

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 6/0,4 кВ**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

Идентификационный код ВКР: 548

Екатеринбург 2017

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»  
Институт инженерно-педагогического образования  
Кафедра электрооборудования и энергоснабжения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Заведующая кафедрой ЭС  
\_\_\_\_\_ А.О. Прокубовская  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 6/0,4 кВ**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)  
профиля подготовки «Энергетика»  
специализации «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений и  
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 548

Исполнитель:

студент группы ЗЭС-403С

\_\_\_\_\_ О.С. Ермоленко

Руководитель:

старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Ю.А. Юксеев

Нормоконтролер:

ст. преподаватель кафедры ЭС

\_\_\_\_\_ Т.В. Лискова

Екатеринбург 2017

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 68 страницах, содержит 4 рисунка, 19 таблиц, 21 источников литературы.

Ключевые слова: КОМПЛЕКТНАЯ ТРАНСФОРМАТОРНАЯ ПОДСТАНЦИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ, ТРАНСФОРМАТОР С ЛИТОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ, ТЕРМООБРАБОТКА, КОМПЛЕКСНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВА С ЭЛЕГАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ.

*Областью исследования* выпускной квалификационной работы является проектировка комплексной трансформаторной подстанции напряжением 6/0,4 кВ для обеспечения электроснабжением нового оборудования металлургического комплекса, а именно новейшего оборудования для термообработки.

*Предметом исследования* является полный расчет коммутационной аппаратуры, выбор оборудования по данным расчета и по номинальным параметрам.

*Целью* выпускной квалификационной работы является спроектировать комплектную трансформаторную подстанцию, отвечающую всем новейшим правилам и требованиям.

*Задачи:*

- определена категория проектируемой трансформаторной подстанции;
- собраны технические данные электроприемников;
- выполнен полный расчет нагрузок;
- рассчитаны линии электропередач;
- составлена схема замещения;

Произведен расчет токов короткого замыкания и максимальных рабочих токов.

Рассмотрена безопасность при работе в электроустановках, вредные и опасные производственные факторы.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА	9
2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТА	11
2.1 Расчет электрических нагрузок	12
2.2 Выбор оборудования	22
2.2.1 Выбор комплексной трансформаторной подстанции	23
2.2.2 Выбор силового трансформатора	24
2.2.3 Выбор трансформатора тока	25
2.2.4 Расчет сечения линии электропередач	25
2.2.5 Счетчик активной и реактивной электроэнергии	26
2.2.6 Выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения	26
2.2.7 Выбор распределительного устройства для защиты трансформаторов и управлением ввода резерва	32
2.2.8 Расчет токов короткого замыкания на стороне высокого и низкого напряжения	35
2.2.9 Расчет и выбор компенсирующего устройства	40
2.3 Заземление	41
2.4 Безопасность и экологичность проекта	44
2.4.1. Цели и задачи охраны труда	44
2.4.2. Характеристика условий труда	45
2.4.3. Производственное освещение	46
2.4.4. Электробезопасность	47
2.4.5. Пожарная безопасность	48
2.5 Экология	50
2.5.1 Загрязнения и отходы в металлургическом производстве	50
2.5.2 Загрязнения окружающей среды предприятиями металлургической отрасли	51
2.5.3 Основные требования по экологизации проекта	52

2.6 Экономическая часть	53
2.7 Инструкция по монтажу силового трансформатора	57
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	65
ПРИЛОЖЕНИЕ	67

## ВВЕДЕНИЕ

Российская металлургия, более 10 лет являющаяся крупным игроком на глобальном рынке металлургической продукции, демонстрирует достаточно устойчивое развитие. По масштабам производства в системе международной торговли металлом России занимает одно из ведущих мест. На долю российской металлургии приходится свыше 5 процентов мирового производства стали, 11 процентов алюминия, 21 процент никеля, 27,7 процентов титана, страна обеспечивает около 10 процента оборота международной торговли металлопродукцией в натуральном выражении.

Важнейший индикатор – сохранение и даже расширение экспортных возможностей отрасли, указывает на достаточно высокий уровень конкурентоспособности отечественной металлургии на внешних рынках. При этом, благоприятный расклад для российских металлургов, в значительной степени обусловлен спросом на металл со стороны развивающихся рынков Азии и Южной Америки, а также особенностями развития металлургических производств в странах с развитой рыночной экономикой (повышенные требования к экологичности предприятий, высокая стоимость рабочей силы и т.п.). Как результат – черная металлургия (наряду с нефтегазодобывающей промышленностью) является одной из основных экспорто-ориентированных базовых отраслей российской экономики.

Ситуация на крупнейших металлургических предприятиях России выглядит относительно благополучной. Доля металлургии в структуре занятости в промышленности и объеме промышленного производства за последние 15 лет возросла в 1,5 раза, а в структуре доходов (финансового результата) промышленности в 6,5 раз. Доля экспорта металлов и изделий из них в валютных поступлениях в Россию увеличилась с 6 до 20 процентов, то есть в 3,4 раза.

Одним из крупнейших предприятий на Урале является ПАО «Уралмашзавод» при поддержке ОАО «Газпромбанк»

ПАО «Уралмашзавод» - один из лидеров российского рынка оборудования для металлургии, горнодобывающей промышленности, промышленности строительных материалов и энергетики. Стратегия развития компании предусматривает создание машиностроительного предприятия мирового уровня, которое сможет комплексно обеспечивать потребности заказчиков в оборудовании. На «Уралмашзаводе» при поддержке основного акционера – «Газпромбанк» (Акционерное общество) – разработана и реализуется инвестиционная программа, предусматривающая коренную реконструкцию производства.

Одним из пунктов стратегии развития является валковый бизнес, который включает в себя увеличение объемов производства до 14 тыс.тонн/ год наряду с постоянным улучшением качества. Для этого в марте 2014 г. утверждена инвестиционная программа по улучшению потребительских свойств прокатных валков и открыта кредитная линия основным акционером «Газпромбанк»

В настоящее время на «Уралмашзаводе» построили новый цех № 39/3, который производит термическую обработку для рабочих валков холодной прокатки металлов, а именно выполняет сложный комплекс термической обработки обеспечивает необходимые механические свойства внутреннего слоя за счет создания однородной мелкодисперсной структуры, поверхностную индукционную термообработку, цель которой, создать упрочненный рабочий слой с высокой износостойкостью и заключительная стабилизирующая термообработка снижающая и выравнивающая внутренние остаточные напряжения.

*Областью исследования* выпускной квалификационной работы является проектировка комплексной трансформаторной подстанции напряжением 6/0,4 кВ для обеспечения электроснабжением нового оборудования металлургического комплекса, а именно новейшего оборудования для термообработки.

*Предметом исследования* является полный расчет коммутационной аппаратуры, выбор оборудования по данным расчета и по номинальным параметрам.

*Целью* выпускной квалификационной работы является спроектировать комплектную трансформаторную подстанцию, отвечающую всем новейшим правилам и требованиям.

*Задачи:*

- определить категорию проектируемой трансформаторной подстанции;
- собрать технические данные электроприемников;
- выполнить полный расчет нагрузок;
- рассчитать линии электропередач;
- составить схему замещения;
- рассчитать токи короткого замыкания;
- выбрать аппараты защиты и коммутационной аппаратуры.



## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

Объектом электроснабжения является цех термообработки № 39/3 общей площадью 7056 м<sup>2</sup> с объемом выпуска готовой продукции 16500 т. в год.

Технология работы термического цеха 39/3 состоит из трех основных процессов:

- нагрев стальной заготовки до соответствующей температуры (осуществляется в термических печах или на установке ТПЧ);
- закалка стальной заготовки в воде, осуществляется в закалочных баках или орошением (для установки ТПЧ);
- отпуск стальной заготовки (осуществляется посредством нагрева в термических печах с последующим охлаждением).

Закаливаемые детали в цех термообработки № 39/3 поступают по железнодорожному пути. Далее мостовым краном закаливаемые детали подаются к соответствующей термической печи или установке ТПЧ.

В пролете цеха № 39/3 установлено семь термических печей, одна установка ТПЧ и двух закалочных баков:

- печь термическая вертикальная производства фирмы Vosio d.o.o., предназначенная для термической обработки стальных заготовок. Нагрев в печи производится с помощью рекуперативных горелок. В качестве топлива используется природный газ. Максимальная температура в рабочем пространстве составляет 1150 °С;
- печь термическая с выкатным подом производства фирмы Vosio d.o.o., предназначена для термической обработки заготовок. Максимальная температура в рабочем пространстве 1150 °С. Нагрев в термической печи с выкатным подом производится с помощью скоростных импульсных газовых горелок;
- бак закалочный водяной №1, предназначен для закалки опорных и рабочих валков и других изделий, с управляемым нагревом или охлаждением закалочной жидкости до установленной температуры. Бак представляет собой

емкость цилиндрической формы диаметром 4,4 м, общим объемом 173 м<sup>3</sup>, с переливной частью, которая выполняет роль буферной емкости при расширении закалочной жидкости вследствие ее нагрева и вытеснения объемом наиболее крупной закаливаемой детали. Перемешивание рабочей жидкости осуществляется циркуляционным насосом и барботированием сжатым воздухом;

- бак закалочный водяной №2, предназначен для закалки опорных и рабочих валков и других изделий, с управляемым нагревом или охлаждением закалочной жидкости до установленной температуры. Бак представляет собой емкость прямоугольной формы с размерами шириной 4 м, длиной 9 м и высотой 5 м, общим объемом 180 м<sup>3</sup>, с переливной частью, которая выполняет роль буферной емкости при расширении закалочной жидкости вследствие ее нагрева и вытеснения объемом наиболее крупной закаливаемой детали. Перемешивание рабочей жидкости осуществляется циркуляционным насосом и барботированием сжатым воздухом;

- печь термическая колпаковая, предназначена для предварительного подогрева, нагрева перед закалкой и отпуска изделий. Максимальные габариты стальной заготовки: ширина-3 м, длина – 7 м;

- установка ТПЧ, предназначена для закалки поверхностного слоя рабочих и опорных валков массой до 70 т. Данная установка находится на стадии проектирования и согласования.

## 2. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ОБЪЕКТА

Снабжение цеха термообработки № 39/3 электроэнергией осуществляется ООО «ЭСК» Екатеринбургская электроснабжающая компания по фидерам 6 кВ с подстанций ПС РП-152 ф.15,16 двумя кабелями АпВнг-LS 3х(1х240/50) L=600м по смонтированным в цехе кабельным консолям. Передача электроэнергии выполняется по бронированному кабелю ААШВ 3х(3х185) L= 150м с подстанции ПС 110/6 «Термическая». По степени надежности термические печи, установка ТПЧ и электроприемники относятся к II категории.

Задачей системы электроснабжения 6 кВ является передача электроэнергии от центра электрического питания, которым является главная понизительная подстанция, и преобразование электроэнергии. Схема сетей должна удовлетворять требования надежности, экономичности, безопасности, удобства в эксплуатации, дальнейшего развития, обеспечивать необходимое качество энергии у потребителей и экономическую чистоту, т.е малое влияние на окружающую среду (сильные электрические и магнитные поля, шум). При определении конфигурации сетей необходимо стремиться к наиболее коротким связям между источником питания и потребителями, избегая, по возможности, обратных перетоков, влекущих за собой увеличение потерь мощности. Схема построения системы электроснабжения должна предусматривать возможность ее поэтапного сооружения в пределах расчетного срока проектирования, а также возможность последующего развития системы за пределами указанного срока без ее коренного переустройства. При проектировании систем электроснабжения необходимо использовать надежные простые схемы построения электрических сетей и применять повышенные напряжения.

## 2.1. Расчет электрических нагрузок

Задачей расчета электрических нагрузок является оценка расчетной мощности для каждого элемента электрической сети, по которой будут определены мощности элементов сети. Электрической нагрузкой называют мощность или ток, потребляемые электроприёмником, либо потребителем в установленные моменты или интервалы времени. Нагрузка может измеряться полной, активной и реактивной мощностью либо полным, активным или реактивным током.

Метод коэффициента максимума (упорядоченных диаграмм). Это основной метод расчета электрических нагрузок, который сводится к определению максимальных ( $P_m$ ,  $Q_m$ ,  $S_m$ ) расчетных нагрузок группы электроприемников

$$P_m = K_m P_{cm}, \quad (1)$$

$$Q_m = K'_m Q_{cm}, \quad (2)$$

$$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}, \quad (3)$$

где  $P_m$  – максимальная активная нагрузка, кВт;

$Q_m$  – максимальная реактивная нагрузка, кВар;

$S_m$  – максимальная полная нагрузка, кВА;

$K_m$  – коэффициент максимума активной нагрузки;

$K'_m$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки;

$P_{cm}$  – средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену, кВт;

$Q_{cm}$  – средняя реактивная мощность за наиболее нагруженную смену, кВар.

$$P_{cm} = K_u P_n, \quad (4)$$

$$Q_{cm} = P_{cm} \operatorname{tg} \phi, \quad (5)$$

где  $K_u$  – коэффициент использования электроприемников, определяется на основании опыта эксплуатации;

$P_H$  – номинальная активная групповая мощность, приведенная к длительному режиму, без учета резервных электроприемников, кВт;

$tg\varphi$  – коэффициент реактивной мощности;

$K_M = F(K_{и.ср.}, n_э)$  определяется по формуле

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_э}} \sqrt{\frac{1 - K_{и.ср.}}{K_{и.ср.}}}, \quad (6)$$

где  $n_э$  – эффективное число электроприемников в группе;

$K_{и.ср.}$  – средний коэффициент использования группы электроприемников,

$$K_{и.ср.} = \frac{P_{см.Σ}}{P_{н.Σ}}, \quad (7)$$

где  $P_{см.Σ}$ ,  $P_{н.Σ}$  – суммы активных мощностей за смену и номинальных в группе электроприемников, кВт;

$$n_э = F(n, m, K_{и.ср.}, P_H), \quad (8)$$

где  $n$  – фактическое число электроприемников в группе;

$m$  – показатель силовой сборки в группе,

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}}, \quad (9)$$

где  $P_{н.нб}$ ,  $P_{н.нм}$  – номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности электроприемников наибольшего и наименьшего в группе, кВт.

*Приведение мощностей 3-фазных электроприемников к длительному режиму*

$P_H = P_H$  – для электроприемников ДР;

$P_H = P_H \sqrt{ПВ}$  – для электроприемников ПКР;

где  $P_H$ ,  $P_P$  – приведенная и паспортная активная мощность, кВт;

$ПВ$  – продолжительность включения, отн. ед.

Приведение 1-фазных нагрузок к условной 3-фазной мощности

Нагрузки распределяются по фазам с наибольшей равномерностью и определяется величина неравномерности (Н)

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 100\%, \quad (10)$$

где  $P_{\text{ф.нб}}$ ,  $P_{\text{ф.нм}}$  – мощность наиболее и наименее загруженной фазы, кВт.

При  $H > 15\%$  и включении на линейное напряжение

$$P_y^{(3)} = \sqrt{3}P_{\text{м.ф}}^{(1)} - \text{для одного электроприемника}; \quad (11)$$

$$P_y^{(3)} = 3P_{\text{м.ф}}^{(1)} - \text{для нескольких электроприемников}. \quad (12)$$

При  $H \leq 15\%$  расчет ведется как для 3-фазных нагрузок (сумма всех 1-фазных нагрузок).

#### *Определение потерь мощности в трансформаторе*

Приблизительно потери мощности в трансформаторе учитываются в соответствии с соотношениями :

$$\Delta P = 0,02S_{\text{нн}}, \quad (13)$$

$$\Delta Q = 0,1S_{\text{нн}}, \quad (14)$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}. \quad (15)$$

#### *Определение мощности наиболее загруженной фазы*

При включении на линейное напряжение нагрузки отдельных фаз однофазных электроприемников определяются как полсуммы двух плеч, прилегающих к данной фазе.

$$P_A = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2}, \quad (16)$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}, \quad (17)$$

$$P_C = \frac{P_{BC} + P_{AC}}{2}. \quad (18)$$

Разбиваем все приемники на группы, технические данные приведены в таблицах 1,2,3,4,5.

Таблица 1 – Технические данные электроприемников участка № 1

Наименование электроприемника	Рн, кВт	n	Ки	cosφ	tgφ
<b>3-фазный ДР</b>					
Печь термическая колпаковая №1 ПТК-1	51	1	1	0,90	0,48
Печь термическая вертикальная №2 ПТВ-2	105	1	1	0,85	0,62
Печь термическая с выкатной подиной №2 ПТВП-2	98	1	1	0,90	0,48
Приточный вентилятор №1	18	1	1	0,85	0,62
<b>3-фазный ПКР</b>					
ТПЧ ввод № 1	89	1	0,5	0,80	0,75
Приточный вентилятор №2	18	1	0,5	0,85	0,62
<b>1-фазный ПКР</b>					
Освещение участка	1,68	24	0,5	0,95	0,33
Осветительная установка группы ОТК	25 Вт/м		0,9	0,95	0,33

Таблица 2 – Технические данные электроприемников участка № 2

Наименование электроприемника	Рн, кВт	n	Ки	cosφ	tgφ
<b>3-фазный ДР</b>					
Печь термическая колпаковая №2 ПТК-2	51	1	1	0,90	0,48
Печь термическая колпаковая №3 ПТК-3	51	1	1	0,90	0,48
Печь термическая вертикальная №1 ПТВ-1	105	1	1	0,85	0,62
Печь термическая с выкатной подиной №1 ПТВП-1	98	1	1	0,90	0,48
Газовый котел №1	35	1	1	0,85	0,62
Крановые главные троллеи	83	1	1	0,85	0,62
<b>3-фазный ПКР</b>					
Газовый котел №2	35	1	0,8	0,85	0,62
ТПЧ ввод № 2	89	1	0,5	0,80	0,75
<b>1-фазный ПКР</b>					
Освещение участка	1,96	28	0,5	0,95	0,33

Таблица 3 – Технические данные электроприемников насосной станции № 1

Наименование электроприемника	Р <sub>н</sub> , кВт	n	Ки	cosφ	tgφ
<b>3-фазный ДР</b>					
Насос горизонтального водяного бака №1	25	1	1	0,80	0,75
Насос откачки воды из кессона водяного бака	19	1	1	0,85	0,62
<b>3-фазный ПКР</b>					
Насос горизонтального водяного бака №2	25	1	0,5	0,80	0,75
<b>1-фазный ПКР</b>					
Освещение насосной станции	0,2	4	0,5	0,95	0,33

Таблица 4 – Технические данные электроприемников насосной станции № 2

Наименование электроприемника	Р <sub>н</sub> , кВт	n	Ки	cosφ	tgφ
<b>3-фазный ДР</b>					
Насос газового котла №1	30	1	1	0,80	0,75
<b>3-фазный ПКР</b>					
Насос газового котла №2	30	1	0,5	0,80	0,75
<b>1-фазный ПКР</b>					
Освещение насосной станции	0,2	4	0,5	0,95	0,33

Таблица 5 – Технические данные электроприемников блок контейнера компрессорной станции ЧКЗ

Наименование электроприемника	Р <sub>н</sub> , кВт	n	Ки	cosφ	tgφ
<b>3-фазный ДР</b>					
Компрессор ДЭН 100	55	1	1	0,80	0,75
Компрессор ДЭН 100	55	1	1	0,80	0,75
<b>3-фазный ПКР</b>					
Компрессор ДЭН 85	43	1	0,5	0,80	0,75
<b>1-фазный ПКР</b>					
Освещение блок контейнера	0,2	4	0,5	0,95	0,33

Нагрузки 3-х фазных ПКР приводим к длительному режиму

ТПЧ ввод №1

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 89 \cdot \sqrt{0,6} = 68,9 \text{ кВт}, \quad (19)$$

Приточный вентилятор №2

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 18 \cdot \sqrt{0,6} = 13,9 \text{ кВт},$$



Газовый котел №2

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 35 \cdot \sqrt{0,6} = 27,1 \text{ кВт},$$

ТПЧ ввод №2

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 89 \cdot \sqrt{0,6} = 68,9 \text{ кВт},$$

Насос горизонтального водяного бака №2

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 25 \cdot \sqrt{0,6} = 19,4 \text{ кВт},$$

Насос газового котла №2

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 30 \cdot \sqrt{0,6} = 23,2 \text{ кВт},$$

Компрессор ДЭН 85

$$P_n = P_n \sqrt{ПВ} = 43 \cdot \sqrt{0,6} = 33,3 \text{ кВт}.$$

Определяем нагрузку осветительной установки группы ОТК методом удельной мощности:

$$P_{oy} = P_{уд} \cdot S(F) \cdot K_{co} = 55 \cdot 40 \cdot 0,95 \cdot 10^{-3} = 2,09 \text{ кВт}, \quad (20)$$

где  $P_{уд}$  – удельная расчетная мощность на  $m^2$  производственной площади (Вт/ $m^2$ ).

$S$  – полезная освещаемая площадь ( $m^2$ ).

$K_{co}$  – коэффициент спроса = 0,95

Полученные числовые значения приведенной нагрузки потребителей приведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Приведенные нагрузки потребителя

Наименование	Мощность, кВт
Печь термическая колпаковая ПТК	51·3=153
Печь термическая вертикальная ПТВ	105·2=210
Печь термическая с выкатной подиной ПТВП	110·2=220
Газовый котел №1	27,1
Газовый котел №2	23,2
ТПЧ ввод №1,2	116,2·2=232,4
Приточный вентилятор №1	18
Приточный вентилятор №2	13,9
Крановые главные троллеи	83
Насос газового котла №1	30
Насос газового котла №2	23,2
Насос горизонтального водяного бака №1	25

## Окончание таблицы 6

Наименование	Мощность, кВт
Насос горизонтального водяного бака №2	19,4
Насос откачки воды из кессона водяного бака	19
Компрессор ДЭН 100	55·2=110
Компрессор ДЭН 85	33,3
Освещение участков	3,6
Освещение насосных помещений	0,2·2=0,4
Освещение блок контейнера	0,2
Осветительная установка группы ОТК	2,09

Исходя, из понятия категории надежности составляем схему электроснабжения с учетом распределения нагрузки. Так как потребитель 2-й категории, то питание должно быть от двух источников, данные по нагрузке потребителей от одного источника представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Сводная таблица нагрузок питание от одного источника

Наименование электроприемников	Заданная нагрузка, приведенная к длительному режиму						m	Сменная нагрузка			Максимальная нагрузка			
	n	P <sub>n</sub> кВт	P <sub>n</sub> · Σ кВт	K и	cos φ	tg φ		P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар	S <sub>см</sub> кВт	P <sub>м</sub> кВт	Q <sub>м</sub> квар	S <sub>м</sub> кВА	I <sub>м</sub> А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ПТК-1	1	51	51	1	0,9	0,48	-	51	24,48	56,57	51	24,48	56,57	-
ПТВ-2	1	105	105	1	0,85	0,62	-	105	65,1	123,54	105	65,1	123,54	-
ПТВП-2	1	98	98	1	0,9	0,48	-	98	47,04	108,70	98	47,04	108,70	-
Приточный вентилятор №1	1	18	18	1	0,85	0,62	-	18	11,16	21,18	18	11,16	21,18	-
Приточный вентилятор №2	1	13,9	13,9	1	0,85	0,62	-	13,9	8,618	16,35	13,9	8,62	16,35	-
ТПЧ ввод № 1	1	68,9	68,9	1	0,8	0,75	-	68,9	51,67	86,13	68,9	51,68	86,13	-
Освещение участка	24	0,07	1,68	1	0,95	0,33	-	1,68	0,55	1,77	1,68	0,55	1,77	-
Осветительная установка группы ОТК	40	0,05	2	1	0,95	0,33	-	2	0,66	2,11	2	0,66	2,11	-
ПТК-2,3	2	51	102	1	0,9	0,48	-	102	48,96	113,14	102	48,96	113,14	-
ПТВ-1	1	105	105	1	0,85	0,62	-	105	65,1	123,54	105	65,1	123,54	-
ПТВП-1	1	98	98	1	0,9	0,48	-	98	47,04	108,7	98	47,04	108,70	-
Газовый котел №1	1	35	35	1	0,85	0,62	-	35	21,7	41,181	35	21,70	41,18	-
Крановые главные троллеи	1	103	103	1	0,85	0,62	-	103	63,86	121,19	103	63,86	121,19	-
Газовый котел №2	1	23,2	23,2	1	0,85	0,62	-	23,2	14,38	27,297	23,2	14,38	27,30	-
ТПЧ ввод № 2	1	68,9	68,9	1	0,8	0,75	-	68,9	51,67	86,13	68,9	51,68	86,13	-

Окончание таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Освещение участка	28	0,07	1,96	1	0,95	0,33	-	1,96	0,65	2,06	1,96	0,65	2,06	-
Насос горизонтального водяного бака №1	1	25	25	1	0,8	0,75	-	25	18,75	31,25	25	18,75	31,25	-
Насос откачки воды из кессона водяного бака	1	19	19	1	0,85	0,62	-	19	11,78	22,356	19	11,78	22,36	-
Насос горизонтального водяного бака №2	1	19,4	19,4	1	0,8	0,75	-	19,4	14,55	24,25	19,4	14,55	24,25	-
Освещение насосной станции	4	0,05	0,2	1	0,95	0,33	-	0,2	0,07	0,21	0,2	0,07	0,21	-
Насос газового котла №1	1	30	30	1	0,8	0,75	-	30	22,5	37,5	30	22,5	37,50	-
Насос газового котла №2	1	23,2	23,2	1	0,8	0,75	-	23,2	17,4	29	23,2	17,4	29,00	-
Освещение насосной станции	4	0,05	0,2	1	0,95	0,33	-	0,2	0,07	0,21	0,2	0,07	0,21	-
Компрессор ДЭН 100	2	55	110	1	0,8	0,75	-	110	82,5	137,5	110	82,5	137,5	-
Компрессор ДЭН 85	1	33,3	33,3	1	0,8	0,75	-	33,3	24,97	41,63	33,3	24,98	41,63	-
Освещение блок контейнера	4	0,05	0,2	1	0,95	0,33	-	0,2	0,07	0,21	0,2	0,07	0,21	-
Итого:	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<b>1377,7</b>	-

Проведем расчет с подробным разъяснением на примере печи термической колпаковой ПТК

$$\sum P_n = P_n \cdot n = 2,2 \cdot 3 = 6,6 \text{ кВт} \quad (21)$$

Остальные электроприемники рассчитываем аналогично.

Определяем:

$$P_{см} = K_u P_n \Sigma = 1 \cdot 102 = 102 \text{ кВт}, \text{ результат заносим в таблицу.}$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg}\varphi = 102 \cdot 0,48 = 48,96 \text{ квар}, \text{ результат заносим в таблицу.}$$

$$S_{см} = \sqrt{Q_{см}^2 + P_{см}^2}, \quad (22)$$

$$S_{см} = \sqrt{Q_{см}^2 + P_{см}^2} = \sqrt{102^2 + 48,96^2} = 113,14 \text{ кВА}.$$

Результат заносим в таблицу 7.

Остальные рассчитываются аналогично, полная ведомость нагрузок потребителей представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Сводная ведомость нагрузок

Наименование электроприемников	Заданная нагрузка, приведенная к длительному режиму						$m$	Сменная нагрузка			Максимальная нагрузка			
	$n$	$P_n$ кВт	$\sum P_n$ кВт	$K_n$	$\cos \phi$	$\operatorname{tg} \phi$		$P_{cm}$ кВт	$Q_{cm}$ квар	$S_{cm}$ кВт	$P_m$ кВт	$Q_m$ квар	$S_m$ кВА	$I_m$ А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Секция №1</b>														
Участок №1														
ПТК-1	1	51	51	1	0,9	0,48	-	51	24,48	56,57	51	24,4	56,57	-
ПТВ-2	1	105	105	1	0,85	0,62	-	105	65,1	123,5	105	65,1	123,5	-
ПТВП-2	1	98	98	1	0,9	0,48	-	98	47,04	108,7	98	47	108,7	-
Приточный вентилятор №1	1	18	18	1	0,85	0,62	-	18	11,16	21,18	18	11,1	21,18	-
Приточный вентилятор №2	1	13,9	13,9	0,5	0,85	0,62	-	6,95	4,309	8,18	6,95	4,31	8,18	-
ТПЧ ввод № 1	1	68,9	68,9	0,5	0,8	0,75	-	34,45	25,84	43,06	34,45	25,8	43,06	-
Освещение участка	24	0,07	1,68	0,5	0,95	0,33	-	0,84	0,28	0,88	0,84	0,28	0,88	-
Осветительная установка группы ОТК	40	0,05	2	0,9	0,95	0,33	-	1,8	0,59	1,90	1,8	0,59	1,90	-
<b>Насосная станция №1</b>														
Насос горизонтального водяного бака №1	1	25	25	1	0,8	0,75	-	25	18,75	31,25	25	18,7	31,25	-
Насос откачки воды из кессона водяного бака	1	19	19	1	0,85	0,62	-	19	11,78	22,36	19	11,7	22,36	-
Насос горизонтального водяного бака №2	1	19,4	19,4	0,5	0,8	0,75	-	9,7	7,28	12,13	9,7	7,28	12,13	-
Освещение насосной станции	4	0,05	0,2	0,5	0,95	0,33	-	0,1	0,03	0,11	0,1	0,03	0,11	-
<b>Насосная станция №2</b>														
Насос газового котла №1	1	30	30	1	0,8	0,75	-	30	22,5	37,5	30	22,5	37,5	-
Насос газового котла №2	1	23,2	23,2	0,5	0,8	0,75	-	11,6	8,7	14,5	11,6	8,7	14,5	-
Освещение насосной станции	4	0,05	0,2	0,5	0,95	0,33	-	0,1	0,03	0,11	0,1	0,03	0,11	-
<b>Секция №2</b>														
Участок №2														
ПТК-2,3	2	51	102	1	0,9	0,48	-	102	48,96	113,1	102	48,9	113,1	-
ПТВ-1	1	105	105	1	0,85	0,62	-	105	65,1	123,5	105	65,1	123,5	-
ПТВП-1	1	98	98	1	0,9	0,48	-	98	47,04	108,7	98	47	108,7	-
Газовый котел №1	1	35	35	1	0,85	0,62	-	35	21,7	41,18	35	21,7	41,18	-

Окончание таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Крановые главные троллеи	1	83	83	1	0,85	0,62	-	83	51,46	97,66	83	51,5	97,66	-
Газовый котел №2	1	23,2	23,2	0,8	0,85	0,62	-	18,56	11,51	21,84	18,56	11,5	21,84	-
ТПЧ ввод № 2	1	68,9	68,9	0,5	0,8	0,75	-	34,45	25,84	43,06	34,45	25,8	43,06	-
Освещение участка	28	0,07	1,96	0,5	0,95	0,33	-	0,98	0,32	1,03	0,98	0,32	1,03	-
Компрессорная станция ЧКЗ														
Компрессор ДЭН 100	2	55	110	1	0,8	0,75	-	110	82,5	137,5	110	82,5	137,5	-
Компрессор ДЭН 85	1	33,3	33,3	0,5	0,8	0,75	-	16,65	12,49	20,81	16,65	12,6	20,81	-
Освещение блок контейнера	4	0,05	0,2	0,5	0,95	0,33	-	0,1	0,03	0,11	0,1	0,03	0,11	-
Всего на секции №1	83	-	475	-	0,87	0,57	>3	411,5	248	481,9	453	273	528,5	762
Всего на секции №2	43	-	661	-	0,86	0,58	>3	603,7	367	708,5	664	407	777,2	1122
Всего на стороне НН без ККУ	-	-	1136	0,8	0,8	0,52	-	1015	615	1190	1117	676	1306	1884
ККУ-КРМТФ-0,4-600-25 У3														
Всего на НН с ККУ	-	-	-	-	0,98	0,18	-	-	-	-	1117	676	1306	-
Потери с ККУ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,3	67,6	71,22	-
Всего на ВН с ККУ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1139	744	1377	-

Далее расчеты производятся для группы электроприемников

$$K_{иср} = \frac{P_{см} \Sigma}{P_n \Sigma} = \frac{1015}{1136} = 0,8, \text{ результат заносим в таблицу 8.}$$

$$S_{см} = \sqrt{Q_{см}^2 + P_{см}^2} = \sqrt{615^2 + 1015^2} = 1190 \text{кВА}, \text{ результат заносим в таблицу 8.}$$

$$\cos \phi = \frac{P_{см} \Sigma}{S_{см} \Sigma}, \quad (23)$$

$$\cos \phi = \frac{P_{см} \Sigma}{S_{см} \Sigma} = \frac{1015}{1190} = 0,8, \text{ результат заносим в таблицу 8.}$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{Q_{см} \Sigma}{P_{см} \Sigma} = \frac{615}{1015} = 0,52, \text{ результат заносим в таблицу 8.}$$

В соответствии с практикой проектирования  $K^1_m = 1,1$  при  $n_{\phi} \leq 10$ .

Определяем:

$$P_m = K_m \cdot \Sigma P_{см} = 1,1 \cdot 1015 = 1117 \text{кВт}, \text{ результат заносим в таблицу 8.}$$

$$Q_m = K_m \cdot Q_{см} = 1,1 \cdot 615 = 676 \text{квар},$$

$$S_m = \sqrt{Q_m^2 + P_m^2} = \sqrt{676^2 + 1117^2} = 1306 \text{кВА.}$$

Определяем ток на РУ

$$I_M = \frac{S_M}{U_n \cdot \sqrt{3}}, \quad (24)$$

$$I_M = \frac{S_M}{U_n \cdot \sqrt{3}} = \frac{1306}{0,4 \cdot \sqrt{3}} = 1884 A.$$

Определение потерь мощности в трансформаторе:

$$\Delta P = 0,02 S_M = 0,02 \cdot 1036 = 20,7 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = 0,1 S_M = 0,1 \cdot 1036 = 103,6 \text{ квар},$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2} = 105,6 \text{ кВА}.$$

Определяем расчётную мощность трансформатора с учётом потерь, но без компенсации реактивной мощности:

$$S_T \geq S_P = 0,7 S_M = 0,7 \cdot 1036 = 725,2 \text{ кВА}.$$

## 2.2 Выбор оборудования

Количество силовых трансформаторов на трансформаторной подстанции зависит от категории нагрузки по степени бесперебойности электроснабжения. Основная часть потребителей, электроэнергии, относится ко 2-й категории по надёжности электроснабжения.

Принимается двух трансформаторная подстанция с использованием сухих трансформаторов с литой изоляцией.

По расположению подстанции различают: внутрицеховые, расположенные в здании цеха; встроенные, т. е. вписанные в контур основного здания ( но при этом выкатка трансформаторов и выключателей производится из здания ); пристроенные, т. е. примыкающие к основному зданию ( с выкаткой трансформаторов и выключателей наружу здания ); отдельно стоящие.

По принципу обслуживания подстанции могут быть сетевые и абонентские. Сетевые подстанции обслуживаются персоналом энергосистемы, а абонентские – персоналом потребителя.

Трансформаторная подстанция (ТП) предназначена для приема электрической энергии на напряжении 6 кВ, понижения напряжения до 0,4 кВ и распределения электроэнергии ЭП. В ТП используются силовые трансформаторы типа ТМ (трансформаторы масляные с естественной циркуляцией воздуха и масла для комплектных трансформаторных подстанций).

Для данной подстанции выбираем трансформаторы IDR-T.

Трансформаторы IDR-T пожаробезопасны, так как имеют негорючую изоляцию из эпоксидной смолы. В процессе нагрева и эксплуатации смола не выделяет каких-либо вредных веществ. Для защиты от перегрева каждый трансформатор имеет датчик контроля температуры, расположенный внутри обмоток. Датчики присоединяются к реле контроля температуры, которое имеет две установки на сигнал и на отключение.

Трансформаторная подстанция относится ко 2-й категории по надежности, следовательно, выбираем два сухих трансформатора с литой изоляцией IDR-T 6/0,4 кВ 2000 кВА УЗ.

### **2.2.1 Выбор комплексной трансформаторной подстанции**

Подстанция имеет следующие виды защиты: на стороне ВН – защита силового трансформатора от межфазных КЗ; на стороне НН – от перегрузок силового трансформатора, и от перегрузки КЗ линий 0,4 кВ.

Для защиты силового трансформатора от межфазных КЗ установлены автоматические выключатели. Защита от перегрузок и КЗ отходящих линий 0,4 кВ осуществляется тоже автоматическими выключателями. Контроль напряжения и величина тока на шинах 0,4 кВ производится по показаниям цифрового мультиметра. Учет активной и реактивной энергии осуществляется счетчиками, подключенными к трансформаторам тока. В подстанции имеются щит тепловой защиты трансформатора. В КТПН в высоковольтном отделении расположено оборудование для распределительных сетей высокого

напряжения. В низковольтном отделении расположены: 12 автоматических выключателя, счетчик активной и реактивной энергии, трансформаторы тока, цифровой мультиметр, данные по количеству коммутационной аппаратуры приведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Трансформаторная подстанция 2000кВА 6/0,4кВ

Наименование оборудования	Количество
Автоматический выключатель 3200А 65кА тип 2 выкат. Электронный расцепитель М-PRO 27 габарит 2	2
Автоматический выключатель 1600А 50кА тип 1 выкат. MPRO50	3
Силовой трансформатор IDR-T 6/0,4 кВ 2000 кВА У3	2
Трансформатор тока 3000/5А 0,5S повышенного класса точности	6
Счетчик эл. энергии многофункциональный ПСЧ-4ТМ.05МК.04	2
Трансформатор тока 3000/5А 0,5S б/ш 15 ВА ТТИ-125	6
Цифровой мультиметр DM6000	2
Автоматический выключатель TS630	2
Автоматический выключатель TS400	3
Автоматический выключатель TS160	2

### 2.2.2 Выбор силового трансформатора

Трансформатор силовой, с литой изоляцией, с естественным охлаждением, номинальная мощность 2000 кВА, климатическое исполнение и категория размещения У3, номинальная частота 50 Гц, схема и группа соединения обмоток D/уп-11, регулирование напряжения без возбуждения ПБВ  $\pm 2,5\%$ , паспортные данные трансформатора приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики трансформатора

Параметр	Значение
Номинальное напряжение обмотки ВН, кВ	6
Номинальное напряжение обмотки НН, кВ	0,4
Номинальный ток обмотки ВН, А	192,45
Номинальный ток обмотки НН, А	2886,75
Ток холостого хода, %	0,282
Потери короткого замыкания ( $t=75^{\circ}\text{C}$ ), Вт	18028
Напряжение короткого замыкания, %	6,58



### 2.2.3 Трансформаторы тока

Трансформатор тока М70487 3000/5 0,5S повышенного класса точности, данные приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Паспортные данные трансформатора тока

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	0,72
Номинальный первичный ток, А	3000
Номинальный вторичный ток, А	5
Класс точности	0,5S
Номинальная вторичная нагрузка, ВА	25
Термальный класс В, °С	130
Габаритные размеры, мм	150x129x50

### 2.2.4 Расчет сечения линии электропередач

Критерием расчета сечения линий электропередачи является:

- длительно допустимый ток  $I_{\text{доп}}$ ;
- экономическая плотность тока  $I_{\text{ЭК}}$ ;

Выбор сечения производится по экономической плотности тока по формуле :

$$q_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{РАСЧ}}}{J_{\text{ЭК}}}, \quad (24)$$

где  $J_{\text{ЭК}}$  - нормированное значение экономической плотности тока, согласно ПУЭ, кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами, при годовом числе часов использования максимума нагрузки  $J_{\text{ЭК}} = 1,6, \text{ А/мм}^2$ .

$I_{\text{РАСЧ}}$  - максимальный ток на стороне 6 кВ.

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{макс}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{1306}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 6} = 155,5 \text{ А},$$

$$I_{\text{макс}} = 2 \cdot I_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 155,5 = 311 \text{ А}, \quad (25)$$

$$q_3 = \frac{I_{\text{расч}}}{J_{\text{эк}}} = \frac{311}{1,6} = 194,3 \text{ мм}^2.$$

При проектировании электрических сетей важно обеспечить наименьшую стоимость электроэнергии. Это зависит от выбранных сечений проводов. Если их занижить, то потери энергии возрастут, а если увеличить – уменьшится стоимость потерянной энергии, однако это приводит к росту капитальных первоначальных затрат на сооружение сети.

Так как потребитель относится ко второй категории необходима резервная линия, то есть выбираем кабель основного и резервного питания.

Выбираем два кабеля АпВнг LS 3х(240/50)

Выбираем усиленный кабельный лоток для внутрицехового монтажа, расстояние – 300 м.

### 2.2.5 Счетчик активной и реактивной электроэнергии

Принимаем счетчик электрической энергии многофункциональный ПСЧ-4ТМ.05МК.04, паспортные данные счетчика приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические данные счетчика

Параметр	Значение
Класс точности при измерении активной/реактивной энергии	0,5S/1
Номинальный базовый (максимальный) ток, А	5(10)
Номинальное напряжение, В	3· (120-230)/(208-400)
Чувствительность при измерении активной энергии, Вт	1,38
Чувствительность при измерении реактивной энергии, Вт	2,75
Передача данных	Коммуникатор 3G C-1

### 2.2.6 Выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения

На данной подстанции большая часть потребителей объединено в две секции. в секцию №1 входят следующие потребители: участок №1, насосная станция №1,2; в секцию №2: участок №2, компрессорная станция ЧКЗ.

Выберем автоматические выключатели для секции №1,2.

Для выбора аппарата защиты нужно знать ток в линии, где он установлен, тип его и число фаз. Токи (в амперах) в линии сразу после трансформатора определяются по формуле

$$I_M = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_{н.т}}, \quad (26)$$

где  $S_M$  – номинальная мощность линии, кВт;

$U_{н.т}$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Автоматы выбираются согласно условиям:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}; \quad I_{н.р} \geq I_{\delta.л} \text{ – для линии без ЭД;}$$

$$U_{н.а} \geq U_c; \quad I_{н.р} \geq 1,1I_M \text{ – для линии с одним ЭД;}$$

$$I_{н.р} \geq 1,25I_{\delta.л} \text{ – для групповой линии с несколькими ЭД,}$$

Ток секции № 1 равен:

$$I_M = 762,8 \text{ А.}$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_M \text{ – для линии с несколькими ЭД,} \quad (27)$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 762,8 = 953,5 \text{ А.}$$

где  $I_0$  – ток отсечки автомата, А;

Ток секции № 2 равен:

$$I_M = 1122 \text{ А,}$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_M \text{ – для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 1122 = 1402,5 \text{ А.}$$

Рассчитаем каждый потребитель отдельно.

Линия после секционного автоматического выключателя на участок №1.

Ток в линии равен:

$$I_M = 576,5 \text{ А,}$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_M \text{ – для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 576,5 = 720,6 \text{ А.}$$

Линия после секционного автоматического выключателя на участок №2.

Ток в линии равен:

$$I_m = 871,7 \text{ A,}$$

$I_0 \geq 1,25 \cdot I_m$  – для линии с несколькими ЭД,

$$I_0 = 1,25 \cdot 871,7 = 1089,6 \text{ A.}$$

Участки № 1,2 имеют большую нагрузку необходимо разделить дополнительно на дополнительные группы, группы участков приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Распределение нагрузки на группы участков №1 и 2

Наименование электроприемников	Заданная нагрузка, приведенная к длительному режиму						m	Сменная нагрузка			Максимальная нагрузка			
	n	P <sub>н</sub> кВт	P <sub>н</sub> ∑ кВт	Kи	cos φ	tg φ		P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> квар	S <sub>см</sub> кВт	P <sub>м</sub> кВт	Q <sub>м</sub> квар	S <sub>м</sub> кВА	I <sub>м</sub> А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Участок №1 группа №1														
ПТВ-2	1	105	105	1	0,85	0,62	-	105	65,1	123	105	65,1	123,5	-
ТПЧ ввод № 1	1	68,9	68,9	0,5	0,8	0,75	-	34,45	25,84	43,1	34,45	25,8	43,06	-
Итого группа №1	2		156		0,83	0,69	-	139,5	90,94	167	153,4	100	183,1	<b>264,3</b>
Участок №1 группа №2														
ПТК-1	1	51	51	1	0,9	0,48	-	51	24,48	56,6	51	24,5	56,57	-
ПТВП-2	1	98	98	1	0,9	0,48	-	98	47,04	109	98	47	108,7	-
Приточный вентилятор №1	1	18	18	1	0,85	0,62	-	18	11,16	21,2	18	11,2	21,18	-
Приточный вентилятор №2	1	13,9	13,9	0,5	0,85	0,62	-	6,95	4,309	8,18	6,95	4,31	8,18	-
Освещение участка	24	0,07	1,68	0,5	0,95	0,33	-	0,84	0,28	0,88	0,84	0,28	0,88	-
Осветительная установка группы ОТК	40	0,05	2	0,9	0,95	0,33	-	1,8	0,59	1,90	1,8	0,59	1,90	-
Итого группа №2	68		185		0,9	0,48	-	176,6	87,86	197	194,2	96,6	217	<b>313,2</b>
Участок №2 группа №3														
ПТВ-1	1	105	105	1	0,85	0,62	-	105	65,1	123	105	65,1	123,5	-
ПТВП-1	1	98	98	1	0,9	0,48	-	98	47,04	109	98	47	108,7	-
Газовый котел №2	1	23,2	23,2	0,8	0,85	0,62	-	18,56	11,51	21,8	18,56	11,5	21,84	-
ТПЧ ввод № 2	1	68,9	68,9	0,5	0,8	0,75	-	34,45	25,84	43	34,45	25,8	43,06	-
Итого группа №1	4		295		0,85	0,62	-	256	149,5	297	281,6	164	326,1	<b>470,7</b>
Участок №2 группа №4														
ПТК-2,3	2	51	102	1	0,9	0,48	-	102	48,96	113	102	49	113,1	-
Газовый котел №1	1	35	35	1	0,85	0,62	-	35	21,7	41,2	35	21,7	41,18	-
Крановые главные троллеи	1	83	83	1	0,85	0,62	-	83	51,46	97,6	83	51,5	97,66	-
Освещение участка	28	0,07	1,96	0,5	0,95	0,33	-	0,98	0,32	1,03	0,98	0,32	1,03	-
Итого группа №2	32		222		0,89	0,51	-	220,9	122,4	253	243,1	135	277,9	<b>401,1</b>

Линия после секционного автоматического выключателя на участок №1 группа №1.

$$I_m = 264,3 \text{ A},$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_m \text{ — для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 264,3 = 330,4 \text{ A}.$$

Линия после секционного автоматического выключателя на участок №1 группа №2.

$$I_m = 313,2 \text{ A},$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_m \text{ — для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 313,2 = 391,5 \text{ A}.$$

Линия после секционного автоматического выключателя на участок №2 группа №3.

$$I_m = 470,7 \text{ A},$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_m \text{ — для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 470,7 = 588,4 \text{ A}.$$

Линия после секционного автоматического выключателя на участок №2 группа №4.

$$I_m = 401,1 \text{ A},$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_m \text{ — для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 401,1 = 501,4 \text{ A}.$$

Линия после секционного автоматического выключателя на насосную станцию №1.

Ток в линии равен

$$I_m = 104,4 \text{ A},$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_m \text{ — для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 104,4 = 130,5A.$$

Линия после секционного автоматического выключателя на насосную станцию №2.

Ток в линии равен

$$I_M = 82,7 A,$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_M \text{ – для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 82,7 = 103,4A.$$

Линия после секционного автоматического выключателя на компрессорную станцию ЧКЗ.

Ток в линии равен

$$I_M = 251,5 A,$$

$$I_0 \geq 1,25 \cdot I_M \text{ – для линии с несколькими ЭД,}$$

$$I_0 = 1,25 \cdot 251,5 = 314,4A.$$

Данные по номинальным токам линий потребителей представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Сводная таблица автоматических выключателей для групп и отдельных потребителей.

Наименование объекта	Марка автоматического выключателя	Номинальный ток, А
Секция №1		
Участок №1		
Группа №1	TS400	400
Группа №2	TS400	400
Насосная станция №1	TS160	160
Насосная станция №2	TS160	160
Секция №2		
Участок №2		
Группа №3	TS630	630
Группа №4	TS630	630
Компрессорная станция ЧКЗ	TS400	400

### Выбор линий электроснабжения

Проводники для линий выбираются с учетом соответствия аппарату защиты согласно условиям:

$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)}$  – для линии, защищенной автоматом с комбинированным расцепителем;

$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{вс}$  – для линии, защищенной только от КЗ предохранителем;

$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{тр}$  – для линии с тепловым реле,

где  $I_{доп}$  – допустимый ток проводника, А;

$K_{зщ}$  – коэффициент защиты.

Расчет линии участка №1 группы №1

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)}, \quad (28)$$

$$K_{зщ} = 1$$

$$I_{н.а} = 330,4 \text{ А},$$

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 330,4 = 413 \text{ А},$$

Расчет линии участка №1 группы №2

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 391,5 = 489,4 \text{ А},$$

Расчет линии участка №2 группы №3

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 588,4 = 735,5 \text{ А},$$

Расчет линии участка №2 группы №4

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 501,4 = 626,7 \text{ А},$$

Расчет линии насосной станции №1

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 130,5 = 163,1 \text{ А},$$

Расчет линии насосной станции №2

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 103,4 = 129,2 \text{ А},$$

Расчет линии компрессорной станции ЧКЗ

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{\partial(n)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 251,5 = 314,4 \text{ А}.$$

Для прокладки с нормальной зоной опасности в земле и отсутствии механических повреждений выбираем кабеля приведенные в таблице 15.

Таблица 15 – Выбор кабелей

Наименование линии	$I_{доп.}, A$	$I_{дл. топ.}, A$	Марка кабеля
Линия участка №1 группы №1	330,4	380	ВВГнг-LS 3x185
Линия участка №1 группы №2	391,5	430	ВВГнг-LS 3x1x185
Линия участка №2 группы №3	588,4	620	ВВГнг-LS 3x1x240
Линия участка №2 группы №4	501,4	525	ВВГнг-LS 3x240
Линия участка насосной станции №1	130,5	160	ВВГнг-LS 3x25
Линия участка насосной станции №2	103,4	120	ВВГнг-LS 3x16
Линия участка компрессорной станции	251,5	285	ВВГнг-LS 3x70

### 2.2.7 Выбор распределительного устройства для защиты трансформаторов и управлением ввода резерва

Для защиты трансформаторов и управлением резервом выбираем комплексное распределительное устройство с элегазовой изоляцией серии RM6, паспортные данные компенсирующего устройства приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические характеристики комплексное распределительное устройство с элегазовой изоляцией RM6

Параметр	Значение
Номинальное напряжение, кВ	6
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2
Номинальный ток сборных шин, А	630
Номинальный ток выключателя элегазового ВЭ, А	200
Номинальный ток выключателя нагрузки ВНЭ, А	630
Номинальный ток отключения выключателя элегазового ВЭ, кА	20
Односекундный ток термической стойкости	20
Параметры сквозного тока короткого замыкания, кА	51
Испытательные напряжения, кВ	
Напряжение промышленной частоты	32
Масса, кг	338



КРУЭ РМ6-распределительное устройство, предназначенное для установки в радиальных, магистральных и петлевых распределительных сетях на 6, 10, 20 кВ.

Выполняет функции присоединения, питания и защиты одного или двух распределительных трансформаторов мощностью до 3000кВА с помощью силового выключателя с защитой. Коммутационные аппараты и сборные шины расположены в герметичном корпусе, заполненном элегазом.

Серия распределительных устройств РМ6 включают в себя полный ряд функций на среднем напряжении, которые позволяют производить:

- присоединение, питание и защиту трансформаторов в радиальных или кольцевых сетях при помощи выключателей на 200А с независимой цепью защиты;
- присоединение и питание линий при помощи выключателей нагрузки;
- защиту линий при помощи выключателя на 630 А;
- производство частных понижающих подстанций с измерениями на стороне среднего напряжения.

#### *Конструктивные особенности*

Элегазовый выключатель (выключатель нагрузки) представляет собой трехпозиционный коммутационный аппарат, который может находиться в одном из трех положений: «Включен», «Отключен», «Заземлен». Это обеспечивает естественную систему блокировок, исключающую возможность доступа в кабельный отсек при незаземленных жилах, и блокирует отключение выключателя нагрузки при открытом кабельном отсеке. В РМ6 предусмотрен дополнительный механический указатель положения подвижных контактов выключателей нагрузки. Заземляющий разъединитель, в соответствии с нормативными требованиями, обладает стойкостью к включению на короткое замыкание.

Мнемосхема с указателями положения коммутационных аппаратов приведена на передней панели. Механические и моторные (опция) приводы

расположены в отсеке низкого напряжения за передней панелью. Гнезда управления приводами выключателей (выключателей нагрузки) и заземляющих разъединителей служат для оперативных переключений с помощью рычага управления. Рычаг управления имеет антирефлексное устройство, исключающее возможность отключения выключателя нагрузки или заземляющего разъединителя сразу же после их включения. Сигнал на отключение функции D подается:

- вручную, от кнопки передней панели;
- в случае протекания аварийного тока;
- в случае поступления напряжения на независимый расцепитель (отключение от тепловой защиты трансформатора).

Индикаторы из трех неоновых ламп, подсоединенных к емкостным делителям, сигнализируют наличие или отсутствие напряжения на кабельных зажимах присоединений. Типовым решением для России и СНГ является болтовое присоединение кабеля.

Устройства релейной защиты VIP30 или VIP300 не требуют дополнительного источника питания, так как питаются непосредственно от датчиков тока. Конкретный тип устройства релейной защиты определяется проектом.

Токовременные установки защит выставляются с помощью вращающихся переключателей на передней панели реле в соответствии с картой селективности, согласованной со службами эксплуатации электросетей.

Рассчитаем токи короткого замыкания для трансформатора

$$I_k = \frac{100}{u_k + p} I_{ном.тр}, \quad (29)$$

где  $U_k$  – напряжение короткого замыкания, %;

$I_{ном.тр}$  – номинальный ток трансформатора на стороне ВН или НН из паспорта трансформатора, А.

$$p = \frac{100 \cdot S_{ном.тр}}{S_k} I_{ном.тр}, \quad (30)$$

где  $S_{\text{ном. тр}}$  – номинальная мощность трансформатора из паспорта, МВ-А;  
 $S_{\text{К}}$  – мощность трехфазного К.З. питающей энергосистемы в точке, которой подключен трансформатор, на выводах ВН, задается энергоснабжающей организацией, МВ-А;

$p = 0$  – если мощность энергосистемы относительно велика.

$$I_{\text{к.вн}} = \frac{100}{6,58+2} 192,45 = 2,2 \text{ кА},$$

$$I_{\text{к.нн}} = \frac{100}{6,58+2} 2886,7 = 33,6 \text{ кА}.$$

Полученные токи входят в диапазон установок и регулирования КРУЭ РМ6.

## 2.2.8 Расчет токов короткого замыкания на стороне высокого и низкого напряжения

Для расчета токов короткого замыкания составим расчетную схему (рисунок 1).

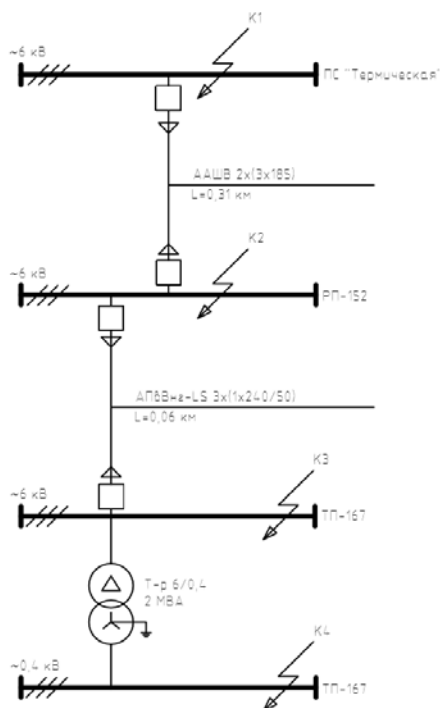


Рисунок 1 – Расчетная схема системы энергоснабжения

Для расчета в именованных единицах сопротивления составим схему замещения (рисунок 2).

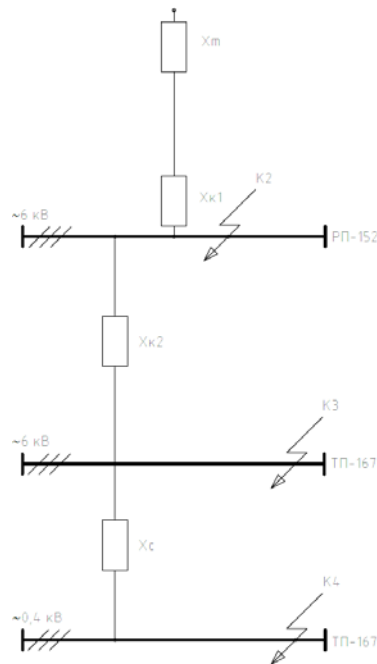


Рисунок 2 – Схема замещения системы энергоснабжения

В качестве исходной информации, задано установившееся значение 3-х фазного К.З. на шинах 6,3 кВ.

$$I_{к.з.} = 7,6 \text{ кА.}$$

В рассматриваемой схеме на действие токов К.З. должны быть проверены выключатель нагрузки и разъединитель.

Условием проверки аппаратов на электродинамическую устойчивость токам К.З. является

$$i_{уд} \leq i_{дин} = I_{скв},$$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз}, \tag{31}$$

где  $i_{уд}$  – ударный ток К.З.;

$K_y$  – ударный коэффициент.  $K_y = 1,8$ ;

Условием проверки на термическую стойкость токам К.З. является

$$I_{к.з.}^2 \cdot t_{пр} < I_{тер.стой.}^2 \cdot t_{тер.стой.}, \tag{32}$$

где  $t_{тер.стой.}$  – время термической стойкости по справочнику,  $\text{кА}^2\text{с}$ .

$I_{\text{тер. стой.}}$  – ток термической стойкости по справочнику, А,

$I_{\text{к.з.}}$  – ток короткого замыкания,  $I_{\text{к.з.}} = 7,6 \text{ кА}$ ,

$t_{\text{пр}}$  – приведённое время действия 3-х фазного К.З. , оно определяется временем срабатывания защиты и собственным временем отключения аппарата.

$$t_{\text{пр.}} = t_{\text{с.з.}} + t_{\text{откл.}}, \quad (33)$$

где  $t_{\text{с.з.}}$  – время действия основной защиты от К.З. (0,02.....0,05 с. )

$t_{\text{откл.}}$  – время отключения выключателя на стороне равно = 0,055 с.

$$t_{\text{пр.}} = 0,02 + 0,055 = 0,075 \text{ с.}$$

Проверка выбранных аппаратов на подстанции

Переходными сопротивлениями контактов аппаратов пренебрегаем, а сопротивление системы и сопротивления линии учитываем.

Находим сопротивление системы ( $X_c$  )

$$x_c = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{к.з.}}}, \quad (34)$$

$$x_c = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 7,6} = 0,48 \text{ Ом.}$$

Определим активное и индуктивное сопротивление линии

$$R_k = R_{\text{уд. к.}} \cdot L_{\text{каб}}, \quad (35)$$

$$R_{k1} = 0,63 \cdot 0,31 = 0,195 \text{ Ом,}$$

$$R_{k2} = 0,42 \cdot 0,06 = 0,025 \text{ Ом,}$$

$$R_l = 0,195 + 0,025 = 0,22 \text{ Ом,}$$

$$X_k = X_{\text{уд. к.}} \cdot L_l, \quad (36)$$

$$X_{k1} = 0,43 \cdot 0,31 = 0,133 \text{ Ом,}$$

$$X_{k2} = 0,13 \cdot 0,06 = 0,007 \text{ Ом,}$$

$$X_l = 0,133 + 0,007 = 0,14 \text{ Ом.}$$

Определяем полное сопротивление участка сети

$$X_{\text{уч}} = X_c + X_l, \quad (37)$$

$$X_{\text{уч}} = 0,48 + 0,14 = 0,62 \text{ Ом.}$$

$$Z_{\text{уч}} = \sqrt{R_{\text{л}}^2 + X_{\text{уч}}^2}, \quad (38)$$

$$Z_{\text{уч}} = \sqrt{0,22^2 + 0,62^2} = 0,66 \text{ Ом.}$$

Определяем ток К.З. на подстанции

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (39)$$

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{6,3}{\sqrt{3} \cdot 0,66} = 5,52 \text{ кА.}$$

*Проверка на электродинамическую устойчивость*

Определяем ударный ток на подстанции

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{к.з.}}, \quad (40)$$

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 5,52 = 14,1 \text{ кА.}$$

У всех выбранных аппаратов на трансформаторной подстанции ток динамической стойкости выше расчетного тока, значит все аппараты удовлетворяют требованиям проверки на электродинамическую устойчивость.

Проверяем аппараты на термическую устойчивость токам К.З.

$$I_{\text{к.з.}}^2 \cdot t_{\text{пр.}} = 5,52^2 \cdot 0,075 = 2,3 \text{ кА.}$$

Заводом изготовителем на элегазовый выключатель задан предельный ток термической стойкости 20 кА и допустимое время его действия 1с.

$$I_{\text{терм. стой.}}^2 \cdot t_{\text{терм. стой.}} = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА.} \quad (41)$$

$$2,3 < 400$$

Следовательно, выключатель обладает термической стойкостью.

Для проверки оборудования КТПН на действие токов К.З. на стороне 0,4 кВ требуется:

- рассчитать активное, индуктивное и полное сопротивление трансформатора;
- рассчитать полное сопротивление за трансформатором;
- привести ток К.З. к стороне 0,4 кВ;

- рассчитать ударный ток и по нему проверить выбранные выключатели, сравнив его с током предельной коммутационной способности выключателя.

Активное сопротивление трансформатора

$$R_T = \frac{\Delta P_{к.з.} \cdot U_H^2 \cdot 10^3}{S_H^2}, \quad (42)$$

$$R_T = \frac{18 \cdot 6^2 \cdot 10^3}{1306^2} = 0,38 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление трансформатора

$$X_T = \frac{10 \cdot U_K \cdot U_H^2}{S_H}, \quad (43)$$

$$X_T = \frac{10 \cdot 6,58 \cdot 6^2}{1306} = 1,81 \text{ Ом.}$$

Полное сопротивление трансформатора

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}, \quad (44)$$

$$Z_T = \sqrt{0,38^2 + 1,81^2} = 1,85 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление

$$Z_{сум.} = Z_{уч.} + Z_T, \quad (45)$$

$$Z_{сум.} = 0,66 + 1,85 = 2,51 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем ток короткого замыкания в точке КЗ за трансформатором на стороне 0,4 кВ

$$I_{к.з.} = \frac{U_{ВН}^2}{\sqrt{3} \cdot Z_{сум} \cdot U_{НН}}, \quad (46)$$

$$I_{к.з.} = \frac{6^2}{\sqrt{3} \cdot 2,51 \cdot 0,4} = 20,7 \text{ кА.}$$

По этому току будем проверять все автоматы на подстанции.

Проверка автоматических выключателей на действие токов К.З.

Необходимо выдержать условие

$$i_{уд} \leq i_{дин} = I_{пкс},$$

Рассчитаем ударный ток на стороне 0,4 кВ

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{к.з.},$$

где  $I_{к.з.}$  – ток короткого замыкания на стороне 0,4 кВ

$K_y$  – ударный коэффициент.  $K_y = 1$

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 20,7 = 29,3 \text{ кА}.$$

Так как для всех выбранных автоматических выключателей на подстанции значение предельной коммутационной способности больше 29,3 кА, значит, они обладают динамической стойкостью, данные по точкам короткого замыкания приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Полученные значения токов короткого замыкания

№ точки К.З.	Наименование места К.З.	Номинальное напряжение $U_n$ , кВ	Ток К.З., кА
К1	ПС Термическая РУ-6кВ	6,3	9,46
К2	РП-152 РУ-6кВ	6,3	9,15
К3	ТП-167 РУ-6кВ	6,3	5,52
К4	ТП-167 РУ-0,4кВ	0,4	20,7

Данные по точкам К1, К2 даны энергоснабжающей компанией ООО «ЭСК».

### 2.2.9 Расчет и выбор компенсирующего устройства

Определяем расчетную реактивную мощность КУ из соотношения

$$Q_{к.р} = \alpha \cdot P_m \cdot (tg\phi - tg\phi_k), \quad (47)$$

где  $Q_{к.р.}$  – расчетная мощность КУ, квар

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos \phi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;

$tg \phi, \bar{}$  коэффициенты реактивной мощности.

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 1117 \cdot (0,7 - 0,33) = 372 \text{ квар}.$$



Выбираем установку компенсации реактивной мощности КРМТФ-0,4-600-25 УЗ

Определяем фактическое значение  $\cos\phi_\phi$

$$\operatorname{tg}\phi_\phi = \operatorname{tg}\phi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_m}, \quad (48)$$

где  $Q_{к.ст}$  – стандартное значение мощности выбранного ККУ квар.

$$\operatorname{tg}\phi_\phi = 0,7 - \frac{600}{0,9 \cdot 1117} = 0,18.$$

$$\cos\phi_\phi = \cos(\operatorname{arctg} 0,18) = 0,98.$$

Окончательно выбираем КРМТФ-0,4-600-25 УЗ.

КРМТФ – регулируемые тиристорные конденсаторные установки с фильтром гармоник на 134 Гц для защиты конденсаторов от токов высших гармоник:

- номинальное напряжение 0,4 кВ;
- номинальная мощность установки 600 квар;
- шаг (точность) регулирования 25 квар;
- климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70

(УЗ – умеренно-холодный климат).

Определяем расчетную мощность трансформатора с учетом ККУ

$$\Delta P = 0,02 \cdot S_{нн} = 0,02 \cdot 1117 = 22,3 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = 0,1 \cdot S_{нн} = 0,1 \cdot 676 = 67,6 \text{ квар},$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2} = 71,22 \text{ кВА}.$$

### 2.3 Заземление

Согласно ПУЭ допустимое сопротивление заземляющего устройства:

$$r_3 \leq 0,5 \text{ Ом}.$$

Необходимое сопротивление искусственного заземлителя при условии отсутствия естественных заземлителей

$$R_u = r_3 \leq 0,5 \text{ Ом}.$$

Устанавливаем расчетное удельное сопротивление грунта с учетом сезонности:

$$\rho_{расч} = \rho_{ном} \cdot k_{\rho}, \quad (50)$$

где  $k_{\rho} = 1,4$  - повышающий коэффициент для климатической зоны,

$\rho_{ном} = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  – удельное сопротивление почвы (суглинок),

$$\rho_{расч} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Определяем сопротивление растеканию вертикального заземлителя из стального уголка 50x50x5 мм, верхний конец ниже уровня земли на 0,5 м, не зависимо от схемы расположения – в ряд или по контуру.

$$R_{Вод} = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right), \quad (51)$$

где  $l = 4 \text{ м}$  – длина стержня;

$d = 0,016 \text{ м}$  – диаметр стержня;

$t = 2,5 \text{ м}$  – расстояние от поверхности земли до центра стержня.

$$R_{Вод} = \frac{140}{2 \cdot 3,142 \cdot 4} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 4}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,5 + 4}{4 \cdot 2,5 - 4} \right) = 36,93 \text{ Ом}.$$

Общий вид заземлителя показан на рисунке 3.

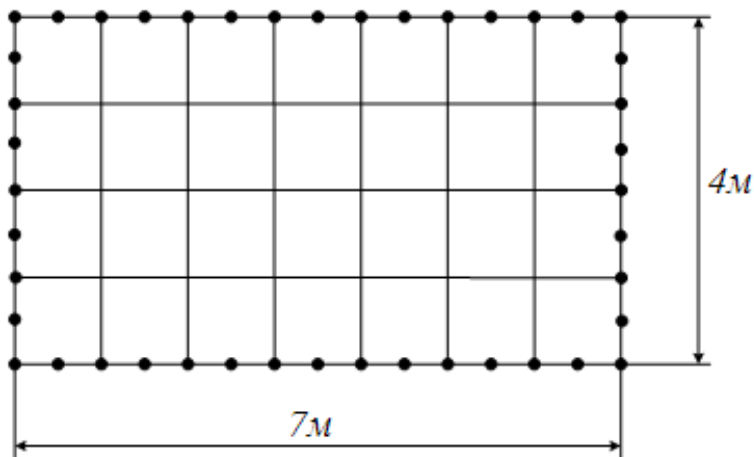


Рисунок 3 – Устройство заземления

Определяем сопротивление растеканию горизонтального заземлителя из полосовой стали в виде сетки, расположенного ниже уровня земли на 0,5 м.

$$R_{гор} = \frac{\rho_{расч}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}, \quad (52)$$

где  $b = 0,04$  м – ширина полосы;  
 $t = 0,5$  м – глубина заложения;  
 $l = 67$  м – длина полосы.

$$R_{\text{cop}} = \frac{140}{2 \cdot 3,142 \cdot 470} \cdot \ln \frac{2 \cdot 67^2}{0,04 \cdot 0,5} = 0,85 \text{ Ом.}$$

Уточняем сопротивление вертикальных заземлителей с учетом проводимости полосовых заземлителей:

$$R_B = \frac{R_{\text{cop}} \cdot R_u}{R_{\text{cop}} - R_u}, \quad (53)$$

$$R_B = \frac{0,85 \cdot 0,5}{0,85 - 0,5} = 1,21 \text{ Ом.}$$

Уточняем количество вертикальных заземлителей с учетом коэффициента использования:

$$n = \frac{R_{\text{Бод}}}{R_B \cdot \eta} = \frac{36,93}{1,21 \cdot 0,7} = 44.$$

## 2.4 Безопасность и экологичность проекта

### 2.4.1. Цели и задачи охраны труда

Цель охраны труда можно разделить на две составляющие. Первая (человеческая) – сохранение здоровья работника. Вторая (производственная) – обеспечение роста производительности труда.

*Задачи:*

- установление оптимальных соотношений между факторами производственной среды. Это позволяет при данном уровне техники и технологии снизить неблагоприятное воздействие производственных факторов на работника.
- установление определенных норм, допустимых значений каждого из неблагоприятных факторов, законодательное закрепление этих норм и контроль за их выполнением.

- обеспечение безопасности выполнения работ как для исполнителя, так и для окружающих (контроль экологической обстановки).
- разработка конкретных мероприятий по оздоровлению условия труда.
- использование рациональных технических средств защиты работающих от влияния неблагоприятных факторов.
- разработка методов оценки эффективности планируемых и проведенных мероприятий по оздоровлению условий труда.

Здоровье и безопасные условия труда работников производственных установок и электротехнического персонала обеспечивается научно обоснованными правилами нормами, как при проектировании и монтаже, так и при эксплуатации. Перед проектированием стоит задача создания оборудования, не только высокопроизводительного и экономически эффективного, но и безопасного в эксплуатации. Для того, чтобы осуществить эту задачу, в проекте необходимо заложить определённые технические решения, предусмотреть ряд технико-организационных мер, которые обеспечат безопасную эксплуатацию оборудования. Для этого необходимо выяснить, какие вредные и опасные факторы могут встретиться при эксплуатации, и какие они могут повлечь последствия.

#### **2.4.2. Характеристика условий труда**

При термической обработке металлов возможно на работников воздействие следующих опасных и вредных производственных факторов:

- движущиеся машины и механизмы;
- передвигающиеся изделия, заготовки и материалы (далее – детали);
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;
- движущиеся транспортные средства;
- повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;

- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;
- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенная напряженность магнитного поля;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень ультрафиолетовой радиации;
- повышенный уровень инфракрасной радиации;
- возникновение пожара и взрывоопасность;
- химические опасные и вредные производственные факторы по характеру воздействия на организм человека: токсичные, раздражающие, канцерогенные;
- тяжесть и напряженность труда.

При обслуживании оборудования персоналом необходимо осуществить ряд технических и организационных мероприятий, которые позволят свести к минимуму воздействие вредных и опасных факторов. Средства защиты работающих подразделяются по характеру их применения, на средства коллективной защиты относятся: ограждения, тормозные и предохранительные устройства, сигнализация, устройства заземления, вентиляция, отопление, освещение. Средства индивидуальной защиты: рукавицы, маски, наушники, очки и др.

### **2.4.3 Производственное освещение**

Производственное освещение выполняется за счёт естественного и искусственного освещения. Естественное освещение осуществляется верхним светом через прозрачные части покрытий. Искусственное освещение

осуществляется комбинированным, то есть состоящим из общего и местного освещения рабочих участков.

Для производственных помещений с постоянным нахождением персонала, от которого требуется точной работы, освещённость должна составлять не менее 50 ЛК, глубина пульсаций не более 10 – 20 %.

Освещённость рабочего места оператора на рабочем столе в горизонтальной плоскости от общего искусственного освещения должна быть от 300 до 500 ЛК.

В поле зрения оператора должна отсутствовать прямая и отражённая блескость. Для снижения блескости необходимо:

- оборудовать светопроемы солнцезащитными устройствами (шторами, регулируемые жалюзи, внешним козырьком и т.д.);
- использовать для общего освещения светильники с рассеивателями и экранирующими решётками, яркость которых в зоне углов излучения более 50° от вертикали не должна превышать 200 кд/м<sup>2</sup>;
- использовать для местного освещения светильники с непросвечивающими отражателями и защитным углом не менее 40°;
- использовать дисплей, имеющий антибликовое покрытие экрана или антибликовый фильтр.

На рабочем месте операторы должна быть ограничена пульсация освещённости от газоразрядных источников света. Для ограничения пульсаций освещённости следует использовать в светильниках с газоразрядными лампами высокочастотные пускорегулирующие аппараты или включить лампы в многоламповых светильниках (или рядом расположенное освещение) на разные фазы трёхфазной сети и использовать преимущественно люминесцентные лампы белого света.

#### 2.4.4 Электробезопасность

Участок, где расположены основные электрические машины и агрегаты, относится к категории по степени опасности поражения людей электрическим током – особой опасности. В нём присутствуют два признака повышенной опасности: токопроводящие полы и возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землёй конструкции с одной стороны и к металлическим корпусом с другой (ПО).

Согласно Правилам Технической Эксплуатации и правилам техники безопасности весь электротехнический персонал проходит проверку на знание надлежащих правил с периодичностью один раз в год. Все работы в электроустановках, кроме ликвидации аварий или действия могущие повлечь её, выполняются по наряду, допуску и распоряжению.

Для характеристики воздействия электрического тока на организм человека, согласно ПТЭ установлены следующие значения:

- пороговый осязаемый ток – наименьшее значение тока, вызываемое осязаемое раздражение 0,15 – 1,5 мА для переменного тока и 5 – 7 мА для постоянного тока;
- пороговый не отпускающий ток – минимальный ток, вызывающий судорожное сокращение мышц 6 – 10 мА для переменного тока и 15 мА для постоянного тока;
- пороговый фибрилляционный ток – наименьшее значение тока, вызывающий остановку сердца 50 – 70 мА;
- смертельный ток 100 мА.

К частям, подлежащим заземлению, относятся корпуса электрических двигателей, трансформаторов электроаппаратов, светильников, металлические конструкции распределяемых устройств, кабельные конструкции, шкафы и другие металлические конструкции, связанные с установкой электрооборудования.

Сопротивление заземляющего устройства трансформатора и автоматического выключателя на стороне переменного тока должно быть не более:

$$R_3 \geq 250/I_3, \quad (55)$$

где  $I_3$  – ток замыкания на землю.

Сопротивление каждого из заземляющих устройств остального оборудования не должно превышать 4 Ом.

Недоступность токоведущих частей обеспечивается посредством ограждений из кожухов и крышек, сетчатых ограждений, расположение токоведущих частей на недоступной высоте.

Для обеспечения безопасной эксплуатации стана и его оборудования, аппаратура системы управления питается 5В, 10В, 24В, получаемое от выпрямленных установок, которые соединяются с питающей сетью через понижающий трансформатор, чтобы исключить электрическую связь сети малого постоянного напряжения с сетью высокого напряжения.

#### **2.4.5 Пожарная безопасность**

Пожарная безопасность – состояние защищённости личности, общества и государства от пожара.

Пожарная безопасность на предприятиях обеспечивается двумя системами: предотвращение пожара (организационные, технические меры и средства, обеспечивающие невозможность возникновения пожара) и системой пожарной безопасности (предотвращения воздействия на людей и объекты опасных факторов пожара).

##### *Опасные факторы пожара*

Опасными факторами для людей являются:

- открытый огонь;
- повышенная температура воздуха и предметов;
- токсические продукты горения и дым;



- пониженная концентрация кислорода в воздухе;
- обрушение и повреждение зданий, сооружений;
- взрывы.

Нагревание человеческого тела до 50 – 60С°, а так же и снижение концентрации кислорода в окружающем пространстве ниже 8 – 11 % приводит к гибели человека.

Повышение концентрации углекислого газа до 10 % вызывает потерю сознания, и если не принять меры медицинской помощи, человек может умереть.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием горючих изоляционных материалов. Горючей является изоляция обмоток электрооборудования, проводов и кабелей, трансформаторное масло.

Учитывая пожарную опасность электроустановок, установлен ряд требований по пожарной безопасности. Все строительные конструкции выполнены из материалов первой группы, которые не возгораются и не обугливаются. Оборудование расположено таким образом, чтобы обеспечить эвакуацию работающих во время аварии или пожара. Ширина пути эвакуации предусмотрена не менее 1 метра, ширина дверей не менее 0,8 метра, высота прохода не менее 2 метров, на различных участках производственной мощности.

Кроме этого предусматриваются следующие меры пожарной безопасности:

- звуковая сигнализация;
- наличие пожарных кранов;
- наличие пожарных щитов с двумя огнетушителями ОУ-2 и пожарным инвентарём, ящик с песком на каждом производственном участке.

Контроль за состоянием цеха в отношении пожарной безопасности осуществляется пожарной службой безопасности, которая проводит профилактические осмотры, испытания, принимает участие в ликвидации пожара.

## 2.5 Экология

### 2.5.1 Загрязнения и отходы в металлургическом производстве

Металлургические предприятия с большим количеством цехов и вспомогательных служб занимают до 1000 га. Площадь же земельных угодий, нарушенных горными работами, занятая отвалами, золо- и шламонакопителями, составляет примерно 130 тыс. га.

В металлургическом производстве, в частности в черной металлургии, образуется большое количество твердых отходов при технологических процессах. Под твердыми промышленными отходами понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшихся при производстве продукции или при выполнении работ и утратившие полностью или частично потребительские свойства.

Отходы складываются на больших площадях, которые занимают тысячи гектаров полезных земель. В них накоплено ~500 млн. т шлаков и ежегодно прибавляется примерно 80 млн. т. Шлакоотвалы в большинстве случаев оказывают пагубное воздействие на окружающую среду.

Твердые отходы образуются практически на всех стадиях металлургического производства. По ориентировочным подсчетам, на получение 1 т стали используется 4,7 т сырья, из которых в твердые отходы уходит 0,406 т.

Основную массу металлургических шлаков составляют доменные шлаки (при получении 1 т чугуна образуется 0,4-0,65 т шлака). В сталеплавильном производстве шлаков образуется в 2 раза меньше.

Все металлургические шлаки содержат, помимо железа, значительные количества соединений фосфора и CaO, а также другие элементы, используемые в сельском хозяйстве в качестве удобрений.

Кроме шлаков ежегодно образуется около 1 млн. т шламов, которые содержат большое количество железа, и пыли.

Как уже было сказано, твердые отходы занимают полезные площади. Из-за ветров происходит постоянное пыление отвалов, что приводит к загрязнению воздушного бассейна. Осадки (дожди, снег) выщелачивают из отвалов элементы и соединения, что приводит к заражению почвы.

В итоге, даже освобожденные из-под отвалов земли становятся непригодными для сельскохозяйственного использования, образуются так называемые «индустриальные пустыни».

### **2.5.2 Загрязнения окружающей среды предприятиями металлургической отрасли**

В мире потребляются миллиарды тонн минерального сырья, топлива, воды, атмосферного кислорода, а в готовый продукт переходит около 1% затраченных природных ресурсов.

Отходы и выбросы истощают запасы невозобновляемых природных ресурсов и оказывают вредное, а порой и смертельное влияние на окружающую среду и на условия жизни человека.

Наиболее серьезное влияние на ОС оказывает металлургия, в частности черная. Металлургия является энерго- и ресурсоемкой отраслью. При ежегодном потреблении нескольких тысяч тонн минеральных ресурсов в конечную продукцию переходит не более 30%, остальное же количество образуют отходы производства.

Так, металлургический завод полного цикла с производительностью 10 млн. т стали в год, до введения строгого контроля выбрасывал ежегодно в атмосферу больше 200 тыс. т пыли, 50 тыс. т соединений серы, 250 тыс. т оксида углерода, оксидов азота и др. веществ. Концентрация пыли в выбросах достигала 50-120 кг/т получаемой стали. В усовершенствованных металлургических процессах эти выбросы снижаются до 10 кг/т стали.

Газообразные выбросы металлургических заводов составляют около 2500 м<sup>3</sup> /т стали. Источником сернистых соединений, выбрасываемых в атмосферу,

являются, главным образом, кокс (40-60%) и руда (5-30%). Со шлаками из металлургических агрегатов удаляется 45-55% серы, а в стальные изделия переходит до 6% серы, остальное количество серы выбрасывается в атмосферу.

Окислы азота образуются в доменных, мартеновских и нагревательных печах, в печах коксохимического производства и в паровых котлах. В доменных печах источником выброса окислов азота являются доменные воздухонагреватели, в уходящих газах которых содержание  $N_{ox}$  составляет  $(1,7 \div 6,6) \cdot 10^{-4}\%$ . Концентрация окислов азота в вертикальных каналах мартеновских печей при отоплении без интенсификаторов составляет в среднем 0,03%; при подаче кислорода она возрастает до 0,1% и в ряде случаев достигает 0,25%. Среднее количество выбросов окислов азота составляет 2,5 кг/т стали.

Содержание азота в уходящих газах металлургических газоиспользующих агрегатов различных производств данные приведены в таблице 18.

Таблица 18 – Содержание окислов азота в уходящих газах

Агрегат	Средняя концентрация		Максимальная концентрация	
	%	мг/м <sup>3</sup>	%	мг/м <sup>3</sup>
Доменные воздухонагреватели	0,0004	8	0,0007	14
Термические печи	0,029	580	0,07	1400
Нагревательные печи	0,0250	500	-	-
Маслобаки	0,058	1160	0,1	2000

### 2.5.3 Основные требования по экологизации проекта

Оценка воздействия работы цеха термообработки, на состояние окружающей среды выполнена с целью:

- выявления основных источников негативного воздействия, образующихся при процессе термообработки деталей;
- прогноза видов воздействия и их количественной характеристики;
- определения экономических показателей, характеризующих природоохранную деятельность при эксплуатации проектируемого объекта и

затрат, связанных со строительством и эксплуатацией природоохранных объектов.

#### *Меры по экологизации проекта*

Для снижения вредных воздействий и выбросов предусмотрено:

- установка пылегазоулавливающих установок;
  - установка замкнутого контура водоснабжения;
  - организация своевременного вывоза и утилизации отходов;
  - установка сухих, силовых трансформаторов без использования масла;
  - новейшее технологическое оборудование обеспечивающее полную герметичность рабочей зоны;
- активный анализ герметичности маслобаков и водобаков, для предотвращения попадания жидкости в сточные воды.

## **2.6 Экономическая часть**

Составление локальной сметы производилось на основе изучения методики определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации.

Сметные нормативы подразделяются на элементные и укрупненные.

К элементным сметным нормативам относятся государственные элементные сметные нормы (ГЭСН-2001) и индивидуальные элементные сметные нормы, а также нормы по видам работ.

К укрупненным сметным нормативам относятся:

- сметные нормативы, выраженные в процентах;
- укрупненные сметные нормативы и показатели;
- показатели по объектам аналогам и другие нормативы.

Сметная стоимость – сумма денежных средств, необходимых для осуществления строительства в соответствии с проектными материалами.

Для определения сметной стоимости строительства проектируемых предприятий, зданий, сооружений или их очередей составляется сметная

документация, состоящая из локальных смет, локальных сметных расчетов, объектных смет, объектных сметных расчетов, сметных расчетов на отдельные виды затрат, сводных сметных расчетов стоимости строительства (ремонта), сводок затрат и др.

Локальные сметы относятся к первичным сметным документам и составляются на отдельные виды работ и затрат по зданиям и сооружениям или по общеплощадочным работам на основе объемов, определившихся при разработке рабочей документации (РД).

Локальные сметные расчеты составляются в случаях, когда объемы работ и размеры затрат окончательно не определены и подлежат уточнению на основании РД, или в случаях, когда объемы работ, характер и методы их выполнения не могут быть достаточно точно определены при проектировании и уточняются в процессе строительства.

Локальные сметные расчеты (сметы) на отдельные виды строительных и монтажных работ, а также на стоимость оборудования составляются исходя из следующих данных:

- параметров зданий, сооружений, их частей и конструктивных элементов, принятых в проектных решениях;
- объемов работ, принятых из ведомостей строительных и монтажных работ и определяемых по проектным материалам;
- номенклатуры и количества оборудования, мебели и инвентаря, принятых из заказных спецификаций, ведомостей и других проектных материалов;
- действующих сметных нормативов и показателей на виды работ, конструктивные элементы, а также рыночных цен и тарифов на продукцию производственно-технического назначения и услуги.

В локальных сметных расчетах (сметах) производится группировка данных в разделы по отдельным конструктивным элементам здания (сооружения), видам работ и устройств в соответствии с технологической последовательности работ и учетом специфических особенностей отдельных

видов строительства. По зданиям и сооружениям может быть допущено разделение на подземную часть (работы «нулевого цикла») и надземную часть.

При составлении локальных сметных расчетов (смет) учитываются условия производства работ и усложняющие факторы.

Стоимость, определяемая локальными сметными расчетами (сметами), может включать в себя прямые затраты, накладные расходы и сметную прибыль.

Прямые затраты учитывают стоимость ресурсов, необходимых для выполнения работ:

- материальных (материалов, изделий, конструкций, оборудования, мебели, инвентаря);
- технических (эксплуатации строительных машин и механизмов);
- трудовых (средства на оплату труда рабочих, а также машинистов, учитываемые в стоимости эксплуатации строительных машин и механизмов).

Стоимость материалов, получаемых в порядке попутной добычи (камень, щебень, песок, лес и др.), при наличии возможности их реализации рекомендуется учитывать по сложившимся в регионе ценам.

В случае невозможности использования или реализации материалов от разборки или попутной добычи их стоимость в возвратных суммах не учитывается. Конструкции, материалы и изделия, учитываемые в возвратных суммах, рекомендуется отличать от так называемых оборачиваемых материалов (опалубка, крепление и т.п.), применяемых в соответствии с технологией строительного производства по несколько раз при выполнении отдельных видов работ.

В составе локальных сметных расчетов (смет) затраты на эксплуатацию строительных машин определяются исходя из данных о времени использования (нормативная потребность) необходимых машин (маш.-ч) и соответствующей цены 1 маш.-ч эксплуатации машин.

В составе локальных сметных расчетов (смет) стоимость материальных ресурсов определяется исходя из данных о нормативной потребности

материалов, изделий (деталей) и конструкций (в физических единицах измерения: м<sup>3</sup>, м<sup>2</sup>, т и пр.) и соответствующей цены на вид материального ресурса. Стоимость материальных ресурсов включается в состав сметной документации, независимо от того, кто их приобрел.

Определение текущих цен на материальные ресурсы по конкретной стройке осуществляется на основе исходных данных, получаемых от подрядной организации, а также поставщиков и организаций-производителей продукции. Калькуляция стоимости (ведомость) текущих сметных цен на материалы, изделия и конструкции составляется по элементам затрат.

Отпускные цены на изделия, материалы и полуфабрикаты (бетон, раствор, битум, асфальтобетонные и черные щебеночные смеси, дорожные битумные эмульсии, деревья и кустарники-саженцы, дерн и земля растительная и др.), изготавливаемые в построечных условиях, определяются по калькуляциям. В калькуляциях, кроме затрат на приготовление материалов и полуфабрикатов, учитываются прочие расходы, связанные с их приготовлением (накладные расходы), необходимая прибыль, налоги и сборы, начисляемые в соответствии с действующим законодательством. В калькуляциях прочие (накладные) расходы и прибыль исчисляются от средств оплаты труда рабочих.

Накладные расходы в локальной смете определяются от фонда оплаты труда (ФОТ) на основе:

- укрупненных нормативов по основным видам строительства, применяемых при составлении инвесторских сметных расчетов;
- нормативов накладных расходов по видам строительных, ремонтно-строительных, монтажных и пусконаладочных работ, применяемых при составлении локальных смет;
- индивидуальной нормы для конкретной подрядной организации.

Размер сметной прибыли определяется от фонда оплаты труда (ФОТ) рабочих на основе:



- общеотраслевых нормативов, устанавливаемых для всех исполнителей работ, применяемых при составлении инвесторских сметных расчетов;
- нормативов по видам строительных и монтажных работ, применяемых при составлении локальных сметных расчетов (смет);
- индивидуальной нормы для конкретной подрядной организации (за исключением строек, финансируемых за счет средств федерального бюджета).

Локальный сметный расчет приведен в таблице А приложения А.

## **2.7 Инструкция по монтажу силового трансформатора**

Настоящая инструкция содержит общие рекомендации по монтажу сухих трансформаторов с литой изоляцией, для применения в помещениях. Трансформаторы разработаны и изготовлены в соответствии с самыми высокими требованиями качества. Условием для исправной эксплуатации является надлежащие монтаж и обращение с устройством, а также уход за ним. Сухие трансформаторы с литой изоляцией не требуют техобслуживания.

В соответствии со своим исполнением, сухие трансформаторы с литой изоляцией не защищены от прикосновений, согласно классу защиты IP00. Как правило, необходимо следить за тем, чтобы при осмотре трансформаторных корпусов никто не касался трансформаторов. Рекомендуется перед осмотром трансформаторных корпусов отключить трансформаторы. Разместить на катушках соответствующие таблички, запрещающие касание.

### **Общие положения**

Трансформаторы, описанные в данном руководстве, поставляются в собранном виде и готовыми к эксплуатации. Единственными соединениями, которые необходимо произвести, являются соединения высокого и низкого напряжения, системы защиты от перегрева и, если применимо, подсоединение вспомогательного оборудования.

Инструкции по пуско-наладочным работам, эксплуатации и техническому обслуживанию других элементов или устройств, таких как двигатели, вентиляторы, вспомогательное оборудование или реле температурной защиты, не расписана подробно в данном руководстве и будет поставлена отдельно в случае необходимости.

**Перед началом любых действий по эксплуатации поставленного оборудования, пожалуйста, внимательно прочтите данное руководство и строго придерживайтесь данных инструкций в процессе работы.**

**ВНИМАНИЕ:** инструкции и действия, охватываемые данным руководством, должны осуществляться только специально обученным персоналом, работающим в соответствии с действующими местными нормами.

### Описание оборудования

Название и внешний вид узлов сухого трансформатора с литой изоляцией указан на рисунке 4.

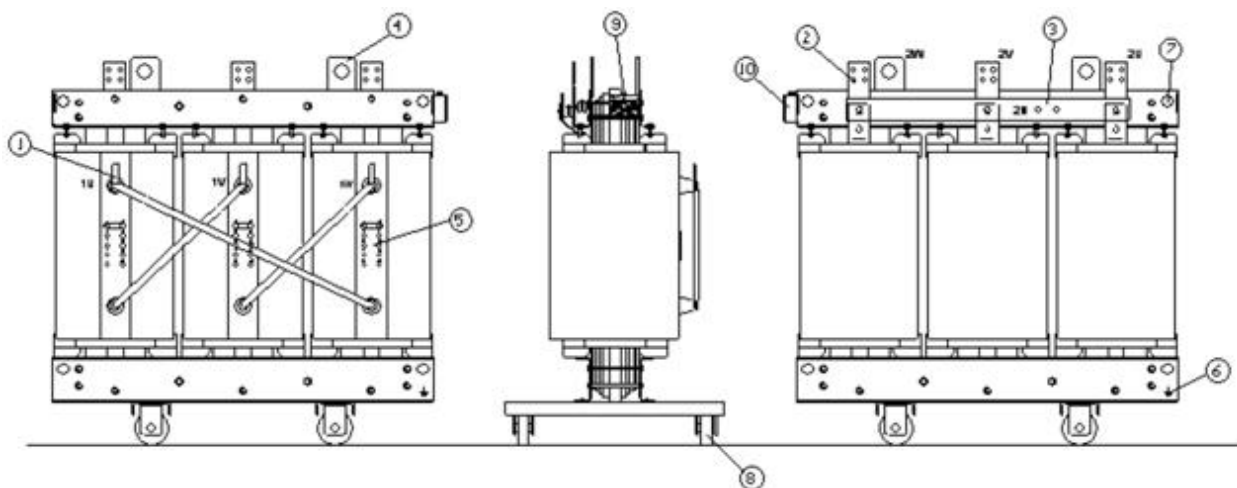


Рисунок 4 – Устройство трансформатора:

1-выводы ВН, 2-выводы НН, 3-нейтраль, 4-подъемные проушины, 5-перемычки для регулирования напряжения, 6-заземляющие контакты, 7-отверстия для тяги, 8-колеса, 9-табличка технических данных, 10-клемная коробка.

## **Меры безопасности**

**ВНИМАНИЕ:** любая операция с трансформатором должна осуществляться квалифицированным персоналом и при отсутствии напряжения.

- внимательно изучить эту инструкцию перед монтажом и запуском трансформатора;
- использование трансформатора должно осуществляться строго в соответствии с его техническими данными;
- во избежание несчастных случаев в процессе установки, необходимо следовать правилам данной инструкции;
- не допускается производить какие либо действия с трансформатором находящемся под напряжением;
- сухие трансформаторы предназначены для внутренней установки с максимальными температурами 40°C, средними дневными 30°C и средними годовыми 20°C.

## **Подготовка изделия к монтажу и стыковке**

Трансформатор можно снимать с грузовика с помощью штабелеукладчика или крана. Трансформаторы с весом более 1500 кг выгружать краном. При использовании подъёмного устройства следует поднимать ящик только в точках, отмеченных маркировкой. При использовании штабелеукладчика вилы вводить только параллельно полозьям, находящимся на полу. Во избежание опрокидывания ящика, при перемещении необходимо учитывать центр тяжести, отмеченный символом F.

**ВНИМАНИЕ:** упаковку удалить только на месте применения трансформатора

Трансформатор в упаковке можно хранить под открытым небом. В этом случае (деревянный) ящик следует со всех сторон закрыть непромокаемым покрытием для защиты от дождя, снега и т.п.

## **Монтаж и демонтаж**

Во время установки всегда имейте при себе копию чертежей общего вида и чертежей электрической схемы.

Если трансформатор поставляется в защитном кожухе, удаление защитных панелей и заслонок обеспечит улучшенный доступ в процессе разводки кабеля и установки. Эти действия должны быть произведены до осуществления пуско-наладочных работ и подключения трансформатора к сети питания.

**ВНИМАНИЕ:** как только трансформатор поставлен непосредственно на место его эксплуатации, проверьте затяжку кровельных шатунных болтов, чтобы убедиться в том, что достигнута требуемая степень защиты.

До подсоединения любых наружных кабелей или электрических шин, контактная область соединяющихся поверхностей должна быть очищена от любой грязи или жира при помощи проволочной щетки или подходящего абразивного материала. Мелкая металлическая стружка или металлическая пыль, образующиеся в процессе этой работы, должны быть удалены с поверхностей соединения. Примите меры предосторожности для того, чтобы такие мелкие частицы не попали на обмотки. Поверхности соединения должны быть обработаны подходящей уплотнительной пастой. В тех областях, где среда обладает особым коррозирующим действием, поверхности должны быть защищены от дальнейшего воздействия при помощи использования подходящего лака или краски.

## **Наладка, стыковка и испытания**

Подключения высокого напряжения и низкого напряжения исполнить в соответствии со схемами соединения. Установленные на трансформаторе позисторы также присоединяются проводкой к общей клеммной коробке. Кабельная обвязка с устройствами формирования сигнала производится на месте монтажа. Для уплотнения кабелей следует установить на панелях ввода

соответствующие винтовые соединения для кабельного ввода, подходящие к сечению кабеля. Для кабельных вводов использовать алюминиевые пластины.

осуществления пуско-наладочных работ и подключения трансформатора к сети питания.

**ВНИМАНИЕ:** как только трансформатор поставлен непосредственно на место его эксплуатации, проверьте затяжку кровельных шатунных болтов, чтобы убедиться в том, что достигнута требуемая степень защиты.

До подсоединения любых наружных кабелей или электрических шин, контактная область соединяющихся поверхностей должна быть очищена от любой грязи или жира при помощи проволочной щетки или подходящего абразивного материала. Мелкая металлическая стружка или металлическая пыль, образующиеся в процессе этой работы, должны быть удалены с поверхностей соединения. Примите меры предосторожности для того, чтобы такие мелкие частицы не попали на обмотки. Поверхности соединения должны быть обработаны подходящей уплотнительной пастой. В тех областях, где среда обладает особым коррозирующим действием, поверхности должны быть защищены от дальнейшего воздействия при помощи использования подходящего лака или краски.

### **Пуск (опробование)**

**ВНИМАНИЕ:** любые операции должны производиться при выключенном трансформаторе, заземлении всех выводов и в полном соответствии с применимыми нормами по охране труда и технике безопасности.

**ЗАПРЕЩЕНО** дотрагиваться до катушек трансформатора или концевых соединений под напряжением. полимерная система изоляции не дает достаточной защиты от поражения электротоком.

Все операции, связанные с включением трансформатора высокого напряжения, независимо от того, включен он в сеть или нет, должны

выполняться при температуре окружающей среды от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  ( $+45^{\circ}\text{C}$  или в соответствии со спецификацией).

Подключение трансформатора может вызвать магнитное явление, именуемое как бросок намагничивающего тока. Такие переходные токи будут иметь значительную амплитуду и вызывать электродинамическое напряжение в обмотке. Открытие размыкателя цепи также создаст значительное переходное напряжение, вызывающее электростатическое напряжение межобмоточной изоляции. Конструкция трансформатора рассчитана выдерживать такие напряжения, однако рекомендуется свести к минимуму повторные действия размыкателя цепи. Если необходимо повторное приведение в действие, для получения инструкций свяжитесь с производителем.

### **Регулирование**

Толерантность электрической сети может быть компенсирована, если использовать отпайки РБВ на стороне высокого напряжения, и таким образом, установить правильное значение напряжения на стороне низкого напряжения. Стандартно трансформаторы снабжены следующими отпайками:  $-5\%$ ,  $-2,5\%$ ,  $0$ ,  $+2,5\%$ ,  $+5\%$ . Диаграмма для установки регулирующих отпайек с одним или двумя первичными напряжениями указана на заводской табличке.

**ВНИМАНИЕ:** установка регулирующих отпайек должна быть одинаковой на всех трех обмотках высокого напряжения, чтобы предотвратить циркуляцию токов, которые могут привести к необратимым повреждениям трансформатора.

### **Комплексная проверка**

После монтажа или перед включением трансформатора необходимо проверить на прочность посадки все токопроводящие винтовые соединения, подключения ВН и НН. Также проверить прочность механических соединений на трансформаторе. Проверить подключения ВН и НН на соответствие со схемой подключений и спецификацией. При использовании принудительного

охлаждения проверить направление вращения двигателей вентиляторов. Перед включением трансформатора проверить, не остались ли на трансформаторе или в защитном кожухе посторонние вещества, инструменты и прочий материал. При принудительном охлаждении с этой же целью проверить вентиляторы. Проверить действие всех защитных функций, а также соответствующий выключатель.

### **Обкатка**

Первое включение трансформатора следует произвести при отключенной нагрузке на номинальное напряжение на время не менее 30 минут, для постоянного наблюдения за состоянием трансформатора.

Во время работы трансформатор создает равномерный гудящий звук. Включение трансформатора в сеть допускается производить толчком на полное напряжение.

После проверки работы трансформатора на холостом ходу, трансформатор плавно включается в нагрузку.

### **Сдача смонтированного и состыковочного изделия в эксплуатацию**

При получении трансформатора обследовать упаковку на предмет повреждений во время транспортировки. При видимых повреждениях или при ненадлежащем обращении необходимо немедленно уведомить перевозчика, страховую компанию, а также изготовителя. В этом случае трансформатор следует распаковывать только в присутствии представителя страховой компании и изготовителя. О внешних повреждениях сделать обязательную пометку на транспортных документах! О повреждениях, обнаруженных после распаковки трансформатора, необходимо в течение недели письменно уведомить страховую компанию и изготовителя.

**ВНИМАНИЕ: Изготовитель не принимает требования о возмещении без предъявления отчёта о повреждении.**

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В данной выпускной квалификационной работе выполнено проектирование электроснабжения цеха термообработки ПАО «Уралмашзавод»

Расчёт электрических нагрузок производился методом коэффициента максимума.

Произведён расчёт электрической сети, который заключался: в выборе трансформаторов; расчёте сечения линий электропередач; выборе электрических аппаратов по номинальному току и номинальному напряжению.

Рассчитаны токи короткого замыкания с целью: проверки, а в случае необходимости и корректировки, правильности выбора электрических аппаратов.

Произведен расчет локальной сметы на строительство подстанции.

В ходе проектирования использована техническая документация и литература список которой прилагается. Проект выполнен с учетом последних достижений в области электроснабжения и в соответствии с требованиями ПУЭ.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Арсеньев Г.В. Энергетические установки: Учеб. для вузов по спец. «Электроснабжение». Москва :Высшая школа,1991.-336 с.ил.
- 2 Батищев В.А., Мартыненко Б.Г., Сысков С.Л., Щелков Я.М. – Энергосбережение: справочное пособие. Екатеринбург, 1999г.
- 3 ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 4 Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Учебное пособие для студентов. Москва :издательство «Мастерство», 2001.
- 5 Коробкин В. И. «Экология».
- 6 М.Г. Шалунова, Н.Е. Эрганова Практикум по методике профессионального обучения: Учеб. пособие. Екатеринбург 2001. 67с.
- 7 Методические указания по выполнению выпускной квалификационной работы. – Екатеринбург: Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2016. 46с.
- 8 Морозова И.М., Кузнецов Ю.В. Проектирование схем энергоснабжения промышленных предприятий и городов: Учеб. Пособие. Екатеринбург. 2004. Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 200. 86 с.
- 9 Н.Е. Эрганова Основы методики профессионального обучения: Учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во урал. гос. проф. –пед. ун-та, 1999. 138с.
- 10 Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. 4-е изд, перераб. и доп. Москва: «Энергоатомиздат», 1989. 608 с.: ил.
- 11 Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанция и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования.
- 12 ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации
- 13 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. Москва: Энергия, 1990.

- 14 ПУЭ Правила устройства электроустановок (7 издание).
- 15 Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций: - Москва: Энергия, 1986. – 600с., ил.
- 16 Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов / Москва Энергоатомиздат. 3 – е издание, переработанное и дополненное. 1987. – 647 с.
- 17 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению общественных и жилых зданий.
- 18 Тельманова Е.Д., Морозова И.М. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. Учебное пособие. 2-е издание, 2008.-76 с.
- 19 Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Метод. пособие для курсового проектирования. Москва: «Инфра – М, Форум», 2003.
- 20 [http: www.wikipedia.ru](http://www.wikipedia.ru) Свободная энциклопедия.
- 21 [http: www.yandex.ru](http://www.yandex.ru) Поисковый сервер.

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
**ЛОКАЛЬНЫЙ СМЕТНЫЙ РАСЧЕТ № 1**  
(локальная смета)

на монтаж КТПН – 2000 6/0,4 кВ

*(наименование работ и затрат, наименование объекта)*

Сметная стоимость 4488142 руб.

Составлена в текущих прогнозных ценах по состоянию на 2015 г. данные приведены в таблице А.

Таблица А – Локальная смета на монтаж КТПН – 2000 6/0,4 кВ

Наименование	Единицы измерения	Кол-во	Всего руб.	Стои м. ед. маш./ мех	Всего руб.	Стои м. ед. маш./ мех	Т/з осн. всего	Т/з мех. всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Раздел 1. Фундаменты</b>								
Устройство фундаментов для комплектных трансформаторных подстанций	1 подстанция	1	569,54	472,4 59,77	57000	473 60	8,56 8,56	3,66 3,66
Щебень из гравия для строительных работ марка Др.8, фракция 20-40 мм	м <sup>3</sup>	1,1	207,94		22900			
Блоки бетонные для стен подвалов ФБС 24.4.6-т	шт.	6	278,12		16690			
<b>Раздел 2. Монтажные работы</b>								
Установка оборудования для комплектных трансформаторных подстанций	1 подстанция	1	1271,2	721,6 91,28	127100	721 91	43,83 43,83	5,59 5,59
Прочие индивидуальные сварные конструкции, масса сборочной единицы от 0,1 до 0,5 т	т.	0,04	14076		61900			

## Окончание таблицы А

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Грунтовка металлических поверхностей за один раз грунтовкой: ГФ-021	100 м <sup>2</sup> покрытой поверхности	0,01	324,61	8,81 0,12	5		5,31 0,08	0,02
Окраска металлических грунтованных поверхностей эмалью: ПФ-115	100 м <sup>2</sup> покрытой поверхности	0,03	466,21	5,81 0,12	14		3,83 0,11	0,02
Рытье ям вручную глубиной 1.5 м под электрод заземления с обратной засыпкой, группа грунтов: 2	1 электрод заземления	4	916,52		3666		6,61 26,44	
Заземлитель вертикальный из круглой стали, диаметр, мм 16	10 шт.	0,4	692,66	60,52 2,29	277	24 1	8,29 3,32	0,28 0,11
Разработка грунта вручную в траншеях глубиной до 2 м без креплений с откосами, группа грунтов: 2	100 м <sup>3</sup> грунта	0,02	1518,4		32		154 3,23	
Засыпка вручную траншей, пазух котлованов и ям, группа грунтов: 2	100 м <sup>3</sup> грунта	0,02	921,46		19		97,2 2,04	
Заземлитель горизонтальный из полосовой стали ширина, 12 мм	100 м.	0,2	893,62	67,31 2,29	179	13	19 3,8	0,28 0,06
<b>Раздел 3. Оборудование</b>								
Стоимость трансформаторной подстанции	шт.	1	4459000		4459000			
<b>ВСЕГО по смете</b>					<b>4488142</b>		<b>68,3</b>	<b>19,27</b>