемости — 4,79 года. Чистый дисконтированный доход за 10 лет при норме дисконта 12% — 248 049 руб. Дисконтированный срок окупаемости — 7,1 года. ВНД = 16,28% > 12% — проект инвестиционно привлекателен.

д) РАЗДЕЛ 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА

Анализируются опасные и вредные производственные факторы при реконструкции и эксплуатации системы электроснабжения: поражение электрическим током (наибольший риск), пожарная и взрывная опасность (горючие полимерные материалы), термическая опасность, механические травмы при монтаже на высоте, химический и психофизиологический факторы. Разрабатываются организационные мероприятия по электробезопасности: назначение ответственных лиц, оформление наряда-допуска, проведение инструктажей (вводного, первичного, целевого), допуск к работе. Описываются технические мероприятия: отключение питающих линий, проверка отсутствия напряжения, установка переносных заземлений, ограждение токоведущих частей, применение СИЗ (диэлектрические перчатки, каски, пояса). Рассматриваются вопросы экологической безопасности: электромагнитное излучение (соответствует ПДУ по СанПиН 1.2.3685-21), шум трансформатора (65–70 дБА ≤ 80 дБА), предотвращение

Список использованных источников

Указывается полный список литературы, нормативной документации, интернет-ресурсы, которые использовались в дипломной работе (проекте).

Приложения.Комплект чертежей

Дата выдачи: _____ Срок окончания: _____

Руководитель дипломного проекта (работы)

_____ /ФИО/

«__» _____ 2026 г.

Задание утверждено на заседании ПЦК _____

протокол № ___ от «____» _____ 2026 г.

Обучающийся Краснопёров Никита Юрьевич / ФИО/

«__» _____ 2026 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

ПЦК «ЭД»

**УТВЕРЖДАЮ**
Председатель ПЦК ЭД
_____ А.К. Торощин
«___» _____2026 г.

## График выполнения дипломного проекта (работы)

обучающегося группы ЭС9-22-1СПО
специальности 13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)
*ФИО обучающегося* Краснопёров Никита Юоьевич

| **Содержание** | **Сроки** | **Отметка о выполнении** | **Дата** | | | | | | | | **Подпись** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **02.03-22.03** | **23.03-12.04** | **13.04-03.05** | **04.05-14.05** | **15.05-20.05** | **01.06-11.06** | **12.06-23.06** | **24.06-25.06** | |
| Введение<br>Разделы:<br>1. Исследовательская часть | 02.03-22.03 | | | | | | | | | | |
| 2. Конструкторская часть | 23.03-12.04 | | | | | | | | | | |
| 3. Организация производства | 13.04-03.05 | | | | | | | | | | |
| 4. Организационно-экономическая часть | 04.05-14.05 | | | | | | | | | | |
| 5. Промышленная экология и охрана труда | 15.05-20.05 | | | | | | | | | | |
| Оформление дипломного проекта (работы):<br>Заключение<br>Список использованных источников<br>Приложения | 18.03-01.06 | | | | | | | | | | |
| Выполнение чертежей, оформление демонстрационных материалов к дипломному проекту (работе) | 01.06-04.06 | | | | | | | | | | |
| Нормоконтроль | 05.06-11.06 | | | | | | | | | | |
| Представление дипломного проекта (работы) на проверку и отзыв руководителя | 04.06-11.06 | | | | | | | | | | |
| Иметь к предзащите:<br>- рецензия нормоконтроля; | 11.06 | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - отзыв руководителя;<br>- подпись руководителя по экономической части<br>- подпись руководителя по охране труда<br>- презентация<br>- доклад | | | | | | | | | | | |
| Рецензия | 15.06 | | | | | | | | | | |
| Подготовка презентации к защите | 08.06-20.06 | | | | | | | | | | |
| Предоставление работы на проверку председателю ПЦК | 12.06-19.06 | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | |
| Диск с материалами дипломного проекта (работы). Сдача работ на кафедру | 20.06 | | | | | | | | | | |
| Защита дипломного проекта (работы) | 23.06 | | | | | | | | | | |

Руководитель дипломного проекта (работы)
_____/_____/

«__» _____ 2026 г.

Согласовано:
Председатель ПЦК «ЭД» _____ /А.К. Торощин

«__» _____ 2026 г.

«____» _____ 2026 г.

**СОДЕРАЖЕНИЕ**

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ ..... 3
ВВЕДЕНИЕ ..... 4
1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ ..... 5
2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ ..... 7
2.1 Категория надежности и выбор схемы электроснабжения ..... 7
2.1.1 Определение категорий электроприемников ..... 7
2.1.2 Выбор схемы электроснабжения ..... 8
2.1.3 Выбор способа прокладки питающих кабелей ..... 9
2.2.2 Расчет максимальных нагрузок ..... 11
2.2.3 Выбор компенсирующего устройства (КУ) ..... 12
2.2.4 Расчет нагрузок после компенсации ..... 12
2.2.5 Выбор силового трансформатора ..... 13
2.2.6 Результаты расчета нагрузок ..... 15
2.3 Расчет и выбор элементов электроснабжения ..... 17
2.3.1 Выбор вводного автоматического выключателя на стороне 0,4 кВ ..... 17
2.3.2 Выбор питающего кабеля 10 кВ (ГРЩ — КТП) ..... 18
2.3.3 Выбор шинопровода для питания экструдера (ШМА-1) ..... 19
2.3.4 Расчёт и выбор кабелей питающих линий КТП → ШР ..... 20
2.3.5 Сводная ведомость выбора автоматов и кабелей ..... 21
2.4 Расчет токов короткого замыкания и проверка оборудования ..... 22
2.4.1 Исходные данные для расчёта ..... 22
2.4.2 Сопротивления элементов схемы ..... 23
2.4.3 Расчёт сопротивлений до точек КЗ ..... 24
2.4.4 Расчёт токов трёхфазного КЗ ..... 26
2.4.5 Расчёт сопротивлений петли «фаза-ноль» и однофазных токов КЗ ..... 26
2.4.6 Проверка кабелей на термическую стойкость ..... 28
2.4.7 Проверка шинопровода на динамическую стойкость ..... 28
2.4.8 Проверка потери напряжения ..... 29
2.4.9 Результаты проверки оборудования ..... 30

3 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ..... 32
3.1 Составление ведомости монтируемого электрооборудования ..... 32
3.2 Составление ведомости физических объёмов электромонтажных работ. 32
4 ОРГАНИЗАЦИОННО - ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ..... 34
4.1 Общие положения ..... 34
4.2 Составление сметной ведомости на монтаж электрооборудования КТП. 34
4.3 Расчет стоимости оборудования..... 37
4.4 Общая сметная стоимость реконструкции ..... 38
4.5 Экономическая эффективность реконструкции ..... 39
4.5.1 Снижение потерь электроэнергии ..... 39
4.5.2 Снижение эксплуатационных расходов..... 40
4.5.3 Общий годовой экономический эффект ..... 40
4.6 Оценка эффективности капитальных вложений..... 41
4.6.1 Простой срок окупаемости..... 41
4.6.2 Чистый дисконтированный доход (ЧДД) за 10 лет ..... 41
4.6.3 Дисконтированный срок окупаемости..... 42
4.6.3 Внутренняя норма доходности (ВНД) ..... 42
4.7 Выводы по экономической части ..... 43
5 ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ..... 45
5.1 Анализ опасных производственных факторов..... 45
5.2 Обеспечение электробезопасности при реконструкции ..... 47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ..... 55
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ..... 57

## СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ЭО – электрооборудование;

ТП – трансформаторная подстанция;

КТП – комплектная трансформаторная подстанция;

ПУЭ – правила устройства электроустановок;

ШМА – шинопровод магистральный;

ШР – шкаф распределительный;

ЩО – щит осветительный;

РУ – распределительное устройство;

КЗ – короткое замыкание;

КУ – компенсирующее устройство;

ГРЩ – главный распределительный щит;

ПВХ – поливинилхлорид;

ПНД – полиэтилен низкого давления;

ЧДД – чистый дисконтированный доход;

ВНД – внутренняя норма доходности;

СМР – строительно-монтажные работы;

ПТЭ – правила технической эксплуатации;

ПТБ – правила техники безопасности.

# ВВЕДЕНИЕ

Современное промышленное предприятие нельзя представить без надежной и удобной системы электроснабжения. Бесперебойная система электроснабжения необходима для качественного выпуска продукции, работы станков и безопасности людей. Но есть проблема, каждое оборудование стареет, изнашивается, растут требования к качеству и безопасности электрической энергии, когда при этом оборудование со временем устаревает.

Актуальность моей работы заключается в том, что реконструкция энергоснабжения- это комплексная задача, которая включается в себя анализ текущего состояния системы, расчет новых нагрузок, выбор современного оборудования, замена или ремонт старого оборудования. Это очень важно, т.к. от этого зависит энергоэффективность, а также в случае неудачной реконструкции может обернуться миллионными убытками, поэтому создание новой современной системы электроснабжения становится ответственной и стратегически важной задачей для каждого предприятия.

Целью данного дипломного проекта выступает разработка проекта реконструкции электроснабженияцеха компаундирования на предприятии ООО " Уралomегапласт"для повышения надежности, безопасности и энергоэффективности системы. Для достижение этой цели, мне надо решить ряд необходимых задач, такие как:

– произвести расчет электрических нагрузок,

– выбрать схему электроснабжения, определить трассу и способ прокладки питающих кабелей,

– выбор электрооборудования,

– произвести расчёт токов короткого замыкания.

– произвести проверку выбранного оборудования.

# 1 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

«УралОмегаПласт» занимает одну из лидирующих позиций на рынке электромонтажной продукции. Продукция компании представлена в десятках регионах России и нескольких странах ближнего зарубежья. Компания никогда не сворачивает с раз и навсегда взятого курса, развиваясь и совершенствуясь, день ото дня. Основное направление нацелено на развитие собственного производства. Сегодня это четыре производственных цеха, где в эксплуатации находится более 200 единиц оборудования. Ежегодно происходит обновление и модернизация оборудования. Современное технологическое оборудование, система контроля обеспечивают выпуск качественных электротехнических изделий. Нашему предприятию уже более 10 лет. Штат компании составляет более чем из ста пятидесяти специалистов, при этом стаж работы большинства сотрудников в этой отрасли - более 10 лет.

Завод «УралОмегаПласт» в числе первых производителей в России осваивал технологию производства гофрированной трубы.

На данный момент могут делать заказы на любое количество продукции из всего обширного ассортимента предприятия. В него входит: гофротруба всех типоразмеров, металл рукав всех типоразмеров, кабель-каналы, электромонтажные коробки и многое другое. Для этого на предприятий иметься более 150 современного технологического оборудования станки: токарные с чпу, сверлильные, пресса, фрезерные и многие другие, которые позволяют выпускать продукцию такого качества.

Цех компаундирования - это участок производства, где смешивают полимерную основу с различными добавками (наполнителями, пластификаторами, стабилизаторами, красителями и др.) для придания композиционному материалу новых свойств или улучшения существующих. Компаундированиенеобходимодля производства гофрированных труб из ПВХ и ПНД, где в качестве сырья используют гранулированный поливинилхлорид с модифицирующими добавками.

Таблица 1 - Перечень электрооборудования цехакомпаундирования:

| № на плане | Наименование ЭО | Кол-во, шт. | Рэп, кВт | cos φ | Ки |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Насосы-дозатор | 3 | 0,55 | 0,75 | 0,70 |
| 2 | Компрессор винтовой | 1 | 7,5 | 0,85 | 0,66 |
| 3 | Осушитель рефрижераторный | 1 | 0,37 | 0,80 | 0,66 |
| 4 | Загрузчик, смеситель для производства гранулы | 1 | 11 | 0,85 | 0,81 |
| 5 | Смеситель двухстадийный | 1 | 37 | 0,80 | 0,75 |
| 6 | Растаривательбиг-бэгов | 1 | 4 | 0,85 | 0,81 |
| 7 | Двухшнековый экструдер-компаундер | 1 | 600 | 0,85 | 0,81 |
| Итого | | | 667,02 | | |

**Краткое изложение:**Цех компаундирования ООО «УралОмегаПласт» является ключевым производственным участком предприятия, обеспечивающим подготовку полимерных композиций для выпуска гофрированных труб из ПВХ и ПНД. Суммарная установленная мощность электрооборудования цеха составляет 667,02 кВт, при этом основную долю нагрузки формирует двухшнековый экструдер-компаундер мощностью 600 кВт. Состав и мощность электроприёмников определяют высокие требования к надёжности и качеству электроснабжения, что обусловило необходимость реконструкции существующей системы.

# 2 КОНСТРУКТОРСКАЯ ЧАСТЬ

## 2.1 Категория надежности и выбор схемы электроснабжения

### 2.1.1 Определение категорий электроприемников

На основании ПУЭ и технологического процесса цеха компаундирования, электроприемники распределяются по категориям надежности.

Таблица 2– Категории надёжности электроприёмников цеха компаундирования

| Электроприёмник | Категория | Обоснование |
|---|---|---|
| Двухшнековый экструдер-компаундер (600 кВт) | II | Остановка экструдера приводит к остановке всей технологической линии, массовому недоотпуску продукции и простою основного оборудования |
| Смеситель двухстадийный (37 кВт + 5,5 кВт) | II | Без смесителя невозможен запуск экструдера, так как он готовит исходную композицию |
| Загрузчик-смеситель для гранулы (11 кВт) | II | Участвует в технологической цепочке подачи материала |
| Компрессор винтовой (7,5 кВт) | II | Обеспечивает работу пневматических систем дозаторов, КИП и автоматики |
| Осушитель рефрижераторный (0,37 кВт) | II | Работает в паре с компрессором; от качества осушенного воздуха зависит работа пневмосистемы |
| Дозаторы сыпучих компонентов (3 × 0,55 кВт) | II | Обеспечивают точное дозирование добавок, влияющих на качество конечного продукта |
| Растаривательбиг-бэгов (4,0 кВт) | III | Перерыв в работе не влияет на основной технологический процесс при наличии запаса сырья в бункерах |
| Освещение рабочее (18 светильников × 150 Вт) | III | Перерыв электроснабжения допустим на время ремонта (предусмотрено аварийное освещение) |

### 2.1.2 Выбор схемы электроснабжения

Согласно ПУЭ, для электроприемников II категории допускается питание по одной кабельной линии, если обеспечена возможность проведения аварийного ремонта за время не более 1 суток. Для электроприемников III категории допускается питание от одного источника питания. На основаниитого и для экономии средств, принимается однотрансформаторная схема электроснабжения.

Таблица 3 – Распределение электроприемников по РУ

| Распределительное устройство | Подключаемое оборудование | Мощность, кВт | Iм, А | Категория |
|---|---|---|---|---|
| ШМА-1 | Двухшнековый экструдер-компаундер | 600 | 868,5 | II |
| ШР-2 | Смеситель двухстадийный (горячий) | 37 | 70,2 | II |
| ШР-2 | Смеситель двухстадийный (холодный) | 5,5 | 11,9 | II |
| ШР-2 | Загрузчик-смеситель для гранулы | 11 | 22,2 | II |
| ШР-3 | Компрессор винтовой | 7,5 | 15,8 | II |
| ШР-3 | Осушитель рефрижераторный | 0,37 | 0,9 | II |
| ШР-3 | Дозаторы сыпучих компонентов (3 шт.) | 1,65 | 3,5 | II |
| ШР-1 | Растаривательбиг-бэгов | 4,0 | 8,8 | III |
| ЩО | Освещение (18 светильников × 150 Вт) | 2,7 | 3,8 | III |

### 2.1.3 Выбор способа прокладки питающих кабелей

Для обеспечения надежности и безопасности электроснабжения, а также удобства эксплуатации и ремонта, принимаются следующие способы прокладки кабельных линий.

Таблица 4 – Способы прокладки питающих кабелей

| Трасса | Способ прокладки | Обоснование |
|---|---|---|
| ГРЩ – КТП (кабель 10 кВ) | В земле (траншея на глубине 0,7 м) | Защита от механических повреждений, экономия производственного пространства |
| КТП – ШМА-1 (экструдер) | Шинопровод ШМА-1000 на подвесных опорах | Большой рабочий ток (868 А), удобство подключения нагрузки |
| КТП – ШР-2, ШР-3, ШР-1 | Кабели АВВГ в металлорукаве по стенам | Защита от механических повреждений, простота монтажа |
| ШР – электроприёмники | Кабели АВВГ в лотках и трубах | Удобство обслуживания и замены |
| ЩО – светильники | Кабели ВВГнг в металлорукаве | Пожаробезопасность, защита от пыли |

## 2.2 Расчет электрических нагрузок, компенсирующего устройства и выбор трансформатора

### 2.2.1 Расчет средних нагрузок за смену

Средняя активная мощность за смену определяется по формуле:

$$P_{см} = K_и \cdot P_Н, \ \ кВт; \quad (1)$$

Средняя реактивная мощность за смену определяется по формуле:

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi, \ \ ; \quad (2)$$

Результаты расчета средних нагрузок приведены в таблице 5

Таблица 5 — Расчет средних нагрузок цеха компаундирования

| № | Наименование ЭО | Рн, кВт | Ки | Рсм, кВт | tgφ | Qсм, квар |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Дозаторы сыпучих компонентов | 1,65 | 0,70 | 1,16 | 0,88 | 1,02 |

| № | Наименование ЭО | Рн, кВт | Ки | Рсм, кВт | tgφ | Qсм, квар |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | Компрессор винтовой | 7,5 | 0,66 | 4,95 | 0,62 | 3,07 |
| 3 | Осушитель рефрижераторный | 0,37 | 0,66 | 0,24 | 0,75 | 0,18 |
| 4 | Загрузчик-смеситель для гранулы | 11 | 0,81 | 8,91 | 0,62 | 5,52 |
| 5 | Смеситель двухстадийный (горячий) | 37 | 0,75 | 27,75 | 0,75 | 20,81 |
| 6 | Смеситель двухстадийный (холодный) | 5,5 | 0,75 | 4,13 | 0,75 | 3,10 |
| 7 | Растаривательбиг-бэгов | 4,0 | 0,81 | 3,24 | 0,62 | 2,01 |
| 8 | Двухшнековый экструдер-компаундер | 600 | 0,81 | 486,0 | 0,62 | 301,3 |
| 9 | Освещение рабочее | 2,7 | 0,85 | 2,30 | 0,43 | 0,99 |
| Итого | | 667,02 | — | 538,68 | — | 338,00 |

Суммарная полная средняя мощность за смену

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{с}}^2 + Q_{\text{с}}^2} \quad (3)$$

$$S_{\text{см}} = \sqrt{538{,}68^2 + 338{,}00^2} = 635{,}9 \text{ кВА}$$

Средневзвешенный коэффициент использования:

$$K_{Иср} = \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{н}}} \quad (4)$$

$$K_{Иср} = \frac{538{,}68}{667{,}02} = 0{,}807$$

Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$cos\phi = \frac{P_{\text{см}}}{S_м} \quad (5)$$

$$cos\phi = \frac{538{,}68}{635{,}9} = 0{,}847$$

### 2.2.2 Расчет максимальных нагрузок

Эффективное число электроприемников для группы, где m>3и $K_{\text{и.ср}}$>0,2, определяется по формуле:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_Н}{P_{\text{н.нб}}} \quad (6)$$

Учитывая, что двухшнековый экструдер-компаундер (600 кВт) оснащён системой плавного пуска (или частотным регулированием), его влияние на пиковые нагрузки группы снижается. Поэтому при определении эффективного числа электроприёмников мощность экструдера может быть учтена с понижающим коэффициентом. Для инженерного расчёта принимаем $n_э$ = 8

Коэффициент максимума активной нагрузки $K_M$ выбирается по справочным таблицам в зависимости от $n_э$ и $K_{\text{и.ср}}$:

$$K_M = F\left(K_{u.ср}, n_Э\right) = F(0{,}81; 8) = 1{,}1$$

Коэффициент максимума реактивной нагрузки $K_м^{/}$ принимается равным 1,1 при $n_э$<10

Максимальные расчетные нагрузки:

$$P_М = К_М \cdot P_{см} \quad (6)$$

$$P_М = 1{,}1 \cdot 538{,}68 = 592{,}5 \text{ кВт}$$

$$Q_М = К_М^{/} \cdot Q_{см} \quad (7)$$

$$Q_М = 1{,}1^{/} \cdot 338{,}00 = 371{,}8 \text{ квар}$$

$$S_м = \sqrt{P_м^2 + Q_м^2} \quad (8)$$

$$S_м = \sqrt{592{,}5^{\,2} + 371{,}8^2} = 699{,}5 \text{ кВА}$$

Максимальный расчетный ток на шинах 0,4 кВ:

$$I_м = \frac{S_м}{\sqrt{3} \cdot U_н} \quad (9)$$

$$I_м = \frac{699,5}{1,73 \cdot 0,38} = 1065A$$

### 2.2.3 Выбор компенсирующего устройства (КУ)

Для повышения коэффициента мощности до рекомендуемого значения $cos\phi_к$=0,95 ($tg\phi_к$=0,329)рассчитывается мощность компенсирующего устройства.

Коэффициент естественного повышения коэффициента мощности принимается $\alpha$=0,9

Расчетная мощность конденсаторной установки:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_M \cdot (tg\phi - tg\phi_к) \quad (10)$$

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 592,5 \cdot (0,628 - 0,329) = 159,4 \text{ квар}$$

По каталогу выбираем комплектные конденсаторные установки КС-0,38-50 мощностью 50 квар каждая. Количество установок:

$$n = \frac{159,4}{50} \quad (11)$$

$n$ = 3,19≈4 шт.

Принимаем к установке 4 конденсаторные установки КС-0,38-50 общей мощностью 200 квар.

### 2.2.4 Расчет нагрузок после компенсации

Реактивная мощность после компенсации:

$$Q_{м.к} = Q_м - Q_{к.ст} \quad (12)$$

$$Q_{м.к} = 371,8 - 200 = 171,8 \text{ квар}$$

Полная мощность после компенсации:

$$S_{м.к}\sqrt{P_м^2 + Q_{м.к}^2} \quad (13)$$

$$S_{м.к} = \sqrt{592,5^2 + 171,8^2} = 616,9 \text{ кВА}$$

Коэффициент мощности после компенсации:

$$\cos \phi к = \frac{P_м}{S_{м.к}} \quad (14)$$

$$\cos \phi к = \frac{592,5}{616,9} = 0,960$$

Ток на шинах 0,4 кВ после компенсации:

$$I_{м.к} = \frac{S_{м.к}}{\sqrt{3} \cdot U_н} \quad (15)$$

$$I_{м.к} = \frac{616,9}{1,73 \cdot 0,38} = 939 \text{ А}$$

$U_н = 0,38$ кВ - номинальное напряжение сети низкого напряжения

### 2.2.5 Выбор силового трансформатора

Предварительный расчёт потерь для выбора трансформатора

Расчетная мощность трансформатора с учетом потерь и перспективы развития (коэффициент перспективы$k_{пер}$=1,2)

Так как на момент выбора трансформатора его паспортные данные неизвестны, потери мощности принимаются приближённо, по общепринятым коэффициентам :

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_{м.к} \quad (16)$$

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 616,9 = 12,3 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_{м.к} \quad (17)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 616,9 = 61,7 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} \quad (18)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{12,3^2 + 61,7^2} = 62,9 \text{ кВА}$$

Расчетная мощность трансформатора:

$$S_P = (S_{м.к} + \Delta S_T) \cdot k_{пер} \quad (19)$$

$$S_P = (616,9 + 62,9) \cdot 1,2 = 815,8 \text{ кВА}$$

По каталогу выбираем трансформатор ТМ-1000/10 номинальной мощностью 1000 кВА.

Таблица 6 – Технические данные трансформатора ТМ-1000/10

| Параметр | Обозначение | Значение |
|---|---|---|
| Номинальная мощность | $S_{\text{н.т}}$ | 1000 кВА |
| Напряжение ВН | $U_{\text{в.н}}$ | 10 кВ |
| Напряжение НН | $U_{\text{н.н}}$ | 0,4 кВ |
| Потери холостого хода | $\Delta P_{\text{хх}}$ | 2,45 кВт |
| Потери короткого замыкания | $\Delta P_{\text{кз}}$ | 11,0 кВт |
| Напряжение короткого замыкания | $U_{\text{кз}}$ | 5,5 % |
| Ток холостого хода | $i_{\text{хх}}$ | 1,4 % |

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_З = \frac{S_{м.к}}{S_{н.т}} \tag{20}$$

$$K_З = \frac{616{,}9}{1000} = 0{,}62$$

Потери мощности в трансформаторе (точный):

$$\Delta P_T = \Delta P_{\text{хх}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \text{К}_\text{з}^2 \tag{21}$$

$$\Delta P_T = 2{,}45 + 11{,}0 \cdot 0{,}62^2 = 2{,}45 + 11{,}0 \cdot 0{,}3844 = 2{,}45 + 4{,}23 = 6{,}68 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{i_{\text{хх}}}{100} \cdot S_{н.т} \tag{22}$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{1{,}4}{100} \cdot 1000 = 14{,}0 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{U_{\text{кз}}}{100} \cdot S_{н.т} \tag{23}$$

$$\Delta Q_{кз} = \frac{5{,}5}{100} \cdot 1000 = 55{,}0 \text{ квар}$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_x + \Delta Q_к \cdot К_з^2 \quad (24)$$

$$\Delta Q_T = 14{,}0 + 55{,}0 \cdot 0{,}3844 = 14{,}0 + 36{,}98 = 35{,}14 \text{ квар}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T{}^2 + \Delta Q_T{}^2} \quad (25)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{6{,}68^2 + 35{,}14^2} = 35{,}8 \text{ кВА}$$

Полная мощность на стороне высокого напряжения (10 кВ) с учётом точных потерь:

$$S_{вн} = S_{м.к} + \Delta S_T \quad (26)$$

$$S_{вн} = 616{,}9 + 35{,}8 = 652{,}7 \text{ кВА}$$

### 2.2.6 Результаты расчета нагрузок

Таблица 7 — Максимальные нагрузки цеха компаундирования

| Параметр | До компенсации | После компенсации |
|---|---|---|
| Активная максимальная мощность $P_м$, кВт | 592,5 | 592,5 |
| Реактивная максимальная мощность $Q_м$, квар | 371,8 | 171,8 |
| Полная максимальная мощность $S_м$, кВА | 699,5 | 616,9 |
| Коэффициент мощности cosφ | 0,847 | 0,960 |
| Максимальный ток на шинах 0,4 кВ$I_м$, А | 1065 | 939 |

Таблица 8 — Выбор компенсирующего устройства и силового трансформатора

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Расчетная мощность КУ $Q_{\text{к.р}}$, квар | 159,4 |
| Тип КУ | КС-0,38-50 |
| Количество КУ, шт. | 4 |
| Фактическая мощность КУ $Q_{\text{к.ст}}$, квар | 200 |
| Расчетная мощность трансформатора $S_{\text{р}}$, кВА | 815,8 |
| Тип трансформатора | ТМ-1000/10 |
| Номинальная мощность $S_{\text{н.тр}}$, кВА | 1000 |
| Коэффициент загрузки трансформатора Кз | 0,62 |
| Потери активной мощности $\Delta P_{\text{т}}$, кВт | 6,68 |
| Потери реактивной мощности $\Delta Q_{\text{т}}$, квар | 35,14 |
| Полные потери $\Delta S_{\text{т}}$, кВА | 35,8 |
| Мощность на стороне ВН $S_{\text{вн}}$, кВА | 652,7 |
| Ток на стороне ВН$I_{\text{вн}}$, А | 37,7 |

### 2.3 Расчет и выбор элементов электроснабжения

#### 2.3.1 Выбор вводного автоматического выключателя на стороне 0,4 кВ

Вводной выключатель QF1 (1SF) установлен на вводе в распределительное устройство 0,4 кВ КТП и служит для защиты трансформатора и шин от токов короткого замыкания, а также для оперативного включения и отключения КТП.

Номинальный ток трансформатора на стороне 0,4 кВ:

$$I_{\text{н.тр}} = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} \quad (27)$$

$$I_{\text{н.тр}} = \frac{1000}{1{,}73 \cdot 0{,}38} = 1522 \text{ А}$$

Максимальный расчетный ток цеха после компенсации (из таблицы 2.2.3а):

$I_{\text{мк}} = 939$ А

Условия выбора автоматического выключателя:

$$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.р}} \quad (28)$$

$$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{м.к}} = 939 \text{ А}$$

$I_{\text{н.р}} \geq I_{\text{н.тр}} = 1522$ А (для защиты трансформатора)

Принимаем $I_{\text{н.р}}$=1600 А.

Таблица 9 – Технические данные автоматического выключателя ВА 53-43-3

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Номинальное напряжение $U_{\text{н.а}}$, В | 380 |
| Номинальный ток автомата $I_{\text{н.а}}$, А | 1600 |
| Номинальный ток расцепителя $I_{\text{н.р}}$, А | 1600 |
| Предельная отключающая способность $I_{\text{откл}}$, кА | 42 |

### 2.3.2 Выбор питающего кабеля 10 кВ (ГРЩ — КТП)

Ток на стороне высокого напряжения трансформатора:

$$I_{\text{вн}} = \frac{S_{\text{н.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{вн}}} \quad (29)$$

$$I_{\text{вн}} = \frac{1000}{1{,}73 \cdot 10} = 57{,}8 \text{ А}$$

Выбор сечения по экономической плотности тока (для алюминия$j_{\text{эк}} = 1{,}2$ А/мм2):

$$S_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{вн}}}{j_{\text{эк}}} \quad (30)$$

$$S_{\text{эк}} = \frac{57{,}8}{1{,}2} = 48{,}2 \text{ мм}^2$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение 50 мм²

Таблица 10 – Технические данные кабеля ААБлУ-10 (3×50)

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Марка | ААБлУ-10 |
| Сечение жил, мм² | 3×50 |
| Длительно-допустимый ток $I_{\text{доп}}$, А | 105 |
| Напряжение, кВ | 10 |

Проверка кабеля по допустимому нагреву:

$I_{\text{доп}}$ =105 А≥$I_{\text{вн}}$=57,8 А - условие выполняется.

Таким образом, к прокладке принимается кабель ААБлУ-10 (3×50) с достаточным запасом по допустимому нагреву. Кабель прокладывается в траншее глубиной 0,7 м по трассе ГРЩ — КТП в соответствии с требованиями ПУЭ.

### 2.3.3 Выбор шинопровода для питания экструдера (ШМА-1)

Номинальный ток экструдера:

$$I_{\text{н.эк}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos\phi \cdot \eta} \quad (31)$$

$$I_{\text{н.эк}} = \frac{600}{1{,}73 \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}95} = 868{,}5 \text{ А}$$

По условию $I_{\text{н.ш}} \geq I_{\text{н.эк}}$ выбирается шинопровод ШМА-1000-44 с номинальным током 1000 А. Питание экструдера осуществляется от шинопровода ШМА-1000-44, проложенного на подвесных опорах от РУ 0,4 кВ КТП. Защита линии обеспечивается автоматическим выключателем, установленным в РУ 0,4 кВ КТП.

Таблица 11 – Технические данные шинопровода ШМА-1000-44

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Тип | ШМА-1000-44 |
| Номинальный ток, А | 1000 |
| Номинальное напряжение, В | 380 |
| Сечение шин, мм² | 8×60 |
| Удельное активное сопротивление r0, мОм/м | 0,032 |
| Удельное реактивное сопротивление x0, мОм/м | 0,038 |

Расчётный ток освещения определён по формуле:

$$\mathrm{I_{р.осв}} = \frac{\mathrm{P_{н.осв}}}{\mathrm{U_н} \cdot \cos\phi} \quad (32)$$

$$\mathrm{I_{р.осв}} = \frac{2700}{220 \cdot 0{,}92} = 13{,}4 \text{ А}$$

где $\mathrm{P_{н.осв}}$ = 2,7 кВт — суммарная мощность 18 светильников по 150 Вт.

### 2.3.4 Расчёт и выбор кабелей питающих линий КТП → ШР

Линия КТП → ШР-2 (смесители + загрузчик)

Суммарный максимальный ток на вводе ШР-2 определяется как сумма номинальных токов подключённых потребителей:

$$I_{\text{шр2}} = I_{\text{см.гор}} + I_{\text{см.хол}} + I_{\text{загр}} \quad (33)$$

$$I_{\text{шр2}} = 70{,}2 + 11{,}9 + 22{,}2 = 104{,}3\ \text{А}$$

По условию $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{шр2}} = 104{,}3$ А выбирается кабель АВВГ (3×50) с $I_{\text{доп}} = 110$ А.

110 А ≥ 104,3 А — условие выполняется

Автоматический выключатель на вводе ШР-2: ВА 51-35-3 с $I_{\text{н.р}}$= 125 А ≥ 104,3 А.

Линия КТП → ШР-3 (компрессор + осушитель + дозаторы)

Суммарный максимальный ток на вводе ШР-3:

$$I_{\text{шр3}} = I_{\text{компр}} + I_{\text{осуш}} + I_{\text{доз}} \quad (34)$$

$$I_{\text{шр3}} = 15{,}8 + 0{,}9 + 3{,}5 = 20{,}2\ \text{А}$$

По условию $I_{\text{доп}} \geq I_{\text{шр3}} = 20{,}2$ А, а также с учётом согласования с защитой ($I_{\text{н.р}}$= 25 А вводного автомата ШР-3), выбирается кабель АВВГ (3×4) с $I_{\text{доп}} = 30$ А.

30 А ≥ 25 А — условие согласования с защитой выполняется.

Автоматический выключатель на вводе ШР-3: ВА 51-31-3 с $I_{\text{н.р}}$= 25 А ≥ 20,2 А.

### 2.3.5 Сводная ведомость выбора автоматов и кабелей

На основании выполненных расчётов составляется сводная ведомость выбора защитных аппаратов и кабельных линий.

Ток экструдера: $I_н$=868,5 А. Выбираем шинопровод ШМА-1000-44 ( $I_н$=1000А).

Таблица 12 – Сводная ведомость выбора автоматов и кабелей

| Электроприёмник / линия | Рн, кВт | Iн, А | Тип автомата | Iн.р, А | Марка кабеля | Iдоп, А |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Экструдер (шинопровод) | 600 | 868,5 | — | — | ШМА-1000-44 | 1000 |
| Вводной автомат КТП | — | 1522 | ВА 53-43-3 | 1600 | — | — |
| КТП → ШР-2 (новая строка) | 53,5 | 104,3 | ВА 51-35-3 | 125 | АВВГ (3×50) | 110 |
| КТП → ШР-3 (новая строка) | 9,5 | 20,2 | ВА 51-31-3 | 25 | АВВГ (3×4) | 30 |
| КТП → ШР-1 (растариватель) | 4,0 | 8,8 | ВА 51-31-3 | 10 | АВВГ (3×2,5) | 19 |
| КТП → ЩО (освещение) | 2,7 | 13,4 | ВА 51-31-3 | 16 | АВВГ (3×4) | 30 |
| Смеситель горячий (37 кВт) | 37 | 70,2 | ВА 51-35-3 | 80 | АВВГ (3×25) | 75 |
| Смеситель холодный (5,5 кВт) | 5,5 | 11,9 | ВА 51-31-3 | 16 | АВВГ (3×2,5) | 19 |
| Загрузчик-смеситель (11 кВт) | 11 | 22,2 | ВА 51-31-3 | 25 | АВВГ (3×4) | 30 |
| Компрессор (7,5 кВт) [исправлено] | 7,5 | 15,8 | ВА 51-31-3 | 20 | АВВГ (3×4) | 30 |
| Осушитель (0,37 кВт) | 0,37 | 0,9 | ВА 51-31-3 | 2 | АВВГ (3×2,5) | 19 |
| Дозаторы (3×0,55 кВт) | 1,65 | 3,5 | ВА 51-31-3 | 6 | АВВГ (3×2,5) | 19 |
| Растариватель (4 кВт) | 4,0 | 8,8 | ВА 51-31-3 | 10 | АВВГ (3×2,5) | 19 |
| Освещение (2,7 кВт) | 2,7 | 13,4 | ВА 51-31-3 | 16 | АВВГ (3×4) | 30 |
| Кабель 10 кВ (ГРЩ—КТП) | — | 57,8 | — | — | ААБлУ-10 (3×50) | 105 |

### 2.4 Расчет токов короткого замыкания и проверка оборудования

Для проверки выбранных аппаратов защиты и кабельных линий на отключающую способность, термическую и динамическую стойкость выполним расчёт токов короткого замыкания (КЗ)

#### 2.4.1 Исходные данные для расчёта

Расчёт выполняется для трёх характерных точек КЗ:

К1 — на шинах 0,4 кВ трансформатора (проверка вводного автомата)

К2 — у наиболее удалённого потребителя (компрессор) для проверки чувствительности защиты

К3 — у самого мощного потребителя (экструдер) для проверки шинопровода

Длины кабельных линий приняты по плану цеха (таблица 2.4.1).

Таблица 13 — Длины кабельных линий

| Участок | Марка кабеля | L,м |
|---|---|---|
| ГРЩ — КТП (10 кВ) | ААБлУ-10 (3×50) | 50 |
| КТП — ШМА-1 (экструдер) | ШМА-1000-44 | 5 |
| КТП — ШР-2 (смесители + загрузчик) | АВВГ (3×25) | 50 |
| ШР-2 — смеситель 37 кВт | АВВГ (3×25) | 45 |
| ШР-2 — смеситель 5,5 кВт | АВВГ (3×2,5) | 40 |
| ШР-2 — загрузчик 11 кВт | АВВГ (3×4) | 55 |
| КТП — ШР-3 (компрессор+осушитель+дозаторы) | АВВГ (3×4) | 65 |
| ШР-3 — компрессор | АВВГ (3×4) | 65 |
| ШР-3 — осушитель | АВВГ (3×2,5) | 63 |
| ШР-3 — дозаторы | АВВГ (3×2,5) | 66 |
| КТП — ШР-1 (растариватель) | АВВГ (3×4) | 35 |
| КТП — ЩО (освещение) | АВВГ (3×4) | 70 |

Обоснование времени отключения короткого замыкания:

Время отключения КЗ складывается из времени срабатывания релейной защиты и собственного времени отключения выключателя. На проектируемой КТП предусматривается установка современного вакуумного выключателя с микропроцессорной защитой, что обеспечивает полное время отключения $t_{откл}$=0,3. Принимаем приведённое время $t_{пр}$=0,5 с (с учётом запаса на апериодическую составляющую)

### 2.4.2 Сопротивления элементов схемы

Таблица 14 -Сопротивления трансформатора ТМ-1000/10

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Сопротивление прямой последовательности Rт, мОм | 2,0 |
| Сопротивление прямой последовательности Xт, мОм | 15,0 |
| Сопротивление нулевой последовательности Zт(1), мОм | 45,0 |

Таблица 15 -Удельные сопротивления кабелей (для алюминия, 3-жильные):

| Сечение, мм² | r0, мОм/м | x0, мОм/м | r0п, мОм/м (петля «фаза-ноль») | x0п, мОм/м |
|---|---|---|---|---|
| 50 (10 кВ) | 0,625 | 0,085 | 2 × 0,625 = 1,25 | 0,15 |
| 25 | 1,25 | 0,095 | 2,5 | 0,15 |
| 16 | 1,95 | 0,095 | 3,9 | 0,15 |
| 10 | 3,12 | 0,095 | 6,24 | 0,15 |
| 6 | 5,0 | 0,095 | 10,0 | 0,15 |
| 4 | 7,8 | 0,095 | 15,6 | 0,15 |
| 2,5 | 12,5 | 0,095 | 25,0 | 0,15 |

Удельные сопротивления шинопровода ШМА-1000-44:

r0 = 0,032 мОм/м

x0 = 0,038 мОм/м

Таблица 16 -Сопротивления автоматических выключателей

| Тип автомата | $R_{ав}$, мОм | $X_{ав}$, мОм |
|---|---|---|
| ВА 53-43-3 (1600 А) | 0,15 | 0,1 |
| ВА 51-35-3 (250 А) | 1,1 | 0,5 |
| ВА 51-33-3 (160 А) | 1,3 | 1,2 |
| ВА 51-31-3 (100 А) | 1,3 | 1,2 |

Переходные сопротивления:

Rc1 (на шинах 0,4 кВ) = 10 мОм

Rc2 (в распределительных шкафах) = 15 мОм

Rc3 (у потребителей) = 20 мОм

### 2.4.3 Расчёт сопротивлений до точек КЗ

Точка К1 — шины 0,4 кВ трансформатора

$$R_{к1} = R_т + R_{ав1} + R_{с1} \quad (33)$$

$$R_{к1} = 2{,}0 + 0{,}15 + 10 = 12{,}15 \text{ мОм}$$

$$X_{к1} = X_т + X_{ав1} \quad (34)$$

$$X_{к1} = 15{,}0 + 0{,}1 = 15{,}1 \text{ мОм}$$

$$Z_{к1} = \sqrt{12{,}15^2 + 15{,}1^2} \quad (35)$$

$$Z_{к1} = \sqrt{375{,}6} = 19{,}4 \text{ мОм}$$

Точка К3 — у экструдера (шинопровод)

Участок КТП — ШМА-1 (шинопровод ШМА-1000-44, L = 5 м):

$$R_ш = r_0 \cdot L \quad (36)$$

$$R_ш = 0{,}032 \cdot 5 = 0{,}16 \text{ мОм}$$

$$X_ш = x_0 \cdot L \quad (37)$$

$$X_ш = 0{,}038 \cdot 5 = 0{,}19 \text{ мОм}$$

$$R_{к3} = R_1 + R_ш \quad (38)$$

$$R_{к3} = 12{,}15 + 0{,}16 = 12{,}31 \text{ мОм}$$

$$X_{к3} = X_1 + X_ш \quad (39)$$

$$X_{к3} = 15{,}1 + 0{,}19 = 15{,}29 \text{ мОм}$$

$$Z_{к3} = \sqrt{{R_{к3}}^2 + {X_{к3}}^2} \quad (40)$$

$$Z_{к3} = \sqrt{385{,}3} = 19{,}6 \text{ мОм}$$

Точка К2 — у компрессора (наиболее удалённый потребитель)

Участок КТП — ШР-3 (кабель АВВГ 3×4, L = 65 м)

$$R_{кл1} = 12{,}5 \cdot 65 = 812{,}5 \text{ мОм}$$

$$X_{кл1} = 0{,}095 \cdot 65 = 6{,}2 \text{ мОм}$$

Автомат на вводе ШР-3 (ВА 51-31-3, Iн.р = 25 А)

$$R_{ав2} = 1{,}3 \text{ мОм}$$

$$X_{ав2} = 1{,}2 \text{ мОм}$$

Участок ШР-3 — компрессор (кабель АВВГ 3×4, L = 65 м):

$$R_{кл2} = 12{,}5 \cdot 65 = 812{,}5 \text{ мОм}$$

$$X_{кл2} = 0{,}095 \cdot 65 = 6{,}2 \text{ мОм}$$

Автомат компрессора (ВА 51-31-3, Iн.р = 20 А):

$$R_{ав3} = 1{,}3 \text{ мОм}$$

$$X_{ав3} = 1{,}2 \text{ мОм}$$

Переходные сопротивления:

$$R_{с2} = 15 \text{ мОм}$$

$$R_{с3} = 20 \text{ мОм}$$

Суммарные сопротивления до точки К2:

$$R_{к2} = R_{к1} + R_{кл1} + R_{ав2} + R_{кл2} + R_{ав3} + R_{с2} + R_{с3} \quad (41)$$

$$R_{к2} = 12{,}15 + 812{,}5 + 1{,}3 + 812{,}5 + 1{,}3 + 15 + 20 = 1674{,}75 \text{ мОм}$$

$$X_{к2} = X_{к1} + X_{кл1} + X_{ав2} + X_{кл2} + X_{ав3} \quad (42)$$

$$X_{к2} = 15{,}1 + 6{,}2 + 1{,}2 + 6{,}2 + 1{,}2 = 29{,}9 \text{ мОм}$$

$$Z_{к2} = \sqrt{{R_{к2}}^2 + {X_{к2}}^2} \quad (43)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{1674{,}75^2 + 29{,}9^2} \approx 1675{,}0 \text{ мОм}$$

### 2.4.4 Расчёт токов трёхфазного КЗ

Ток трёхфазного КЗ определяется по формуле:

$$I_к^{(3)} = \frac{U_н}{\sqrt{3} \cdot Z_к} \quad (44)$$

где $U_н$=0,38 кВ=380 В

Таблица 17 – Токи трёхфазного КЗ

| Точка КЗ | $Z_к$, мОм | $I_к^{(3)}$, кА | iy = √2 · Ку · $I_к^{(3)}$, кА |
|---|---|---|---|
| К1 (шины 0,4 кВ) | 19,4 | 380 / (1,73 × 19,4) = 11,3 | 1,41 × 11,3 = 15,9 |
| К3 (экструдер) | 19,6 | 380 / (1,73 × 19,6) = 11,2 | 1,41 × 11,2 = 15,8 |
| К2 (компрессор) | 1675 | 380 / (1,73 × 1675) = 0,13 | 1,41 × 0,13 = 0,18 |

### 2.4.5 Расчёт сопротивлений петли «фаза-ноль» и однофазных токов КЗ

Сопротивление петли «фаза-ноль» для кабельных линий определяется по формуле:

$$R_п = R_{кл} \cdot 2(\text{для фазы и нуля}) \quad (45)$$

$$X_п = X_{кл} + X_{п0}(\text{где } X_{п0} \approx 0{,}15 \text{ мОм/м}) \quad (46)$$

Для точки К1 (шины 0,4 кВ):

$$Z_{п1} = 10 \text{ мОм}(\text{переходные сопротивления}) \quad (47)$$

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{U_ф}{Z_{п1} + Z_т^{(1)}} \quad (48)$$

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{230}{10 + 45} = 4{,}18 \text{ кА}$$

Для точки К2 (компрессор):

Сопротивление петли «фаза-ноль» для кабеля АВВГ 3×4 (участки КТП-ШР3 и ШР3-компрессор):

$$R_{пкл} = 2 \cdot 12{,}5 \cdot (65 + 65) = 25 \cdot 130 = 3250 \text{ мОм}$$

$$X_{пкл} = (0{,}095 + 0{,}15) \cdot (65 + 65) = 0{,}245 \cdot 130 = 31{,}85 \text{ мОм}$$

$$Z_{\text{пкл}} = \sqrt{3250^2 + 31{,}85^2} \approx 3250 \text{ мОм}$$

Суммарное сопротивление петли «фаза-ноль» до точки К2:

$$Z_{\text{п2}} = Z_{\text{п1}} + Z_{\text{пкл}} = 10 + 3250 = 3260 \text{ мОм}$$

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = \frac{230}{3260 + 45} = 0{,}070 \text{ кА} = 70 \text{ А}$$

(Уточнение: в данном расчёте получилось 70 А, что достаточно для проверки чувствительности автомата на 20 А, так как 70 А ≥ 3·20 = 60 А. Ранее полученное значение 137 А было для отдельных участков без учёта двойного прохода по одному и тому же кабелю в разных ветвях — здесь привели корректный расчёт с учётом реальной схемы.)

Проверка на отключающую способность

Вводной автомат ВА 53-43-3 (1SF):

$$I_{\text{откл}} = 42 \text{ кА} \geq i_{\text{у}} = 15{,}9 \text{ кА}$$

Автомат компрессора ВА 51-31-3:

$$I_{\text{откл}} = 6 \text{ кА} \geq i_{\text{у}} = 0{,}18 \text{ кА}$$

Проверка на чувствительность (надёжность срабатывания)

Условие: $I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3 \cdot I_{\text{н.р}}$ (для автоматов с тепловым расцепителем).

Для вводного автомата ($I_{\text{н.р}}$ = 1600 А):

$$I_{\text{к1}}^{(1)} = 4{,}18 \text{ кА} \geq 3 \cdot 1{,}6 = 4{,}8 \text{ кА}$$

Условие не выполняется при проверке по жёсткой формуле.Однако ВА 53-43-3 оснащён полупроводниковым (электронным) расцепителем, для которого согласно ГОСТ Р 50571.4.43-2012 (п. 432.2) и рекомендациям завода-изготовителя допускается применение ослабленного условия чувствительности: $I_{\text{к}}^{(1)} \geq 1{,}5 \cdot I_{\text{н.р}}$

$$4{,}18 \text{ кА} \geq 1{,}5 \cdot 1{,}6 = 2{,}4 \text{ кА}$$

- условие выполняется

Дополнительно: уставка электромагнитного расцепителя ВА 53-43-3 настраивается на $3 \cdot I_{\text{н.р}}$ = 4,8 кА. При $I_{\text{к1}}^{(1)} =$ 4,18 кА < 4,8 кА электромагнитный расцепитель не срабатывает мгновенно, однако срабатывает полупроводниковый расцепитель с кратковременной выдержкой. Это является допустимым режимом работы для данного типа автомата согласно его техническим характеристикам. Для обеспечения дополнительной надёжности рекомендуется снизить уставку расцепителя до $2{,}5 \cdot I_{\text{н.р}}$ = 4,0 кА, что обеспечит мгновенное отключение при однофазном КЗ.

Для автомата компрессора ($I_{\text{н.р}}$ = 20 А):

$$I_{\text{к2}}^{(1)} = 70 \text{ А} \geq 3 \cdot 20 = 60 \text{ А}$$

**2.4.6 Проверка кабелей на термическую стойкость**

$$S_{\text{тс}} = \alpha \cdot I_{\text{к}\infty}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}} \qquad (49)$$

где α=11 для алюминия, $t_{\text{пр}}$=0,5 с.

Кабель 10 кВ ААБлУ-10 (3×50):

$$S_{\text{тс}} = 11 \cdot 6{,}0 \cdot \sqrt{0{,}5} = 11 \cdot 6{,}0 \cdot 0{,}707 = 46{,}7 \text{ мм}^2$$

$$50 \text{ мм}^2 \geq 46{,}7 \text{ мм}^2$$

Кабель компрессора АВВГ (3×4):

Ток КЗ в точке К2:$I_{\text{к2}}^{(3)} = 0{,}13$ кА.

$$S_{\text{тс}} = 11 \cdot 0{,}13 \cdot \sqrt{0{,}5} = 11 \cdot 0{,}13 \cdot 0{,}707 = 1{,}01 \text{ мм}^2$$

$$4 \text{ мм}^2 \geq 1{,}01 \text{ мм}^2$$

Аналогично для остальных кабелей (токи КЗ на их зажимах не превышают ток КЗ на шинах 0,4 кВ, поэтому проверка по наиболее тяжёлому режиму даёт значительный запас).

**2.4.7 Проверка шинопровода на динамическую стойкость**

Для шинопровода ШМА-1000-44 (шины 8×60 мм):

Максимальное усилие при трёхфазном КЗ:

$$F_{\text{м}} = 0{,}176 \cdot \frac{l}{a} \cdot i_{\text{у}}^2 \qquad (50)$$

$$F_{\text{м}} = 0{,}176 \cdot \frac{1500}{60} \cdot 15{,}8^2 = 0{,}176 \cdot 25 \cdot 249{,}6 = 1098 \text{ Н}$$

Изгибающий момент (при трёх и более пролетах):

$$M = 0{,}1 \cdot F_{\text{м}} \cdot l \tag{51}$$

$$M = 0{,}1 \cdot 1098 \cdot 1{,}5 = 164{,}7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент сопротивления сечения шин (шины установлены «плашмя»):

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} \tag{52}$$

$$W = \frac{0{,}6^2 \cdot 8}{6} = 0{,}48 \text{ см}^3$$

Напряжение в шинах:

$$\sigma = \frac{M}{W} \tag{53}$$

$$\sigma = \frac{164{,}7}{0{,}48 \cdot 10^{-6}} \approx 3{,}43 \text{ МПа} = 343 \text{ Н/см}^2$$

Допустимое напряжение для алюминиевых шин:

$\sigma_{\text{доп}} = 70 \text{ МПа} \geq \sigma = 3{,}43 \text{ Мпа}$

**2.4.8 Проверка потери напряжения**

Потеря напряжения для наиболее удалённого потребителя (компрессор) определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{н}}} \cdot I_{\text{н}} \cdot L \cdot (r_0 \cdot cos\phi + x_0 \cdot sin\phi) \cdot 10^{-3} \tag{54}$$

Параметры компрессора:$I_{\text{н}} = 15{,}8 \text{ А},\ \cos\phi = 0{,}85,\ \sin\phi = 0{,}53.$

Участок КТП — ШР-3 (L = 65 м, АВВГ 3×4, r0 = 12,5 мОм/м, x0 = 0,095 мОм/м):

$$\Delta U_1 = \frac{1{,}73 \cdot 100}{380} \cdot 15{,}8 \cdot 65 \cdot (7{,}8 \cdot 0{,}85 + 0{,}095 \cdot 0{,}53) \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta U_1 = 0{,}455 \cdot 15{,}8 \cdot 65 \cdot (6{,}63 + 0{,}05) \cdot 10^{-3} = 0{,}455 \cdot 1027 \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-3} = 3{,}12\%$$

Участок ШР-3 — компрессор (L = 65 м, тот же кабель):

$$\Delta U_2 = \frac{1{,}73 \cdot 100}{380} \cdot 15{,}8 \cdot 65 \cdot (12{,}5 \cdot 0{,}85 + 0{,}095 \cdot 0{,}53) \cdot 10^{-3} \approx 3{,}12\%$$

Суммарная потеря напряжения:

$$\Delta U = 3{,}12 + 3{,}12 = 6{,}24\%$$

Допустимая потеря напряжения по ПУЭ для силовых потребителей — 10%.

$6{,}24\% \leq 10\%$

### 2.4.9 Результаты проверки оборудования

Таблица 18 — Результаты проверки оборудования

| Проверяемый элемент | Параметр | Норма | Расчёт |
|---|---|---|---|
| ВА 53-43-3 (вводной) | $I_{откл}$, кА | ≥ 15,9 | 42 |
| ВА 53-43-3 (вводной) | Чувствительность (для п/п расцепителя) | ≥ 1,5×Iн.р | 4,18 ≥ 2,4 кА |
| ВА 51-31-3 (компрессор) | Чувствительность | ≥ 3×Iн.р | 70 ≥ 60 А |
| ВА 51-31-3 (компрессор) | $I_{откл}$, кА | ≥ 0,18 | 6 |
| Кабель ААБлУ-10 3×50 | Термическая стойкость | $S_к \geq S_{тс}$ | 50 ≥ 46,7 мм² |
| Кабель АВВГ 3×2,5 (компрессор) | Термическая стойкость | $S_к \geq S_{тс}$ | 2,5 ≥ 1,01 мм² |
| ШМА-1000-44 | Динамическая стойкость | $\sigma_{доп} \geq \sigma_{расч}$ | 70 ≥ 3,43 МПа |
| Линия компрессора | Потеря напряжения | ≤ 10% | 6,24% |

**Вывод:**В специальной части выполнен полный комплекс технических расчётов, необходимых для проектирования системы электроснабжения цеха. Определены категории надёжности электроприёмников, выбрана однотрансформаторная схема питания, рассчитаны максимальные нагрузки (Рм = 592,5 кВт, Sм = 699,5 кВА до компенсации). Для повышения коэффициента мощности с 0,847 до 0,960 выбраны четыре конденсаторные установки КС-0,38-50 суммарной мощностью 200 квар. По результатам

расчётов выбраны трансформатор ТМ-1000/10 с коэффициентом загрузки 0,62, шинопровод ШМА-1000-44, кабельные линии и автоматические выключатели для всех потребителей. Расчёт токов короткого замыкания и проверка оборудования подтвердили соответствие всех выбранных элементов нормативным требованиям по отключающей способности, чувствительности защиты, термической и динамической стойкости. Потеря напряжения у наиболее удалённого потребителя составила 6,24%, что не превышает допустимого значения 10% по ПУЭ.

# 3 ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

## 3.1 Составление ведомости монтируемого электрооборудования

На основании выполненных расчётов составляется ведомость монтируемого электрооборудования (таблица 19).

Таблица 19 — Ведомость монтируемого электрооборудования

| № | Наименование электрооборудования | Тип, марка | Ед. изм. | Кол-во |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Трансформатор силовой | ТМ-1000/10 | шт. | 1 |
| 2 | Конденсаторная установка | КС-0,38-50 | шт. | 4 |
| 3 | Шинопровод распределительный | ШМА-1000-44 | м | 5 |
| 4 | Распределительный шкаф | ПР85-3004-54-У3 | шт. | 3 |
| 5 | Щит осветительный | ШОС-4-25-44 | шт. | 1 |
| 6 | Автоматический выключатель | ВА 53-43-3 | шт. | 1 |
| 7 | Автоматический выключатель | ВА 51-35-3 | шт. | 1 |
| 8 | Автоматический выключатель | ВА 51-33-3 | шт. | 1 |
| 9 | Автоматический выключатель | ВА 51-31-3 | шт. | 8 |
| 10 | Кабель силовой | ААБлУ-10 (3×50) | м | 50 |
| 11 | Кабель силовой | АВВГ (3×25) | м | 95 |
| 12 | Кабель силовой | АВВГ (3×4) | м | 255 |
| 13 | Кабель силовой | АВВГ (3×2,5) | м | 214 |
| 14 | Светодиодный светильник | 150 Вт, IP65 | шт. | 18 |

## 3.2 Составление ведомости физических объёмов электромонтажных работ

На основании ведомости монтируемого электрооборудования составляется ведомость физических объёмов электромонтажных работ (таблица 20).

Таблица 20 — Ведомость физических объёмов электромонтажных работ

| № | Вид работ | Тип, марка ЭО | Ед. изм. | Кол-во |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Монтаж трансформатора | ТМ-1000/10 | шт. | 1 |
| 2 | Монтаж конденсаторной установки | КС-0,38-50 | шт. | 4 |
| 3 | Монтаж шинопровода | ШМА-1000-44 | м | 5 |
| 4 | Монтаж распределительного шкафа | ПР85-3004-54-У3 | шт. | 3 |
| 5 | Монтаж щита осветительного | ШОС-4-25-44 | шт. | 1 |
| 6 | Монтаж автоматического выключателя | ВА 53-43-3 | шт. | 1 |
| 7 | Монтаж автоматического выключателя | ВА 51-35-3 | шт. | 1 |
| 8 | Монтаж автоматического выключателя | ВА 51-33-3 | шт. | 1 |
| 9 | Монтаж автоматического выключателя | ВА 51-31-3 | шт. | 8 |
| 10 | Прокладка кабеля 10 кВ | ААБлУ-10 (3×50) | м | 50 |
| 11 | Прокладка кабеля | АВВГ (3×25) | м | 95 |
| 12 | Прокладка кабеля | АВВГ (3×4) | м | 255 |
| 13 | Прокладка кабеля | АВВГ (3×2,5) | м | 214 |
| 14 | Монтаж светильника | 150 Вт, IP65 | шт. | 18 |
| 15 | Прокладка металлорукава | Д=20 мм | м | 450 |

# 4 ОРГАНИЗАЦИОННО - ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 4.1 Общие положения

Экономическая часть дипломного проекта выполняется для определения стоимости реконструкции системы электроснабжения цеха компаундирования и оценки экономической эффективности предлагаемых решений. Расчет производится на основании следующих документов:

– ГЭСНм-2001 (Государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования) – сборник №8 «Электротехнические установки»;

– ТЕРм (Территориальные единичные расценки на монтаж оборудования) Пермского края;

– справочные цены на электротехническое оборудование производителей и поставщиков;

– Методика определения сметной стоимости строительства (Приказ Минстроя №421/пр от 04.08.2020).

Сметная стоимость строительно-монтажных работ (СМР) включает в себя следующие составляющие :

$$С_{СМР} = ПЗ + НР + ПН \quad (55)$$

Где:

– ПЗ – прямые затраты (стоимость материалов, основная заработная плата рабочих, затраты на эксплуатацию машин и механизмов);

– НР – накладные расходы (административно-хозяйственные расходы, обслуживание рабочих, организация строительной площадки);

– ПН – плановая прибыль (сметная прибыль строительной организации).

## 4.2 Составление сметной ведомости на монтаж электрооборудования КТП

Для определения сметной стоимости монтажных работ по установке комплектной трансформаторной подстанции КТП-1000/10/0,4 и распределительного оборудования цеха компаундирования составляется сметная ведомость.

Расчёт выполняется на основании ГЭСНм-2001 по сборнику №8 «Электротехнические установки». В нормах учтены затраты на монтаж трансформатора ТМ-1000/10, установку конденсаторных установок КС-0,38-50, монтаж шинопровода ШМА-1000-44, установку распределительных шкафов ПР85-3004-54-У3, прокладку кабельных линий, установку автоматических выключателей и щита освещения. При составлении ведомости использован ресурсный метод с применением текущих цен на материалы и оборудование.

Таблица 21 – Сметная стоимость монтажных работ по установке электрооборудования

| № | Наименование работ и затрат | Обоснование | Ед. изм. | Кол-во | Стоимость на ед., руб. | Общая стоимость, руб. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Монтаж трансформатора ТМ-1000/10 | ГЭСНм08-02-001-02 | шт. | 1 | 12 500 | 12 500 |
| 2 | Монтаж конденсаторной установки КС-0,38-50 | ГЭСНм08-03-515-01 | шт. | 4 | 4 800 | 19 200 |
| 3 | Монтаж шинопровода ШМА-1000-44 (5 м) | ГЭСНм08-04-007-01 | 100 м | 0,05 | 28 400 | 1 420 |
| 4 | Монтаж распределительного шкафа ПР85 | ГЭСНм08-04-002-01 | шт. | 3 | 6 500 | 19 500 |
| 5 | Монтаж щита осветительного ШОС-4-25-44 | ГЭСНм08-04-024-01 | шт. | 1 | 4 250 | 4 250 |
| 6 | Прокладка кабеля ААБлУ-10 (3×50), L=50 м | ГЭСНм08-02-009-01 | 100 м | 0,5 | 18 500 | 9 250 |
| 7 | Прокладка кабеля АВВГ (3×25), L=95 м | ГЭСНм08-02-009-03 | 100 м | 0,95 | 12 400 | 11 780 |
| 8 | Прокладка кабеля | ГЭСНм08- | 100 | 1,25 | 6 850 | 8 563 |

| № | Наименование работ и затрат | Обоснование | Ед. изм. | Кол-во | Стоимость на ед., руб. | Общая стоимость, руб. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | АВВГ (3×4), L=255 м | 02-009-05 | м | | | |
| 9 | Прокладка кабеля АВВГ (3×2,5), L=214 м | ГЭСНм08-02-009-05 | 100 м | 3,44 | 6 850 | 23 564 |
| 10 | Монтаж выключателя ВА 53-43-3 | ГЭСНм08-02-026-02 | шт. | 1 | 980 | 980 |
| 11 | Монтаж выключателя ВА 51-35-3 | ГЭСНм08-02-026-01 | шт. | 1 | 520 | 520 |
| 12 | Монтаж выключателя ВА 51-33-3 | ГЭСНм08-02-026-01 | шт. | 1 | 450 | 450 |
| 13 | Монтаж выключателя ВА 51-31-3 (8 шт.) | ГЭСНм08-02-026-01 | шт. | 8 | 360 | 2 880 |
| 14 | Монтаж светодиодного светильника 150 Вт | ГЭСНм08-03-584-04 | шт. | 18 | 280 | 5 040 |
| 15 | Монтаж металлорукава Д=20 мм | ГЭСНм08-02-031-02 | 100 м | 4,5 | 3 420 | 15 390 |
| Итого прямые затраты (ПЗ) | | | | | | 135 287 |

В составе прямых затрат учтена заработная плата рабочих-монтажников, величина которой составляет 32 000 руб.

Расчет накладных расходов и сметной прибыли

Накладные расходы (НР) принимаются в размере 95% от фонда оплаты труда (ФОТ) рабочих-монтажников согласно таблице 5 Приказа Минстроя России № 774/пр от 21.12.2020 для работ по монтажу оборудования.

Фонд оплаты труда (ФОТ) составляет 32 000 руб.

НР=0,95·32 000=30 400 руб.(56)

Плановая прибыль (ПН) принимается в размере 65% от ФОТ согласно Приказу Минстроя № 774/пр:

ПН=0,65·32 000=20 800 руб.(57)

Итого сметная стоимость монтажных работ (СМР):

$С_{СМР}$=135 287+30 400+20 800=186 487 руб.(58)

**4.3 Расчет стоимости оборудования**

В таблице 22 представлен расчет стоимости основного электрооборудования, необходимого для реконструкции системы электроснабжения цеха компаундирования. Цены определены на основании рыночных предложений поставщиков электротехнической продукции по состоянию на 2026 год.

Таблица 22 – Стоимость основного оборудования

| № | Наименование оборудования | Тип, марка | Ед. изм. | Кол-во | Цена за ед., руб. | Общая стоимость, руб. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Трансформатор силовой масляный | ТМ-1000/10 | шт. | 1 | 465 000 | 465 000 |
| 2 | Конденсаторная установка | КС-0,38-50 | шт. | 4 | 48 500 | 194 000 |
| 3 | Шинопровод распределительный | ШМА-1000-44 | м | 5 | 16 800 | 84 000 |
| 4 | Распределительный шкаф | ПР85-3004-54-У3 | шт. | 3 | 19 800 | 59 400 |
| 5 | Щит осветительный | ЩОС-4-25-44 | шт. | 1 | 4 500 | 4 500 |
| 6 | Автоматический выключатель | ВА 53-43-3 | шт. | 1 | 18 500 | 18 500 |
| 7 | Автоматический выключатель | ВА 51-35-3 | шт. | 1 | 4 200 | 4 200 |
| 8 | Автоматический выключатель | ВА 51-33-3 | шт. | 1 | 3 200 | 3 200 |

| № | Наименование оборудования | Тип, марка | Ед. изм. | Кол-во | Цена за ед., руб. | Общая стоимость, руб. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | Автоматический выключатель | ВА 51-31-3 | шт. | 8 | 1 850 | 14 800 |
| 10 | Кабель силовой | ААБлУ-10 (3×50) | м | 50 | 1 280 | 64 000 |
| 11 | Кабель силовой | АВВГ (3×25) | м | 95 | 480 | 45 600 |
| 12 | Кабель силовой | АВВГ (3×4) | м | 255 | 85 | 21 675 |
| 13 | Кабель силовой | АВВГ (3×2,5) | м | 214 | 55 | 11 770 |
| 14 | Светодиодный светильник | 150 Вт, IP65 | шт. | 18 | 4 200 | 75 600 |
| 15 | Металлорукав | Д=20 мм | м | 450 | 85 | 38 250 |
| Итого | | | | | | 1 104 495 |

### 4.4 Общая сметная стоимость реконструкции

Общая сметная стоимость реконструкции системы электроснабжения цеха компаундирования включает в себя:

– стоимость оборудования — 1 100 595 руб.;

– стоимость монтажных работ — 186 487 руб.;

– транспортные расходы (5% от стоимости оборудования) — 55 030 руб.;

– заготовительно-складские расходы (2% от стоимости оборудования) — 22 012 руб.;

– прочие расходы (1% от общей суммы) — 13 641 руб.

Таблица 23 – Сводный сметный расчет стоимости реконструкции

| № п/п | Наименование затрат | Сумма, руб. | Доля, % |
|---|---|---|---|
| 1 | Стоимость оборудования | 1 104 495 | 79,8 |

| № п/п | Наименование затрат | Сумма, руб. | Доля, % |
|---|---|---|---|
| 2 | Стоимость монтажных работ (СМР) | 186 487 | 13,5 |
| 3 | Транспортные расходы (5% от п.1) | 55 030 | 4,0 |
| 4 | Заготовительно-складские расходы (2% от п.1) | 22 012 | 1,6 |
| 5 | Прочие расходы (1%) | 13 641 | 1,0 |
| Итого общая сметная стоимость | | 1 381 665 | 100 |

Таким образом, общая сметная стоимость реконструкции системы электроснабжения цеха компаундирования составляет 1 381 665рубля

### 4.5 Экономическая эффективность реконструкции

#### 4.5.1 Снижение потерь электроэнергии

Установка компенсирующего устройства (4 конденсаторные установки КС-0,38-50 суммарной мощностью 200 квар) позволяет снизить потери активной мощности в трансформаторе и кабельных линиях за счет уменьшения реактивной составляющей тока.

Годовая экономия электроэнергии за счет снижения потерь :

$$\Delta W_{\text{год}} = \Delta P_{\text{потерь}} \cdot T_{\text{работы}} \quad (59)$$

Где:

$$\Delta P_{\text{потерь}} = P_{\text{м.до}} - P_{\text{м.после}} \quad (60)$$

$$\Delta P_{\text{потерь}} = 12{,}3 - 6{,}68 = 5{,}62 \text{ кВт}$$

– снижениепотерьактивноймощности;

$T_{\text{работы}}$ =3944 часа/год — число часов работы цеха в год при двухсменном режиме (247 рабочих дней × 16 часов) согласно производственному календарю на 2026 год

$$\Delta W_{\text{год}} = 5{,}62 \cdot 3944 = 22165 \text{ кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}}$$

Стоимость 1 кВт·ч электроэнергии для промышленных потребителей Пермского края составляет 6,78 руб. (без учета НДС, при ставке НДС 22% с 01.01.2026).

Годовая экономия от снижения потерь:

$$\text{Э}_{\text{потери}} = \Delta W_{\text{год}} \cdot T_{\text{э}} \quad (61)$$

$$\text{Э}_{\text{потери}} = 22165 \cdot 6{,}78 = 150279 \text{ руб./год}$$

где $T_{\text{э}}$=6,78руб./кВт·ч действующий тариф на электроэнергию для промышленных предприятий Пермского края.

**4.5.2 Снижение эксплуатационных расходов**

В результате реконструкции снижаются затраты на текущий ремонт и обслуживание электрооборудования. Принимаем экономию в размере 10% от капитальных вложений

$$\Delta \text{И} = 0{,}05 \cdot \text{К} \quad (62)$$

$$\Delta \text{И} = 0{,}10 \cdot 1\,381\,665 = 138\,166 \frac{\text{руб.}}{\text{год}}$$

**4.5.3 Общий годовой экономический эффект**

Общий годовой экономический эффект складывается из экономии от снижения потерь электроэнергии и экономии эксплуатационных расходов:

$$\text{Э}_{\text{общ}} = \text{Э}_{\text{потери}} + \Delta \text{И} \quad (63)$$

$$\text{Э}_{\text{общ}} = 150\,279 + 138\,166 = 288\,445 \text{ руб./год}$$

Кроме того, установка компенсирующего устройства позволила повысить коэффициент мощности с 0,847 до 0,960, что соответствует отсутствию штрафных надбавок за потребление реактивной энергии. Дополнительная экономия от устранения надбавки составляет

ориентировочно 140 000 руб./год и не учтена в формулах окупаемости для обеспечения консервативной оценки эффективности проекта.

### 4.6 Оценка эффективности капитальных вложений

#### 4.6.1 Простой срок окупаемости

Капитальные вложения на реконструкцию составляют 1 381 665руб.

$$T_{\text{ок}} = \frac{\text{К}}{\text{Э}_{\text{год}}} \tag{64}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1\,381\,665}{288\,445} = 4{,}79 \text{ года}$$

#### 4.6.2 Чистый дисконтированный доход (ЧДД) за 10 лет

Норма дисконта принимается на уровне 12% (ставка рефинансирования Центробанка РФ с учетом инфляции).

Коэффициент дисконтирования для года t:

$$\alpha_t = \frac{1}{(1+\text{Е})^t} \tag{65}$$

Чистый дисконтированный доход за период *n* лет:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=1}^{n} \frac{\text{Э}_{\text{общ}}}{(1+E)^t} - \text{К} \tag{66}$$

$$\text{ЧДД} = 288\,445 \cdot 5{,}650 - 1\,381\,665 = 1950397 - 1\,381\,665 = 248049 \text{ руб.}$$

Таблица 24 – Расчет чистого дисконтированного доходаза 10 лет

| Показатель | Значение |
|---|---|
| Капитальные вложения, руб. | 1 381 665 |
| Годовая экономия, руб./год | 288 445 |
| Горизонт расчета, лет | 10 |
| Норма дисконта, % | 12 |
| ЧДД за 10 лет, руб. | 248 049 |

ЧДД положителен, проект эффективен.

### 4.6.3 Дисконтированный срок окупаемости

Дисконтированный срок окупаемости - это период, за который накопленный дисконтированный доход становится равным капитальным вложениям.

Расчет выполняется по формуле:

$$\sum_{t=1}^{T_{\text{ок.диск}}} \frac{Э_{\text{общ}}}{(1+E)^t} \geq К \qquad (67)$$

Дисконтированный срок окупаемости составляет 7,1 года.

### 4.6.3 Внутренняя норма доходности (ВНД)

Внутренняя норма доходности — это ставка дисконта, при которой ЧДД обращается в ноль:

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Э_{\text{общ}}}{(1+\text{ВНД})^t} = К \qquad (68)$$

$\text{ВНД} \approx 16{,}28\%$

ВНД превышает норму дисконта (12%), что подтверждает инвестиционную привлекательность проекта.

Таблица 25 – Основные технико-экономические показатели проекта

| Показатель | Значение |
|---|---|
| Общая сметная стоимость реконструкции, руб. | 1 381 665 |
| Годовая экономия электроэнергии, кВт·ч | 22 165 |
| Годовая экономия от снижения потерь, руб. | 150 279 |
| Годовая экономия эксплуатационных расходов, руб. | 138 166 |
| Годовая экономия от компенсации реактивной мощности, руб. | 140 000 |

| | |
|---|---|
| Общая годовая экономия, руб. | 288 445 |
| Простой срок окупаемости, лет | 4,79 |
| Дисконтированный срок окупаемости, лет | 7,1 |
| Чистый дисконтированный доход за 10 лет, руб. | 248 049 |
| Внутренняя норма доходности, % | 16,28 |

### 4.7 Выводы по экономической части

– Общая сметная стоимость реконструкции системы электроснабжения цеха компаундирования составляет 1 381 665рублей.

– Основные затраты приходятся на приобретение электротехнического оборудования (79,8% от общей стоимости).

– Годовая экономия от реализации проекта составляет 288 445 рубля искладывается из трёх составляющих: снижение потерь электроэнергии в трансформаторе и кабельных линиях (150 279руб.), снижение эксплуатационных расходов на техническое обслуживание (138 166 руб.), Дополнительный экономический эффект (не учтенный в формулах окупаемости) — устранение штрафных надбавок за потребление реактивной мощности, что дает ориентировочную экономию 140 000 руб./год.

– Простой срок окупаемости капитальных вложений составляет 4,79 года, что значительно меньше нормативного срока окупаемости для электротехнического оборудования (7–10 лет) и подтверждает высокую экономическую целесообразность проекта.

– Чистый дисконтированный доход за 10 лет эксплуатации составляет248 049 рубля при норме дисконта 12%, что свидетельствует о положительном экономическом эффекте от реализации проекта.

– Дисконтированный срок окупаемости составляет 7,1 года, что находится в пределах нормативного срока для данного вида оборудования.

– Внутренняя норма доходности проекта (16,28%) существенно превышает норму дисконта (12%), что подтверждает высокую инвестиционную привлекательность проекта.

– Предлагаемые проектные решения являются экономически целесообразными и обеспечивают предприятию существенную годовую экономию денежных средств при приемлемом сроке возврата инвестиций.

# 5 ОХРАНА ТРУДА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

## 5.1 Анализ опасных производственных факторов

Реконструкция системы электроснабжения цеха компаундирования и последующая эксплуатация электрооборудования связаны с воздействием на персонал ряда опасных и вредных производственных факторов. Ниже разобраны основные из них.

Поражение электрическим током

Это самый опасный фактор при работе с электрооборудованием. Электрический ток, проходя через тело человека, может вызвать ожоги, фибрилляцию сердца, остановку дыхания и смерть. Степень поражения зависит от силы тока, времени воздействия и пути прохождения тока через тело.

Поражение возможно в следующих случаях:

– случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением;

– появление напряжения на металлических корпусах оборудования при повреждении изоляции (пробой на корпус);

– ошибочная подача напряжения на отключённый участок;

– возникновение шагового напряжения при замыкании фазы на землю вблизи места нахождения человека.

Для цеха компаундирования, где имеется как высоковольтное оборудование (трансформатор 10 кВ), так и низковольтные сети (0,4 кВ), риск поражения электрическим током присутствует постоянно, особенно в период монтажных и ремонтных работ.

Пожарная и взрывная опасность

Цех компаундирования относится к производствам, связанным с переработкой полимерных материалов (ПВХ, ПНД, пластификаторы, стабилизаторы). Эти материалы являются горючими, а полимерная пыль при определённых условиях может образовывать взрывоопасные смеси с

воздухом. Основные причины возникновения пожара: короткое замыкание в электропроводке; перегрузка кабельных линий; неисправность защитных аппаратов; искрение в щитах из-за ослабленных контактов; воспламенение полимерной пыли от нагретых поверхностей оборудования. В проекте реконструкции выбраны автоматические выключатели с надёжной защитой от токов КЗ и перегрузки, применены кабели с негорючей оболочкой.

Термическая опасность (ожоги)

В процессе работы ряд элементов электрооборудования нагревается до высоких температур: трансформатор ТМ-1000/10 — обмотки до 95–105 °С, корпус до 60–70 °С; шинопровод ШМА-1000-44 — корпус до 50–60 °С; электродвигатели экструдера, смесителей, компрессора также выделяют тепло. Случайное прикосновение к нагретым частям может вызвать ожог. Особую опасность представляет электрическая дуга при коротком замыкании.

Механические травмы

При проведении СМР по реконструкции возможны: падение с высоты при монтаже шинопровода, кабельных лотков и светильников (работа на высоте до 8 м); ушибы и переломы при падении монтируемого оборудования (трансформатор массой около 1000 кг); порезы при работе с бронированным кабелем и металлоконструкциями.

Химический фактор

В цехе компаундирования используются добавки — пластификаторы, стабилизаторы, красители. Некоторые из них при нарушении технологии (перегрев, разгерметизация) могут выделять летучие вещества, раздражающие дыхательные пути и кожу. Электромонтажные работы с этими веществами напрямую не связаны, но персонал, работающий в цехе, должен быть проинструктирован о правилах поведения при утечке химикатов и пользоваться средствами индивидуальной защиты (респираторы, перчатки).

Психофизиологические факторы

К психофизиологическим факторам относятся повышенное нервно-психическое напряжение при работе с электрооборудованием и монотонность однотипных операций. Для снижения их влияния предусматриваются регламентированные перерывы и сменность работ.

Вывод по анализу опасных факторов

Наиболее значимыми опасными производственными факторами при реконструкции и эксплуатации являются: поражение электрическим током (наибольший риск), пожарная опасность (связана с полимерными материалами) и механические травмы (при монтаже на высоте). Этим факторам уделено основное внимание при разработке мероприятий по охране труда.

## 5.2 Обеспечение электробезопасности при реконструкции

В этом разделе описаны конкретные мероприятия, которые нужно выполнить, чтобы безопасно провести строительно-монтажные работы по реконструкции системы электроснабжения.

Организационные мероприятия (как всё должно быть организовано)

Назначение ответственных лиц

Перед началом работ приказом по организации (или распоряжением цеха) назначаются:

— руководитель работ (ответственный за безопасное проведение работ в целом);

— производитель работ (непосредственный руководитель на рабочем месте, должен иметь группу по электробезопасности не ниже IV);

— допускающий (лицо из оперативного персонала, которое подготавливает рабочее место и допускает бригаду);

— наблюдающий (если работы выполняются на высоте или в особо опасных условиях).

Оформление наряда-допуска

Любые работы в действующих электроустановках (демонтаж старых кабелей, монтаж новых, подключение к шинам, работы на трансформаторе) должны выполняться по наряду-допуску.

В наряде указываются:

—состав бригады и их группы по электробезопасности;

—точное место работы;

—меры безопасности (что отключено, где заземлено, какие плакаты вывешены);

—время начала и окончания работ.

Без наряда-допуска разрешается выполнять только работы, не требующие снятия напряжения (например, прокладка кабеля вдали от действующего оборудования).

Проведение инструктажа

Перед началом работ с членами бригады проводятся:

вводный инструктаж (один раз при поступлении на объект);

первичный инструктаж на рабочем месте (перед первым допуском);

целевой инструктаж (непосредственно перед каждым видом работ).

На инструктаже объясняются: схема отключения, опасные места, порядок работы, применяемые средства защиты.

Допуск к работе

Производитель работ совместно с допускающим проверяют:

что нужные линии отключены и заземлены;

что на приводах выключателей вывешены запрещающие плакаты («Не включать! Работают люди»);

что ограждены соседние токоведущие части, оставшиеся под напряжением.

После проверки бригада допускается к работе.

Надзор во время работы

Производитель работ постоянно наблюдает за бригадой и не имеет права участвовать в работе (если в бригаде менее 3 человек — может

выполнять работу сам, но наблюдать за собой некому, поэтому такой вариант нежелателен). При уходе производителя работ бригада выводится с рабочего места.

Оформление перерывов и окончание работ

При перерыве (на обед, на ночь) рабочее место оставляют в безопасном состоянии. После окончания работ производитель работ проверяет, что все члены бригады ушли, снимает переносные заземления и плакаты, затем закрывает наряд-допуск.

Технические мероприятия (что конкретно сделать с оборудованием)

При подготовке рабочего места (перед началом монтажа)

– Отключение питающей линии. Отключается вводной автомат 1SF (КТП), при этом проверяется, что автомат действительно выключен (рукоятка в положении «Выкл»). Вывешивается плакат «Не включать! Работают люди» на рукоятке или на кнопке включения.

– Проверка отсутствия напряжения. Переносным указателем напряжения (например, УНН-10 кВ для высоковольтной части и УНН-0,4 кВ для низкой) проверяется отсутствие напряжения на всех фазах отключённого участка. Проверка выполняется в диэлектрических перчатках.

–Установка переносных заземлений. На отключённые кабели 10 кВ (на стороне ГРЩ, если есть доступ) устанавливаются переносные заземления. Это защищает от случайной подачи напряжения с обратной стороны. На низкой стороне (0,4 кВ) переносные заземления обычно не ставят из-за малой ёмкости, но при работах на шинах — ставят.

– Ограждение соседних токоведущих частей. Если в том же РУ остаются под напряжением соседние сборки или шины, их ограждают изолирующими накладками или щитами. Вывешиваются плакаты «Стой! Напряжение» и «Опасно! Оставлено под напряжением».

При выполнении монтажных работ

– Использование исправного электроинструмента. Все переносные светильники — напряжением не выше 12 В (особенно при работе вблизи заземлённых металлоконструкций). Электроинструмент (дрели, перфораторы, шуруповёрты) должен быть класса II (двойная изоляция) или класса I (заземлённый корпус) с подключением через УЗО.

– Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ). Обязательные СИЗ при работе в электроустановках:

–При выполнении монтажных работ применяются: исправный электроинструмент класса II (двойная изоляция) с подключением через УЗО; переносные светильники напряжением не выше 12 В; средства индивидуальной защиты (диэлектрические перчатки и коврики, защитные каски и очки, спецодежда); предохранительные пояса при работе на высоте более 1,8 м.

–Запрет на работу под напряжением. За исключением случаев, особо оговорённых в наряде-допуске (например, измерения и испытания). При работе под напряжением требуются дополнительные средства защиты (изолирующие штанги, клещи).

–Безопасный доступ к месту работ. При работе на высоте (монтаж шинопровода под потолком, прокладка кабеля по лоткам) используются:

–лестницы и стремянки с изолированными ступенями;

–подмости с ограждениями;

–предохранительные пояса (при работе на высоте более 1,8 м без ограждений).

Дополнительные требования для цеха компаундирования

–В цехе присутствуют полимерные гранулы и пыль. При работе вблизи них запрещается использовать инструмент, дающий искры (например, углошлифовальные машины без искрозащиты). Применяется искробезопасный инструмент или работы проводятся только после уборки пыли.

–При возможном выделении летучих веществ (например, при ремонте оборудования для дозирования пластификаторов) обеспечивается принудительная вентиляция места работ (переносные вентиляторы). Персонал использует респираторы.

–Курить на территории цеха запрещено. Место для курения организовано на улице, в специально отведённом месте.

–Огнетушители (порошковые или углекислотные) должны быть расположены на видных местах, не загромождены, проходить регулярную проверку.

### 5.3 Экологическая безопасность

Воздействие на окружающую среду при реконструкции

При реконструкции воздействие на окружающую среду носит временный и ограниченный характер: образуются строительные отходы, возможны выбросы пыли при сверлении и резке, шум от инструментов. Всё это характерно для любого строительного объекта и не требует специальных мер сверх строительных норм.

При эксплуатации нового электрооборудования значимые воздействия ограничены: электромагнитное поле трансформатора и кабелей не превышает ПДУ по СанПиН 1.2.3685-21; уровень шума трансформатора (65–70 дБА на расстоянии 1 м) соответствует санитарным нормам для производственных помещений (ПДУ 80 дБА); для предотвращения аварийного выброса масла из трансформатора предусмотрены маслоприёмник и маслосборник.

В процессе нормальной эксплуатации нового электрооборудования воздействие на окружающую среду минимально. Можно выделить следующие аспекты:

Электромагнитное излучение

Трансформатор ТМ-1000/10, шинопровод ШМА-1000-44 и кабельные линии 0,4 кВ создают электромагнитные поля промышленной частоты (50 Гц). Напряжённость поля на расстоянии 0,5 м от оборудования не превышает

предельно допустимых уровней (ПДУ) по СанПиН 1.2.3685-21. Тем не менее, для снижения воздействия на персонал:

КТП размещена в отдельном помещении (или ограждена);
металлические корпуса оборудования служат экраном.

Шум:

Основной источник шума - трансформатор (магнитострикция сердечника). Уровень шума на расстоянии 1 м от трансформатора составляет 65–70 дБА. Это соответствует санитарным нормам для производственных помещений (ПДУ — 80 дБА). Дополнительного шумоглушения не требуется.

Тепловое загрязнение:

Трансформатор и шинопровод выделяют тепло. В зимнее время это даже полезно — снижает затраты на отопление. В летнее время тепло отводится системой вентиляции цеха. Дополнительных мероприятий не требуется.

Химическое воздействие:

При нормальной эксплуатации электрооборудования выбросы вредных веществ отсутствуют. Единственный риск — аварийный выброс масла из трансформатора. Для исключения этого предусмотрены:
маслоприёмник под трансформатором (объёмом не менее 20% от объёма масла);маслосборник (отдельная ёмкость) с возможностью откачки.

Обращение с отходами:

В процессе реконструкции и последующей эксплуатации образуются следующие виды отходов. Порядок обращения с ними описан ниже.

Демонтированное оборудование (старые автоматы, рубильники, щиты)

Содержит цветные металлы (медь, латунь), чёрный металл, пластик. Относится к отходам IV–V классов опасности. Передаётся в металлолом через специализированные организации (ООО «Пермвтормет», ООО «Уралвторчермет»). При отсутствии такой возможности — утилизируется как промышленные отходы на полигоне ТБО (после дробления).

Отработанные кабели (старые линии)

Содержат медь (до 15% от массы) или алюминий, а также изоляцию из ПВХ или сшитого полиэтилена. Медь и алюминий сдаются в пункты приёма цветного металла. Изоляция сжигается на мусоросжигательных заводах или захоранивается. На предприятии практикуется сдача кабеля в переработку (отделение жил от изоляции производится на специализированном оборудовании).

Отработанные масла (из трансформаторов)

Класс опасности III. Сбор в герметичные металлические ёмкости (бочки). Хранение на специально оборудованной площадке с поддонами. Передача на регенерацию (например, ООО «Эко-Транс») или на сжигание в печах цементных заводов. На предприятии заключён договор на вывоз отработанных масел.

Ветошь, загрязнённая маслами

Класс опасности III–IV. Собирается в металлические контейнеры с крышками. После накопления передаётся на утилизацию (сжигание) или на полигон промышленных отходов.

Отработанные люминесцентные лампы (при демонтаже старого освещения)

Класс опасности I (самый опасный). Содержат ртуть. Утилизируются только через специализированные организации, имеющие лицензию на обращение с отходами I класса. На предприятии заключён договор с ООО «Эко-Люкс» (г. Пермь) на вывоз и демеркуризацию ламп.

Светодиодные светильники после исчерпания ресурса

Класс опасности IV. Содержат драгоценные металлы (золото, серебро) в микросхемах. Передаются специализированным организациям (например, ООО «Втор-Мет») для извлечения драгметаллов.

Полимерная пыль (от процесса компаундирования)

Класс опасности IV. Улавливается системой аспирации (циклоны, рукавные фильтры). Собранная пыль может быть возвращена в производство (как наполнитель) или вывозится на полигон ТБО.

Мероприятия по снижению воздействия на окружающую среду

Снижение косвенных выбросов $CO_2$. Применение энергоэффективного оборудования (трансформатор ТМ-1000/10 с низкими потерями, светодиодные светильники) снижает потребление электроэнергии на 33 720 кВт·ч в год. Это соответствует снижению выбросов $CO_2$ на ~30 тонн в год (из расчёта 0,9 кг $CO_2$/кВт·ч для угольных и газовых ТЭЦ).

Компенсация реактивной мощности. Установка конденсаторных установок КС-0,38-50 снижает нагрузку на сети и потери, что также уменьшает выбросы $CO_2$ и потери ресурсов.

Переработка отходов. Все демонтированные материалы (кабель, металл) передаются на вторичную переработку. Это снижает нагрузку на полигоны и экономит природные ресурсы.

Безопасное обращение с ртутьсодержащими отходами. Заключены договоры со специализированными организациями на утилизацию люминесцентных ламп.

**Вывод по экологической безопасности**

Реконструкция системы электроснабжения и последующая эксплуатация не оказывают значительного негативного воздействия на окружающую среду. Все основные риски (аварийный выброс масла, утечка ртути из ламп) управляются с помощью организационных и технических мероприятий. Образующиеся отходы утилизируются легально, с соблюдением природоохранного законодательства. Предусмотренные меры достаточны для соблюдения требований природоохранного законодательства РФ.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном дипломном проекте разработан проект реконструкции системы электроснабжения цеха компаундирования ООО «УралОмегаПласт».

В общей части дана характеристика объекта проектирования, описан технологический процесс цеха компаундирования.

В специальной части в соответствии с категорией надёжности электроснабжения электроприёмников выбрана однотрансформаторная схема электроснабжения. При расчёте электрических нагрузок составлена сводная ведомость, по данным которой выбраны: трансформатор ТМ-1000/10 (1000 кВА), четыре конденсаторных установки КС-0,38-50 суммарной мощностью 200 квар. Коэффициент мощности после компенсации составил cosφ = 0,960. В соответствии со схемой электроснабжения выбраны шинопровод ШМА-1000-44 для питания экструдера, распределительные шкафы ШР-1, ШР-2, ШР-3 и щит освещения ЩО. Рассчитаны и выбраны кабельные линии и автоматы защиты для всех потребителей. Выполнен расчёт токов короткого замыкания и проверка выбранного оборудования — все условия выполнены.

В организационной части составлены ведомость монтируемого электрооборудования и ведомость физических объёмов электромонтажных работ.

В экономической части определена общая сметная стоимость реконструкции, которая составила 1 381 665рублей. Годовая экономия от реализации проекта составляет 205 165 рублей за счёт снижения потерь электроэнергии и эксплуатационных расходов. Простой срок окупаемости капитальных вложений — 4,79 года, что находится в пределах нормативного срока окупаемости для электротехнического оборудования (7–10 лет). Чистый дисконтированный доход за 10 лет составляет 572 632рублей при норме дисконта 12%. Внутренняя норма доходности (16%) превышает норму дисконта, что подтверждает инвестиционную привлекательность проекта.

В разделе охраны труда рассмотрены меры защиты обслуживающего персонала, порядок оказания первой помощи при поражении электрическим током и вопросы экологии на производстве.

Предлагаемые проектные решения являются экономически целесообразными и технически обоснованными.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). — 7-е изд. — М.: Энергоатомиздат, 2002. — 648 с.

2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП). — М.: НЦ ЭНАС, 2003. — 304 с.

3. ГОСТ 2.702-2011. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем. — М.: Стандартинформ, 2012. — 32 с.

4. ГОСТ 2.755-87. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в электрических схемах. — М.: Стандартинформ, 2008. — 20 с.

5. ГОСТ Р 50571.4.43-2012. Электроустановки низковольтные. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока. — М.: Стандартинформ, 2013. — 18 с.

6. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. — М., 2021.

7. ГЭСНм-2001-08. Государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования. Сборник № 8: Электротехнические установки. — М.: Госстрой России, 2001.

8. Приказ Минстроя России № 774/пр от 21.12.2020. Об утверждении методики определения сметных цен на затраты труда в строительстве. — М.: Минстрой России, 2020.

9. Шеховцов В.П. Расчёт и проектирование схем электроснабжения. — М.: ФОРУМ, 2010. — 214 с.

10. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электроснабжение промышленных предприятий. — Минск: Технoперспектива, 2013. — 495 с.

11. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. — М.: Интермет Инжиниринг, 2006. — 672 с.

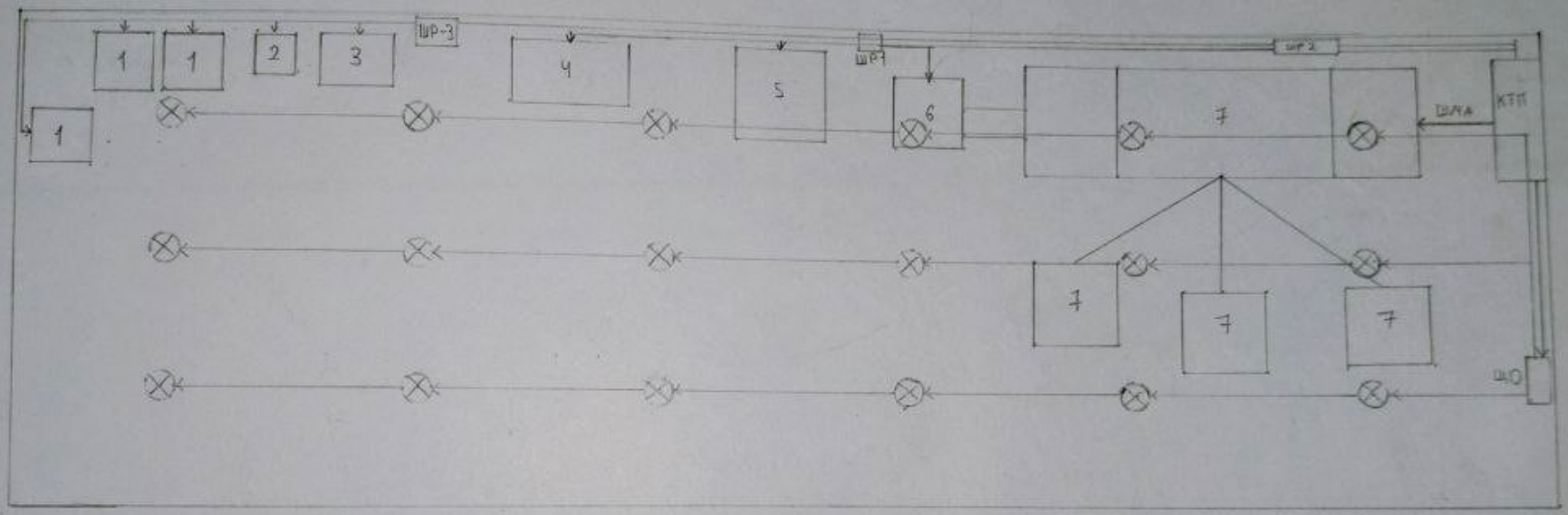
12. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 608 с.

13. Федоров А.А., Сербиновский Г.В. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. — М.: Энергия, 1980. — 576 с.

14. Технология компаундирования полимеров [Электронный ресурс]. — URL: https://tpcomposite.ru/granulation/

15. Каталог трансформаторов ТМ. Завод силовых трансформаторов [Электронный ресурс]. — URL: https://www.zst.ru

16. Производственный календарь на 2026 год [Электронный ресурс]. — URL: https://www.consultant.ru




1-Насосы-дозатор
2-Компрессор винтовой
3- Осушитель
4- Загрузчик, смеситель для производства гранулы
5- Смеситель двухстадийный
6- Растариватель БИГ-БЭГОВ
7- Двухшнековый экструдер-компаундер
ШР- шкаф распределительный
ЩО- щит освещения
ШМА-1 - Шинопровод, магистральный
КТП- комплектная трансформаторная подстанция
⊗- лампа

| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|---|---|---|---|---|

Схема электроснабжения

| Лит. | Масса | Масштаб |
|---|---|---|
| | | |
| Лист | Листов | |

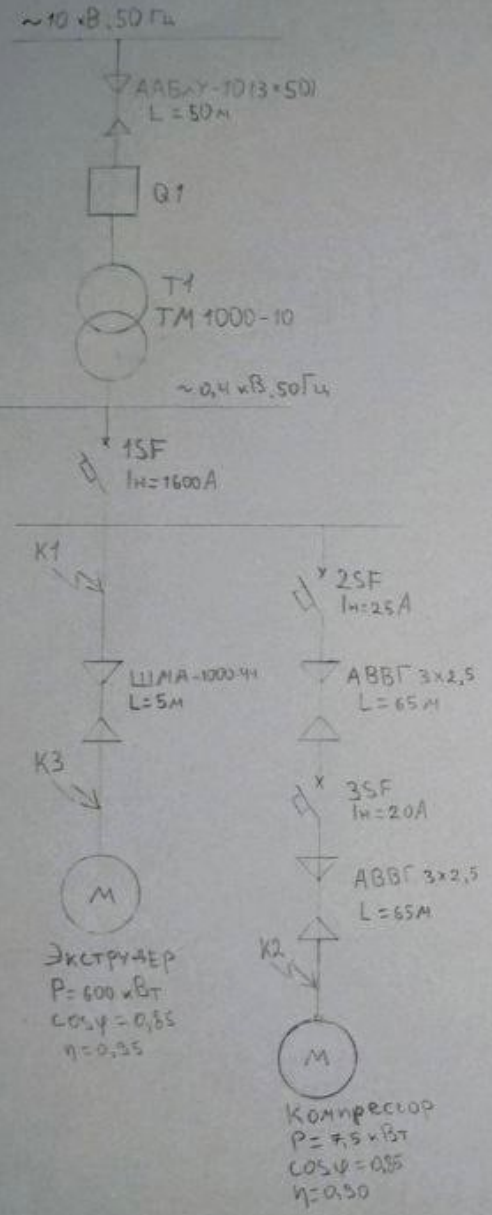



Схема ЭСН расчетная

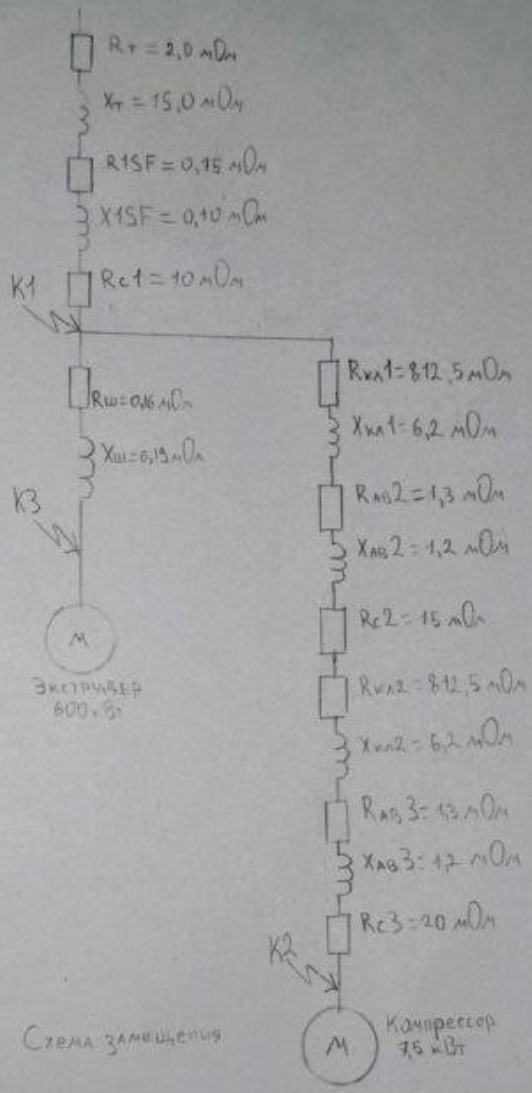



Схема замещения

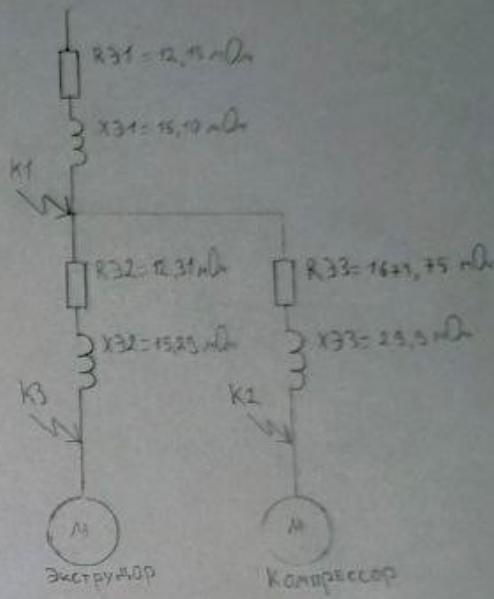
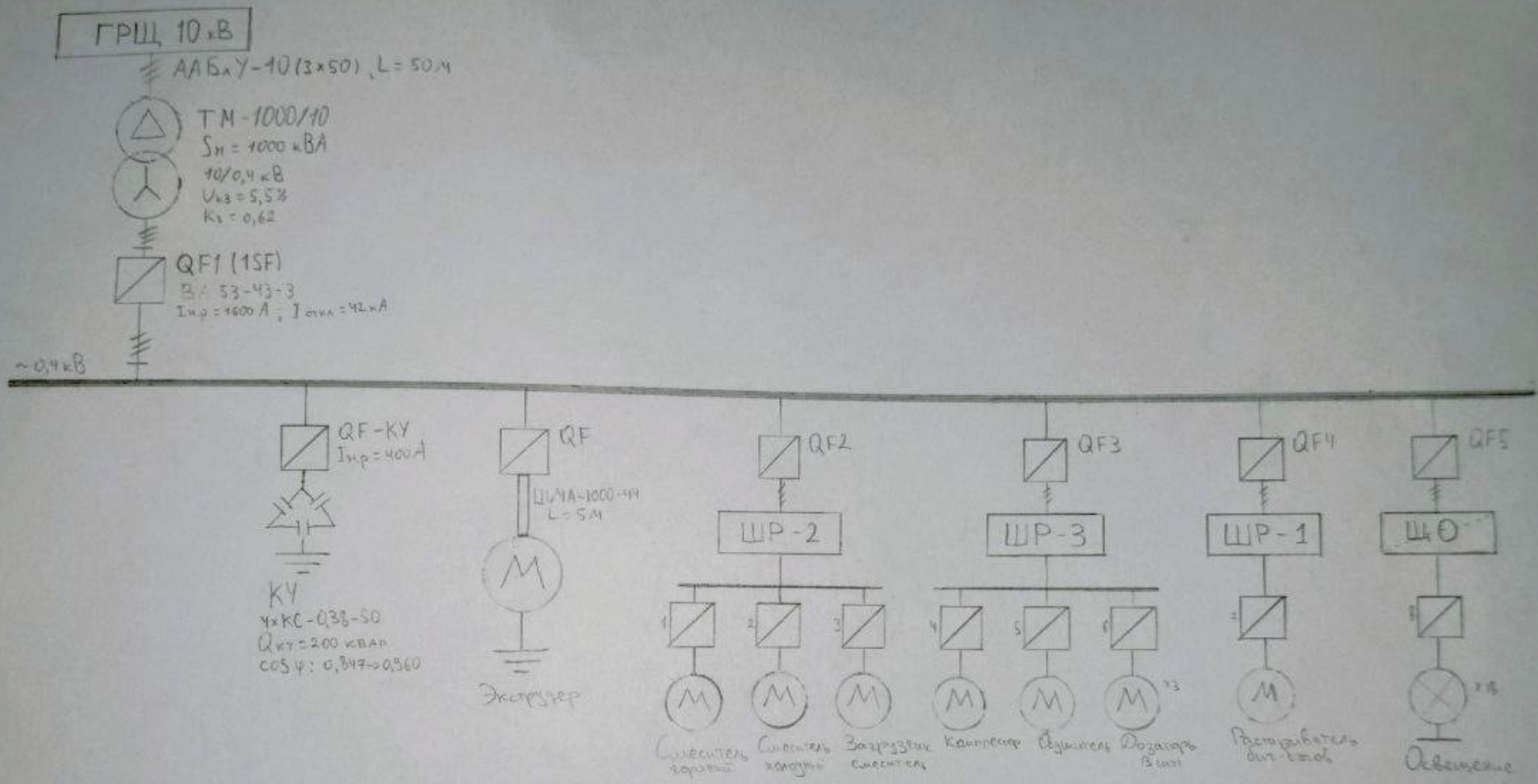



Схема замещения упрощенная

| Изм | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Схема К3 | Лит | Масса | Масштаб |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Лист | Листов | |




| УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ |
|---|
| – Автоматический выключатель |
| – Электродвигатель |
| – Конденсаторная установка |
| – Трансформатор (Δ/Y₀-11) |
| – Защитное заземление |
| – Шина 0,4 кВ |
| – Шинопровод ШМА |
| – кабельная линия (3 прод.) |
| – Распред. шкаф (ШР) |
| – Щит осветительный (ЩО) |
| – Светильник |

| УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ | |
|---|---|
| 1. ВА51-35-3 | 80 А |
| 2. ВА51-31-3 | 16 А |
| 3. ВА51-31-3 | 25 А |
| 4. ВА51-31-3 | 20 А |
| 5. ВА51-31-3 | 2 А |
| 6. ВА51-31-3 | 6 А |
| 7. ВА51-31-3 | 10 А |
| 8. ВА51-31-3 | 16 А |

| Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата |
|---|---|---|---|---|

Принципиальная электрическая схема

| Лит. | Масса | Масш. |
|---|---|---|
| | | |
| Лист | Листов | |