

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

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение производства крупной штамповки и вырубки с механической обработкой деталей завода «ТЗТО»

Студент(ка)

А.О. Тарасов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.П. Тараканов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

Выпускная квалификационная работа бакалавра включает проектирование электроснабжения производства крупной штамповки и вырубки с механическим обработыванием деталей завода «ТЗТО».

В данной выпускной квалификационной работе бакалавра произведены расчеты электрических нагрузок, расчёт электрических нагрузок освещения, выбраны светильники, произведён выбор и расчет трансформаторов, расчет токов короткого замыкания, выбраны автоматы, кабельные линии, распределительные и магистральные шинопровода и оборудование для трансформаторных подстанций.

Выпускная квалификационная работа бакалавра состоит из пояснительной записки объемом 63 листа, таблицы электрических нагрузок по производству, таблицы выбора автоматов и кабельных линий для электроприёмников, пять таблиц выбора оборудования на стороне 6 кВ и три таблицы выбора оборудования на стороне 0,4 кВ, четырёх рисунков расположения светильников на формате А4 в производстве крупной штамповки и вырубки и шесть рисунков на формате А1.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Краткая характеристика объекта | 7 |
| 2 Расчет электрических нагрузок | 10 |
| 2.1 Расчет электроприемников для магистрального шинпровода ШМА1..... | 10 |
| 2.2 Суммарная нагрузка по цеху..... | 14 |
| 3 Расчет электрических нагрузок освещения | 19 |
| 4 Выбор числа и мощности трансформаторов..... | 27 |
| 5 Расчет токов короткого замыкания..... | 36 |
| 6 Расчёт низковольтной распределительной сети..... | 44 |
| 7 Выбор оборудования на ТП..... | 51 |
| 7.1 Выбор оборудования на стороне 6 кВ..... | 51 |
| 7.2 Выбор оборудования на стороне 0,4 кВ..... | 55 |
| 8 Охрана труда на заводе ОАО «ТЗТО»..... | 58 |
| Заключение..... | 59 |
| Список использованных источников..... | 61 |

Введение

В начале XXI века нельзя представить жизнь и деятельность человечества без электричества [1, 2, 4]. Электричество с давних времён вошло во все отрасли деятельности современного человека. Главное преимущество электрической энергии - это передача, распределение, преобразование в другие виды энергии на больших расстояниях от источника электрической энергии. Вся наша планета представляет сложный, многофункциональный комплекс различных потребителей электрической энергии. Основная часть электрической энергии потребляется металлургической промышленностью, химическими производствами и предприятиями машиностроения.

Система электроснабжения представляет собой совокупность источников преобразования, передачи и распределения электрической энергии, состоящая из питающих, распределительных сетей, трансформаторных подстанций и их кабельных линий [13, 14, 30].

Система электроснабжения должна обладать надёжностью, быть простой в обслуживании и иметь запас мощности на случай расширения производства. Кроме того, система электроснабжения должна быть экономичной и иметь элементы энергосберегающих технологий.

Электроснабжение необходимо для обеспечения электроэнергией разных отраслей хозяйства: заводов, предприятий городского обеспечения, сельскохозяйственной деятельности, предприятий предпринимательской деятельности, предприятия строительной деятельности [5, 6, 13, 28]. В систему электроснабжения входят источники питания, повышающие и понижающие подстанции, питающие распределительные электрические сети, различные вспомогательные устройства и сооружения.

Основными источниками питания электроэнергией являются электростанции разных видов: тепловые электроцентралы (ТЭЦ), гидроэлектростанции (ГЭС), тепловые электроцентралы (ТЭС),

государственные районные электростанции (ГРЭС), атомные электростанции (АЭС).

В системе электроснабжения объектов существует три вида электроустановок: по выработки электроэнергии; по трансформации и передачи электроэнергии; по приёмке электроэнергии в производственных и административных бытовых нуждах.

Прием, преобразование, и распределение электроэнергии происходят на трансформаторных подстанциях и распределительных устройствах.

Надежность электроснабжения включает в себя способность системы обеспечивать электроприемники объектов бесперебойным питанием электроэнергией и не допускать аварийных перерывов в электроснабжении в зависимости от категории надёжности электроснабжения [1, 2, 14, 29].

Существуют 3 категории надёжности электроприёмников. К первой категории относятся электроприёмники, где перерыв в электроснабжении приводит к опасности жизни людей и поломки экологически-опасного оборудования и связывающих его сетей. В таком случае нужно иметь два взаимонезависимых источника питания. Перерыв возможен на время автоматического восстановления питания.

Ко второй категории относятся электроприёмники, где перерыв в электроснабжении приводит к массовому браку продукции. Необходимо наличие двух независимых источников электрической энергии. Отсутствие питания допускается на время ручного переключения оперативным персоналом.

Для электроприёмников третьей категории относятся все остальные потребители электроэнергии. Требуется наличие одного трансформатора. Перерыв питания не более 24 часов.

Целью выпускной квалифицированной работы бакалавра является повышение надёжности и экономичности системы электроснабжения производства крупной штамповки и вырубки с механической обработкой деталей завода «ТЗТО».

1 Характеристика объекта

ТЗТО – одно из основных предприятий, занимающихся изготовлением комплектующих деталей для сборки автомобилей, поставляемых на ОАО «АвтоВАЗ», ЗАО «Вазинтерсервис», ОАО «Ижавто», ЗАО «Сердобский машиностроительный завод», «GM».

Завод был основан в 1964 году, как одно из структурных подразделений завода «ВЦМ» и назывался он «Опытный завод».

Изначально завод изготавливал оснастку для металлургического производства завода «ВЦМ». По этому в дальнейшем в 1980 году завод стал называться «ТЗТО» (Тольяттинский завод технологического оснащения).

Общая площадь территории завода составляет 13 га. В производственных цехах установлено 235 единиц кузнечно-прессового оборудования, 210 единиц металлорежущего оборудования, 53 единиц грузоподъемного оборудования и 15 единиц оборудования термоучастка. Месячное потребление металла составляет более 2250 тонн.

В главном производственном корпусе 13 пролётов, 3 основных производственных цеха и 4 вспомогательных: ЦКШиВ - цех крупной штамповки и вырубки; ЦТШ - цех традиционной штамповки (мелкая штамповка); ЦСШ - цех средней штамповки; МЦ - механический цех; ЦРШ - цех ремонта штампа; ЭРУ - электроремонтный участок; ЦРО - цех ремонта оборудования.

В последнее время на заводе организовано новое подразделение Производства штампа.

Предприятие не имеет своего автотранспортного цеха с грузовым транспортом, а все транспортные услуги выполняются сторонними организациями на договорной основе.

В 1996 году предприятие переименовано в Открытое Акционерное Общество «Тольяттинский завод технологического оснащения». С этого

времени завод поменял своё технологическое направление и начинает производство комплектующих деталей для сборки автомобилей.

Завод имеет собственную возможность для ремонта своей штамповой оснастки, прессового оборудования и другого своего вспомогательного оборудования.

В структуру завода входят отделы: СГЭ - служба главного энергетика; ОВнЛ - отдел внутренней логистики; ОВншЛ - отдел внешней логистики; ОАиПРО - отдел анализа и планирования ремонта оборудования; ПТО - проектно технологический отдел; ОАЭСП - отдел анализа эксплуатации средств производства; ОТК - отдел технического контроля; БОТиТБ - бюро охраны труда и техники безопасности.

Завод имеет свои цели в области качества: освоение новых технологий, реконструкция существующих производственных объектов, обеспечивающих выполнение производственных задач.

На предприятии работает менее 1000 человек.

В 2012 году был построен корпус складирования металлов.

В 2014 году был построен корпус складирования комплектующих деталей.

В 2015 году в корпусе складирования металлов установили линию по раскрою рулонов металла.

На заводе ТЗТО подаётся напряжение 6кВ на ЦРП (центральный распределительный пункт) от завода ВЦМ ГПП-2. На ЦРП находятся 17 ячеек. Две ячейки вводные, одна секционная и две ячейки с трансформаторами напряжения. Остальные ячейки подают напряжение на трансформаторы трансформаторных подстанций и на высоковольтные двигатели компрессоров.

Электроснабжение завода ТЗТО выполнено магистральными шинопроводами в количестве 10 линий марки: ШМА-68; ШМА-59С и распределительными шинопроводами в количестве 7 линий марки: ШРА-63. Схема электроснабжения осуществляется через сборные пункты (сборки) и ПР. Отсюда можно сделать вывод, что схема электроснабжения на заводе ТЗТО

является смешанной. Кроме энергоносителей в виде электроэнергии на заводе, имеется энергоноситель в виде сжатого воздуха, который создаётся компрессорами на компрессорной станции, а также на заводе используется система газораспределения и газопотребления, которая осуществляется газопроводом.

Завод находится в постоянной реконструкции технического оборудования и технологических процессов.

В 2014 году завод ТЗТО перешёл на систему аутсорсинг. Эксплуатацию и ремонт электроустановок осуществляет организация ООО «Рос ВЭМ».

Ремонт технологического оборудования, эксплуатация тепловых электроустановок и систем вентиляции осуществляет организация ООО «Реформинг-центр». Ремонт электро-мостовых кранов осуществляет организация ООО «Комдив».

В связи с последними изменениями в руководстве завода ОАО «ТЗТО», будущее завода очень проблематично.

2 Расчёт электрических нагрузок

Любая электрическая нагрузка характеризуется мощностью, т.е. способностью совершить работу за некоторый период [11, 20, 28]. При этом затраченная электрическая энергия будет определяться как произведение напряжения, силы тока и времени. Существует два основных метода: метод коэффициента спроса и метод коэффициента максимума.

Коэффициент спроса - это отношение максимума нагрузки приемников к их суммарной установленной мощности. Коэффициент максимума зависит от числа приемников и ряда коэффициентов, характеризующих режим потребления электроэнергии данной группой приёмников.

Метод коэффициента максимума является основным методом при определении расчетных нагрузок системы электроснабжения [11, 13]. Расчет электрических нагрузок методом коэффициента максимума начинают с определения номинальной мощности электроприемников. Расчет ведется для распределительного устройства. Определяется максимальная полная мощность и максимальный ток.

2.1 Расчет электроприемников для магистрального шинпровода ШМА 1

Рассчитаем мощности следующих групп электроприёмников для данного магистрального шинпровода:

1. Кривошипный пресс типа KE2130A

- Номинальная мощность:

$$D_{ii\bar{e} 1} = D_{d'vid'} \cdot n, \quad (2.1)$$

$$D_{ii\bar{e} 1} = 55 \cdot 14 = 770 \text{ кВт},$$

где n – количество станков, шт.

- Среднесменная активная мощность:

$$D_{\dot{i}\dot{e}1} = D_{\dot{i}\dot{e}1} \cdot K_U, \quad (2.2)$$

$$D_{\dot{i}\dot{e}1} = 770 \cdot 0,65 = 500,5 \text{ кВт},$$

где K_U - коэффициент использования.

- Среднесменная реактивная мощность:

$$Q_{\dot{i}\dot{e}1} = P_{\dot{i}\dot{e}1} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.3)$$

$$Q_{\dot{i}\dot{e}1} = 500,5 \cdot 0,75 = 375,3 \text{ квар},$$

где тангенс потерь $\operatorname{tg} \varphi$ находим из коэффициента мощности $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = 0,8 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0,75.$$

2. Электромостовой кран

- Номинальная мощность:

$$D_{\dot{i}\dot{e}2} = D_{\text{двиг}} \cdot n, \quad (2.4)$$

$$D_{\dot{i}\dot{e}2} = 50 \cdot 1 = 50 \text{ кВт},$$

где n – количество станков, шт.

- Среднесменная активная мощность:

$$D_{\dot{i}\dot{e}2} = D_{\dot{i}\dot{e}2} \cdot K_U, \quad (2.5)$$

$$D_{\dot{i}\dot{e}2} = 50 \cdot 0,55 = 27,5 \text{ кВт},$$

где K_U - коэффициент использования.

- Среднесменная реактивная мощность:

$$Q_{\dot{n}\dot{e}2} = P_{\dot{n}\dot{e}2} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.6)$$

$$Q_{\dot{n}\dot{e}2} = 27,5 \cdot 2,3 = 63,25 \text{ квар},$$

где тангенс потерь $\operatorname{tg} \varphi$ находим из коэффициента мощности $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = 0,4 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 2,3.$$

Рассчитаем суммарную величину потребляемого тока электроприёмников ШМА 1.

- Модуль силовой сборки:

$$m = \frac{P_{i.\dot{u}\dot{c}\dot{e}\dot{a}}}{P_{i.\dot{u}\dot{c}\dot{e}\dot{z}}}, \quad (2.7)$$

$$m = \frac{55}{50} = 1,1.$$

- Среднесменная активная мощность:

$$D_{\dot{n}\dot{e}} = 500,5 + 27,5 = 528 \text{ кВт}. \quad (2.8)$$

- Среднесменная реактивная мощность:

$$Q_{\dot{n}\dot{e}} = 375,3 + 63,25 = 438,55 \text{ квар}. \quad (2.9)$$

- Коэффициент использования:

$$Ku = \frac{D_{\dot{n}\dot{e}}}{D_{\dot{i}\dot{i}\dot{e}}}, \quad (2.10)$$

$$Ku = \frac{528}{820} = 0,64.$$

- Средневзвешенный коэффициент потерь:

$$tg\varphi = \frac{Q_{i\check{e}}}{D_{i\check{e}}}, \quad (2.11)$$

$$tg\varphi = \frac{438,55}{528} = 0,83.$$

- Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = 0,77.$$

- Эффективное число электроприёмников:

$$n_{\check{y}} = \frac{(\sum D_i)^2}{\sum D_i^2}, \quad (2.12)$$

$$n_{\check{y}} = \frac{820^2}{55^2 \cdot 14 + 50^2 \cdot 1} = 15$$

- Коэффициент максимума:

$$E_{\check{e}r\check{e}n} = 1,41.$$

- Максимальная активная мощность:

$$D_{\check{e}r\check{e}n} = D_{i\check{e}} \cdot E_{\check{e}r\check{e}n}, \quad (2.13)$$

$$D_{\check{e}r\check{e}n} = 528 \cdot 1,41 = 744,5 \text{ кВт.}$$

- Максимальная реактивная мощность:

Так как количество станков превышает 10 штук, то максимальную реактивную мощность рассчитаем по следующей формуле:

$$Q_{\text{макс}} = \sum_{\text{см}} = 437,55 \text{ квар.}$$

- Максимальная полная мощность:

$$S_{\text{эреп}} = \sqrt{P_{\text{эреп}}^2 + Q_{\text{эреп}}^2}, \quad (2.14)$$

$$S_{\text{эреп}} = \sqrt{744,5^2 + 437,55^2} = 864 \text{ кВА.}$$

- Максимальный ток:

$$I_{\text{эреп}} = \frac{S_{\text{эреп}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{иэ}}}, \quad (2.15)$$

$$I_{\text{эреп}} = \frac{864 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 1313 \text{ А.}$$

2.2 Суммарная нагрузка по цеху

- Модуль силовой сборки:

$$m = \frac{P_{i.\text{иэа}}}{P_{i.\text{иээ}}}, \quad (2.16)$$

$$m = \frac{100}{2} = 50.$$

- Среднесменная активная мощность:

$$D_{\text{иэ}} = 528 + 390 + 127,5 + 130 = 1175,5 \text{ кВт.} \quad (2.17)$$

- Среднесменная реактивная мощность:

$$Q_{\dot{n}\dot{\epsilon}} = 438,55 + 564 + 236,25 + 240,5 = 1479,3 \text{ квар.} \quad (2.18)$$

- Коэффициент использования:

$$Ku = \frac{D_{\dot{n}\dot{\epsilon}}}{D_{\dot{n}\dot{\epsilon}}}, \quad (2.19)$$

$$Ku = \frac{1175,5}{2638} = 0,44.$$

- Средневзвешенный коэффициент потерь:

$$tg \varphi = \frac{Q_{\dot{n}\dot{\epsilon}}}{D_{\dot{n}\dot{\epsilon}}}, \quad (2.20)$$

$$tg \varphi = \frac{1479,3}{1175,5} = 1,25.$$

- Средневзвешенный коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = 0,62.$$

- Эффективное число электроприёмников:

$$n_{\dot{y}} = \frac{(\sum D_i)^2}{\sum D_i^2}, \quad (2.21)$$

$$n_{\dot{y}} = \frac{2638^2}{112386,25} = 62.$$

- Коэффициент максимума:

$$E_{\zeta \dot{e}r\dot{e}n} = 1,75.$$

- Максимальная активная мощность:

$$D_{\dot{e}r\dot{e}n} = D_{\dot{n}\dot{e}} \cdot E_{\zeta \dot{e}r\dot{e}n}, \quad (2.22)$$

$$D_{\dot{e}r\dot{e}n} = 1175,5 \cdot 1,75 = 2057 \text{ кВт.}$$

- Максимальная реактивная мощность:

Так как количество станков превышает 10 штук, то максимальную реактивную мощность рассчитаем по следующей формуле:

$$Q_{\dot{e}r\dot{e}n} = \sum_{\dot{n}\dot{e}} = 1479,3 \text{ квар.}$$

- Максимальная полная мощность:

$$S_{\dot{e}r\dot{e}n} = \sqrt{P_{\dot{e}r\dot{e}n}^2 + Q_{\dot{e}r\dot{e}n}^2}, \quad (2.23)$$

$$S_{\dot{e}r\dot{e}n} = \sqrt{2057^2 + 1479,3^2} = 2534 \text{ кВА.}$$

- Максимальный ток:

$$I_{\dot{e}r\dot{e}n} = \frac{S_{\dot{e}r\dot{e}n}}{\sqrt{3} \cdot U_{\dot{i}\dot{i}\dot{e}}}, \quad (2.24)$$

$$I_{\dot{e}r\dot{e}n} = \frac{2534 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 3850 \text{ А.}$$

Все остальные ШМА производим аналогично и получившие результаты по расчетам электрических нагрузок электроприёмников заносим в таблицу № 1.

Таблица 1 – Расчёт электрических нагрузок по производству

| Позиция | Наименование ЭП | п, шт | $P_{н. одн}$ | $P_{н. общ}$ | m | $K_{и}$ | $\cos\phi/tg\phi$ | $P_{см},$ кВт | $Q_{см},$ кВАр | $n_{э}$ | $K_{м}$ | $P_{max},$ кВт | $Q_{max},$ кВАр | $S_{max},$ кВА | $I_{max},$ А |
|----------------|---|-----------|--------------|--------------|------------|-------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| 1 | Кривошипный пресс КЕ-2130 | 14 | 55 | 770 | | 0,65 | 0,8/0,75 | 500,5 | 375,3 | | | | | | |
| 2 | Электро- мостовой кран | 1 | 50 | 50 | | 0,55 | 0,4/2,3 | 27,5 | 63,25 | | | | | | |
| ШМА-1 | | 15 | | 820 | 1,1 | 0,64 | 0,77/0,83 | 528 | 438,55 | 15 | 1,41 | 744,5 | 437,55 | 864 | 1313 |
| 3 | Токарный станок 1К62 | 6 | 5 | 30 | | 0,12 | 0,4/2,3 | 3,6 | 8,28 | | | | | | |
| 4 | Резьбонакатной станок UPW-25 | 3 | 3 | 9 | | 0,12 | 0,4/2,3 | 1,08 | 2,484 | | | | | | |
| 5 | Шлифовальный станок ZL-DG- 1-160 | 5 | 3 | 15 | | 0,12 | 0,4/2,3 | 1,8 | 4,14 | | | | | | |
| 6 | Координатно- расточной станок В44 | 4 | 10 | 40 | | 0,23 | 0,5/1,73 | 9,2 | 16 | | | | | | |
| 7 | Сверлильный станок 2Н135 | 7 | 5 | 35 | | 0,12 | 0,5/1,73 | 4,2 | 7,26 | | | | | | |
| ШРА-2.1 | | 25 | | 129 | 3,3 | 0,3 | 0,44/2 | 19,88 | 38,16 | 12 | 1,55 | 30,8 | 38,16 | 49 | 74,4 |
| 8 | Токарный станок 1К62 | 7 | 5 | 35 | | 0,12 | 0,5/1,73 | 4,2 | 7,26 | | | | | | |
| 9 | Фрезерный станок JET Jmd-45PFD | 5 | 7,5 | 37,5 | | 0,14 | 0,5/1,73 | 5,25 | 9,08 | | | | | | |
| 10 | Резьбонарезной станок KST-340 | 3 | 2 | 6 | | 0,12 | 0,4/2,3 | 0,72 | 1,65 | | | | | | |
| 11 | Круглошлиф. станок 3М151 | 2 | 3 | 6 | | 0,12 | 0,4/2,3 | 0,72 | 1,65 | | | | | | |

Продолжение таблицы 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----------|-------------------------------------|-----|-----|------|-----|------|-----------|--------|--------|----|------|---------|---------|------|-------|
| 12 | Заточной станок ВГ200L | 5 | 3 | 15 | | 0,12 | 0,4/2,3 | 1,8 | 4,14 | | | | | | |
| 13 | Печь закалочная | 6 | 50 | 300 | | 0,55 | 0,6/1,33 | 165 | 219,4 | | | | | | |
| 14 | Печь отпускная | 6 | 50 | 300 | | 0,55 | 0,6/1,33 | 165 | 219,4 | | | | | | |
| 15 | Электро- мостовой кран | 1 | 50 | 50 | | 0,55 | 0,4/2,3 | 27,5 | 63,25 | | | | | | |
| ШМА-2 | | 60 | | 879 | 25 | 0,44 | 0,57/1,44 | 390 | 564 | 24 | 1,61 | 628 | 564 | 844 | 1282 |
| 16 | Кривошипный пресс Эрфурт- 500 | 16 | 15 | 240 | | 0,25 | 0,5/1,73 | 60 | 103,8 | | | | | | |
| ШРА-3.1 | | 16 | | 240 | | 0,25 | 0,5/1,73 | 60 | 103,8 | 16 | 1,55 | 93 | 103,8 | 139 | 211 |
| 17 | Вертикальный пресс ПВ-100 | 9 | 10 | 90 | | 0,23 | 0,5/1,73 | 20,7 | 35,8 | | | | | | |
| 18 | Гидравлический пресс КФР-1000 | 7 | 12 | 84 | | 0,23 | 0,5/1,73 | 19,32 | 33,42 | | | | | | |
| ШРА-3.2 | | 16 | | 174 | 1,2 | 0,2 | 0,5/1,73 | 40 | 69,2 | 16 | 1,55 | 62 | 69,2 | 93 | 141,3 |
| 19 | Электро- мостовой кран | 1 | 50 | 50 | | 0,55 | 0,4/2,3 | 27,5 | 63,25 | | | | | | |
| ШМА-3 | | 33 | | 464 | 5 | 0,27 | 0,47/1,85 | 127,5 | 236,25 | 85 | 1,61 | 205,2 | 236,25 | 313 | 475 |
| 20 | Кривошипный пресс Эрфурт-500 | 15 | 15 | 225 | | 0,25 | 0,5/1,73 | 56,25 | 97,3 | | | | | | |
| 21 | Электро- мостовой кран | 1 | 50 | 50 | | 0,55 | 0,4/2,3 | 27,5 | 63,25 | | | | | | |
| 22 | Моечно- сушильная уст. | 2 | 100 | 200 | | 0,23 | 0,5/1,73 | 46 | 80 | | | | | | |
| ШРА- 4.1 | | 18 | | 475 | 6,6 | 0,27 | 0,47/1,85 | 130 | 240,5 | 10 | 1,61 | 209,3 | 240,5 | 319 | 485 |
| | Итого без осв | 126 | | 2638 | 50 | 0,44 | 0,62/1,25 | 1175,5 | 1479,3 | 62 | 1,75 | 2057 | 1479,3 | 2534 | 3850 |
| | Освещение | | | | | | | | | | | 23,92 | 3,35 | | |
| | Итого по цеху с освещением | | | | | | | | | | | 2080,92 | 1482,65 | 2555 | 3882 |

3 Расчёт электрических нагрузок освещения

Цель расчета освещения заключается в определении количества светильников необходимых для обеспечения в помещении нормированной освещенности. Выполнять светотехнический расчет можно несколькими методами: методом коэффициента использования светового потока; методом удельной мощности; точечным методом [7, 13, 30].

Метод коэффициента использования применяется для расчета общего равномерного освещения поверхностей.

Метод удельной мощности используется для установленной мощности осветительной установки.

Точечный метод расчета освещения применяется для расчета общего равномерного освещения независимо от расположения освещаемой поверхности.

Расчёт электрических нагрузок в производстве крупной штамповки и вырубки выполняется по методу коэффициента использования.

Рассмотрим вариант №1 с использованием люминесцентных светильников ASTZ T8 ЛВО08 - 4x36-021 WRS.

- Находим площадь помещения производства крупной штамповки и вырубки завода ОАО «ТЗТО»:

$$S = a \cdot \hat{a} = 72 \cdot 60 = 4320 \text{ м}^2, \quad (3.1)$$

где a и \hat{a} - длина и ширина помещения, м.

- Определяем расчётную высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p, \quad (3.2)$$

$$h = 13 - 1 = 12 \text{ м},$$

где Н - высота помещения;

hr - высота рабочей поверхности.

- Находим индекс помещения:

$$I = \frac{S}{(H1 - H2) \cdot (r + a)}, \quad (3.3)$$

$$I = \frac{4320}{(12 - 1) \cdot (72 + 60)} = 3,$$

где Н1 - высота цеха, м;

Н2 - высота рабочей поверхности, м;

Принимаем Н2=1 м.

- Определяем коэффициент запаса:

Принимаем Кз=2, при внутреннем и наружном освещении при сильном загрязнении.

- Принимаем коэффициент отражения потолка, стен и пола.

потолок 50% стены 30% пол 10%

- Находим требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot Kz}{\eta \cdot n \cdot \Phi_E}, \quad (3.4)$$

$$N = \frac{200 \cdot 4320 \cdot 2}{0,64 \cdot 4 \cdot 2850} = 236 \text{ шт},$$

где E – требуемая горизонтальная освещённость – 200 Лк;

η – коэффициент использования - 64%;

Кз – коэффициент запаса - 2;

n – количество ламп в светильнике - 4;

Фл – световой поток одной лампы - 2850 Лм.

- Активная нагрузка освещения:

$$P_{i\dot{N}\dot{A}} = N \cdot n \cdot P_{\dot{e}}, \quad (3.5)$$

$$P_{i\dot{N}\dot{A}} = 236 \cdot 4 \cdot 36 = 33,984 \text{ кВт},$$

где $P_{\dot{e}}$ – мощность одной лампы.

- Реактивная мощность осветительной нагрузки:

$$Q_{i\dot{N}\dot{A}} = P_{i\dot{N}\dot{A}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.6)$$

$$Q_{i\dot{N}\dot{A}} = 33,984 \cdot 0,29 = 9,855 \text{ квар},$$

где тангенс потерь $\operatorname{tg} \varphi$ находим из коэффициента мощности $\cos \varphi$.

$$\cos \varphi = 0,96 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = 0,29.$$

В программе DIALux Light провели расчет освещения цеха для данных светильников. На рисунке 1 показано расположение светильников в производстве.

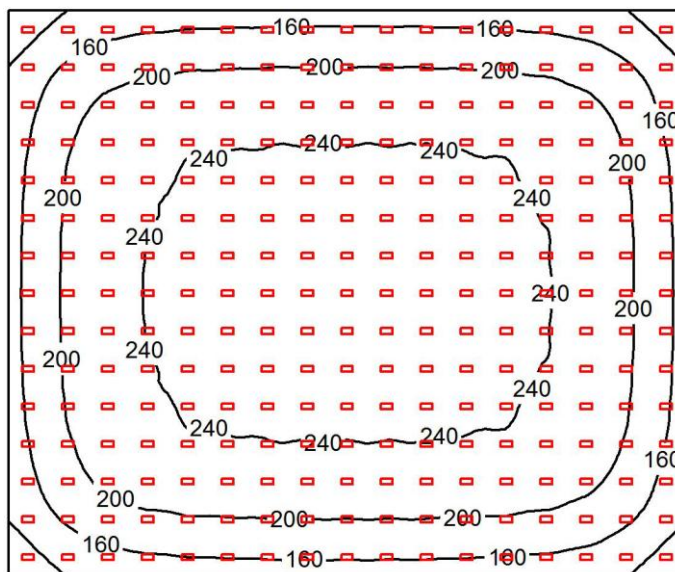


Рисунок 1 - Расположение люминесцентных светильников в производстве крупной штамповки и вырубке

Рассмотрим вариант №2 с использованием светодиодных светильников ASTZ LEDДО 12-260-001.

- Находим требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_z}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (3.7)$$
$$N = \frac{200 \cdot 4320 \cdot 2}{1 \cdot 1 \cdot 21400} = 80 \text{ шт.},$$

где E – требуемая горизонтальная освещённость – 200 Лк;

η – коэффициент использования - 100%;

K_z – коэффициент запаса - 2;

n – количество ламп в светильнике - 1;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы - 21400 Лм.

- Активная нагрузка освещения:

$$P_{\text{ИЛ}} = N \cdot n \cdot P_{\text{л}}, \quad (3.8)$$
$$P_{\text{ИЛ}} = 80 \cdot 1 \cdot 260 = 20,8 \text{ кВт.},$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы.

- Реактивная мощность осветительной нагрузки:

$$Q_{\text{ИЛ}} = P_{\text{ИЛ}} \cdot \text{tg} \varphi, \quad (3.9)$$
$$Q_{\text{ИЛ}} = 20,8 \cdot 0,14 = 2,91 \text{ квар.},$$

где тангенс потерь $\text{tg} \varphi$ находим из коэффициента мощности $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = 0,99 \Rightarrow \text{tg} \varphi = 0,14.$$

В программе DIALux Light провели расчет освещения цеха для данных светильников. На рисунке 2 показано расположение светильников в производстве.

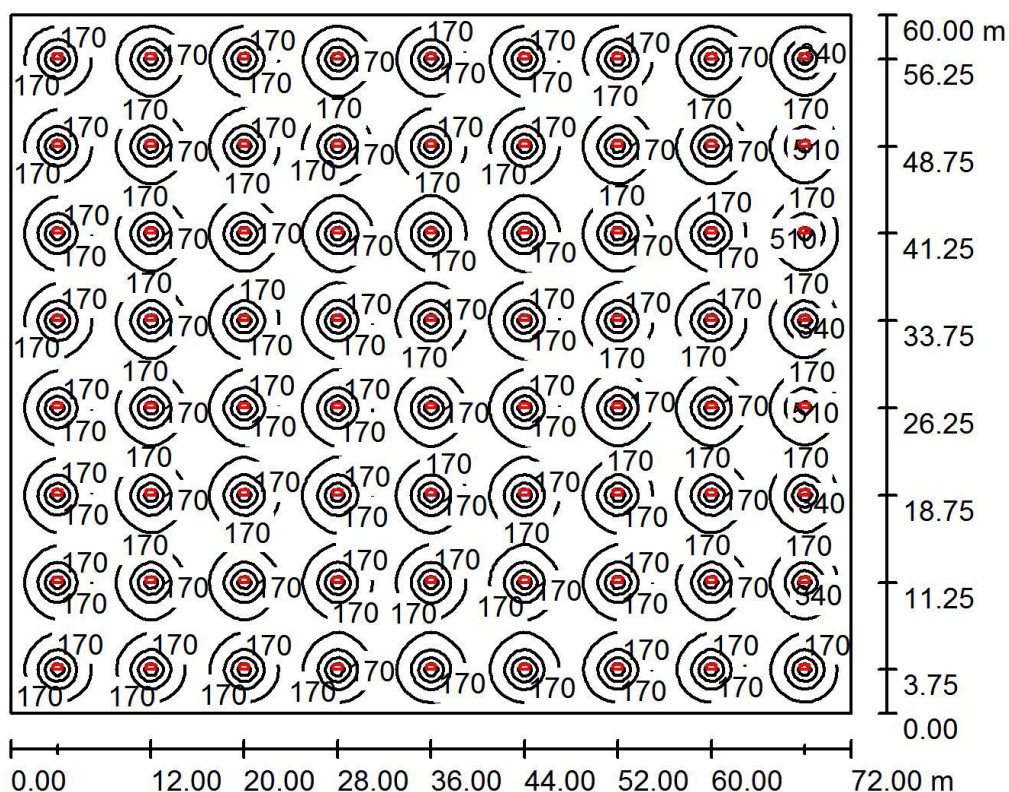


Рисунок 2 - Расположение светодиодных светильников в производстве крупной штамповки и вырубки

Для обоих вариантов примера № 1 и примера № 2 количество светильников в расчётном варианте и в варианте DIALux Light незначительно расходятся. Это связано с тем, что при расчёте в программе DIALux Light учитываем коэффициенты отражения (потолок, стены, пол), высоту рабочей плоскости, высоту монтажа светильников. Следовательно, расчёты в программе DIALux Light более точны и они принимаются за основу данного расчёта.

В программе DIALux Light суммарная активная мощность составила 18,72 кВт.

Учитывая, что количество светильников для люминесцентных ламп выше, чем у светодиодных, а так же потребляемая мощность выше у

люминесцентных, делаем вывод, что экономичным вариантом будет установка светодиодных светильников.

Принимаем к установке светодиодные светильники ASTZ LEDДО 12-260-001 в количестве 72 штук. Мощность светильника составляет 260 Вт. Световой поток одной лампы - 21400 Лм.

Расчёт освещения термического участка и склада готовой продукции введём в программе исключительно в DIALux Light.

К установке для термического участка принимаем выбранный в предыдущем пункте светодиодный светильник типа ASTZ LEDДО 12-260-001 в количестве 8 штук.

В программе DIALux Light суммарная активная мощность составила 2,08 кВт.

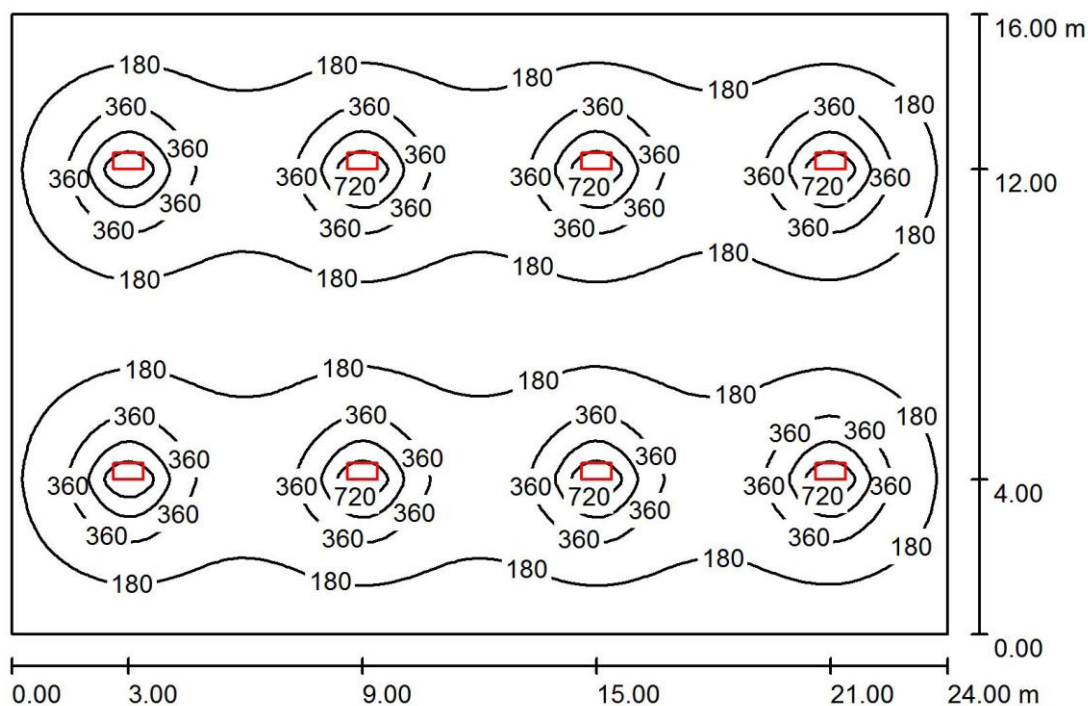


Рисунок 3 - Расположение светодиодных светильников в термическом участке

К установке для склада готовой продукции принимаем светодиодный светильник типа ASTZ LEDДО 12-260-001 в количестве 12 штук.

В программе DIALux Light суммарная активная мощность составила 3,12 кВт.

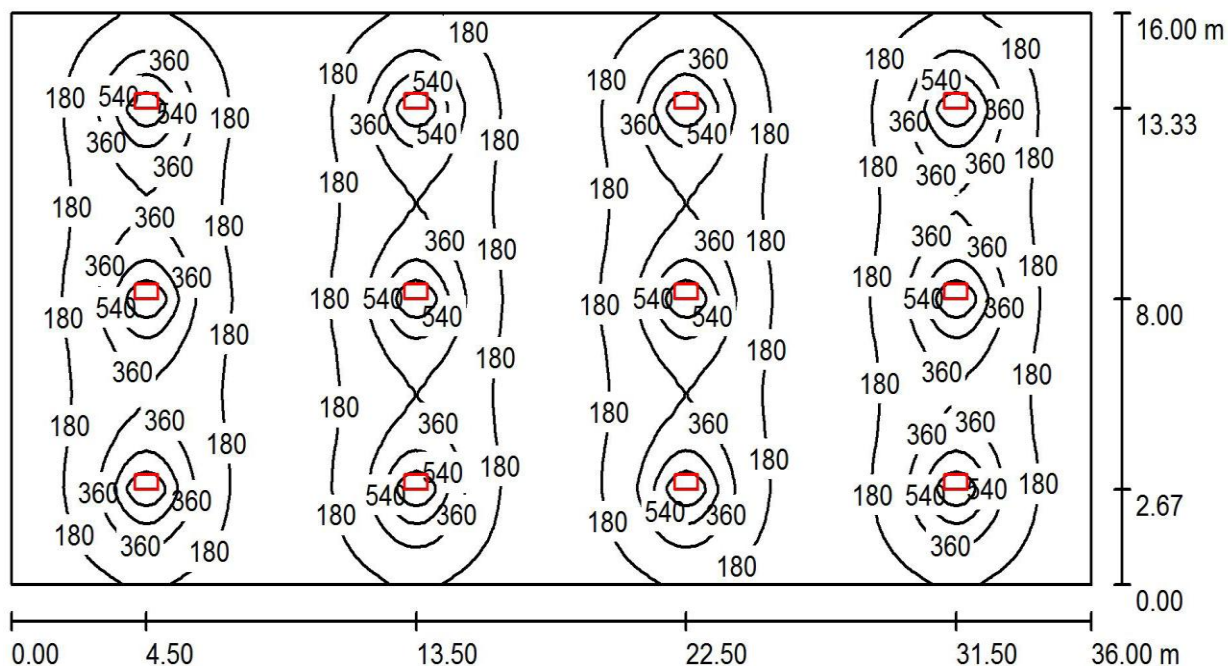


Рисунок 4 - Расположение светодиодных светильников в складе готовой продукции

Таким образом, определим суммарную мощность освещения всего цеха:

$$P_{iA\dot{U}} = D_1(\text{ö}l\ddot{o}) + D_2(\text{ñ}l\ddot{d}\check{c}\check{z}\check{e}r) + P_3(\text{ñe}\check{e}r\check{a}), \quad (3.10)$$

$$P_{iA\dot{U}} = 18,72 + 2,08 + 3,12 = 23,92 \text{ кВт.}$$

$$Q_{iA\dot{U}} = D_{i\check{a}\check{u}} \cdot tg\varphi, \quad (3.11)$$

$$Q_{iA\dot{U}} = 23,92 \cdot 0,14 = 3,35 \text{ квар,}$$

где тангенс потерь $tg \varphi$ находим из коэффициента мощности $\cos\varphi$:

$$\cos\varphi = 0,99 \Rightarrow tg\varphi = 0,14.$$

К установке в производстве крупной штамповки и вырубке принимаем светодиодный светильник типа ASTZ LEDДО 12-260-001 в количестве 92 штук. Установка светодиодных светильников в производственных помещениях

является более экономичным выбором, так как, по сравнению с другими светильниками, они потребляют в несколько раз меньше электроэнергии.

Определяем суммарную электрическую нагрузку по цеху с учетом освещения.

- Активная мощность:

$$P = \sum P_{ii\bar{e}} + P_{ii\bar{a}}, \quad (3.12)$$

$$P = 2057 + 23,92 = 2080,92 \text{ кВт.}$$

- Реактивная мощность:

$$Q = \sum Q_{ii\bar{e}} + Q_{ii\bar{a}}, \quad (3.13)$$

$$Q = 1479,3 + 3,35 = 1482,65 \text{ квар.}$$

- Определяем полную суммарную нагрузку по цеху:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3.14)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{2080,92^2 + 1482,65^2} = 2555 \text{ кВА.}$$

- Суммарный расчетный ток:

$$I_{\text{э\text{р}е\text{н}}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{ii\bar{e}}}, \quad (3.15)$$

$$I_{\text{э\text{р}е\text{н}}} = \frac{2555 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 3882 \text{ А.}$$

4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов с учетом компенсации реактивной мощности

Так как предприятие занимается производством комплектующих деталей для автомобилей, то перерыв в электроснабжении приведёт к массовому недоотпуску продукции. Следовательно, потребители относятся ко II категории надёжности электроснабжения [9, 10, 12, 18, 19, 28, 31].

Трансформаторы выбираем из каталога завода «Тольяттинский трансформатор».

Исходные данные:

$$P_{\Sigma} = 2080,92 \text{ кВт}, Q_{\Sigma} = 1482,65 \text{ квар}, S_{\Sigma} = 2555 \text{ кВА}.$$

В производстве установлено 3 трансформатора.

Рассмотрим вариант №1 с использованием трёх трансформаторов.

Принимаем количество трансформаторов равным трём, а так же коэффициент загрузки принимаем равным 0,7.

- Рассчитаем мощность трансформатора:

$$S = \frac{S_{\Sigma}}{K_{\zeta} \cdot N_{\eta}}, \quad (4.1)$$

$$S = \frac{2555}{0,7 \cdot 3} = 1216 \text{ кВА}.$$

Принимаем к установке силовой трансформатор ТМ-1600/6-У1 в количестве трёх штук.

Характеристики трансформатора:

$S_{ном} = 1600 \text{ кВА}$; $U_{вн} = 6 \text{ кВ}$; $U_{нн} = 0,4 \text{ кВ}$; схема соединения $\Delta/U_{н-11}$;

$P_{хх} = 2,35 \text{ кВт}$; $P_{кз} = 18 \text{ кВт}$; $U_{кз} = 6\%$; $I_{хх} = 0,6\%$.

- Рассчитаем потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{\text{н}} = Nm \cdot (\Delta D_{\text{оо}} + \epsilon_{\zeta}^2 \cdot \Delta D_{\text{е\zeta}}), \quad (4.2)$$

$$\Delta P_{\text{н}} = 3 \cdot (2,35 + 0,7^2 \cdot 18) = 33,51 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\text{н}} = Nm \cdot (I_{\text{оо}} + \epsilon_{\zeta}^2 \cdot \Delta D_{\text{е\zeta}}) \cdot \frac{Sn}{100}, \quad (4.3)$$

$$\Delta Q_{\text{н}} = 3 \cdot (0,6 + 0,7^2 \cdot 18) \cdot \frac{1600}{100} = 452,16 \text{ квар,}$$

где N_{T} - количество трансформаторов;

ΔP_{T} - потери активной мощности одного трансформатора, (кВт);

ΔQ_{T} - потери реактивной мощности одного трансформатора, (кВАр).

- Расчетная нагрузка цеха с учётом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_{\text{T}}, \quad (4.4)$$

$$P_p = 2080,92 + 33,51 = 2114 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{\text{T}}, \quad (4.5)$$

$$Q_p = 1482,65 + 452,16 = 1934 \text{ квар.}$$

- Реактивная мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{\text{min}} = 0,5 \cdot Q_p, \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{min}} = 0,5 \cdot 1934 = 967 \text{ квар.}$$

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{\text{Y1}} = Q_p - 0,7 \cdot Q_{\text{н}}, \quad (4.7)$$

$$Q'_{\dot{Y}1} = 1934 - 0,7 \cdot 0 = 1934 \text{ квар.}$$

$$Q''_{\dot{Y}1} = \alpha \cdot P_P, \quad (4.8)$$

$$Q''_{\dot{Y}1} = 0,28 \cdot 2114 = 592 \text{ квар.}$$

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений: $Q_{\dot{Y}1} = 592$ квар.

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\dot{Y}2} = Q_{\min} + Q_K, \quad (4.9)$$

$$Q'_{\dot{Y}2} = 967 + 0 = 967 \text{ квар.}$$

$$Q''_{\dot{Y}2} = Q_{\min} - Q_{E\dot{A}} = Q_{\min} - (Q_P - Q_{\dot{Y}1}), \quad (4.10)$$

$$Q''_{\dot{Y}2} = 967 - (1934 - 592) = -375 \text{ квар.}$$

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений: $Q_{\dot{Y}2} = 967$ квар.

- Суммарная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{e\acute{o}.max} = 1,1 \cdot Q_P - Q_{\dot{Y}1}, \quad (4.11)$$

$$Q_{e\acute{o}.max} = 1,1 \cdot 1934 - 592 = 1535 \text{ квар.}$$

$$Q_{e\acute{o}.min} = Q_{\min} - Q_{\dot{Y}2}, \quad (4.12)$$

$$Q_{e\acute{o}.min} = 967 - 967 = 0 \text{ квар.}$$

Все КУ должны быть регулируемы. Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\dot{Y}} = Q_{\dot{Y}_1} - (Q_P - Q_{P\Sigma}), \quad (4.13)$$

$$Q_{\dot{Y}} = 592 - (1934 - 1482,65) = 140,65 \text{ квар.}$$

- Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_C \cdot S_{\dot{i}\dot{i}\dot{e}})^2 - P_{P\Sigma}^2}, \quad (4.14)$$

$$Q_T = \sqrt{(3 \cdot 0,7 \cdot 1600)^2 - 2080,92^2} = 2638 \text{ квар.}$$

- Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ:

$$Q_{e\acute{o}.i} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (4.15)$$

$$Q_{e\acute{o}.i} = 1482 - 2638 = -1155,35 \text{ квар.}$$

Так как $-1155,35 < 100\text{кВАр}$, то установка компенсирующих устройств не целесообразна.

Затраты на установку трёх трансформаторов ТМ-1600:

$$\alpha = 408,21 \text{ руб/кВт}; \quad \beta = 2,44 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}; \quad \check{N}_{\dot{E}} = 4500 \text{ ч}; \quad \check{N}_{\dot{D}} = 8760 \text{ ч};$$

$$\Delta P_{\acute{o}\acute{o}} = 2,35 \text{ кВт}; \quad P_{\dot{E}\dot{C}} = 18 \text{ кВт}; \quad K_{\check{N}\dot{D}} = 1347527 \text{ (тыс.руб)}.$$

- Рассчитаем составляющие коэффициенты для определения затрат на установку СТ:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_D = \left(0,124 + \frac{4500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ (ч)}, \quad (4.16)$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_P = \left(\frac{408,21}{4500} + 0,0244 \right) \cdot 8760 = 1008 \text{ (руб/кВт·год)}, \quad (4.17)$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau = \left(\frac{408,21}{4500} + 0,0244 \right) \cdot 2886 = 332 \text{ (руб/кВт·год)}, \quad (4.18)$$

$$\dot{N} \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{\text{оо}} + \dot{N} \cdot K_C^2 \cdot \Delta P_{\text{еС}} = 1008 \cdot 2,35 + 332 \cdot 0,7^2 \cdot 18 = 5297 \text{ (руб/год)}. \quad (4.19)$$

- Затраты на установку СТ:

$$C_{\text{еНД}} = \dot{L} \cdot E_{\text{НД}} \cdot N_N + \frac{\dot{N} \cdot \Delta P_T}{1000} \cdot N_T = 0,223 \cdot 1347527 \cdot 3 + \frac{5297}{1000} \cdot 3 = 901511 \text{ (тыс.руб)}. \quad (4.20)$$

Так как в производстве установлено 3 трансформатора, а для электроснабжения производства достаточно два трансформатора, то для данной потребляемой мощности производства использование трёх трансформаторов нецелесообразно.

Рассмотрим вариант №2 с использованием двух трансформаторов.

Принимаем количество трансформаторов равным двум, а так же коэффициент загрузки принимаем равным 0,7.

- Рассчитаем мощность трансформатора:

$$S = \frac{S \Sigma}{E_{\text{С}} \cdot N \eta}, \quad (4.21)$$

$$S = \frac{2555}{0,7 \cdot 2} = 1825 \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке силовой трансформатор ТМ-2500/6-У1 в количестве двух штук.

Характеристики трансформатора:

$S_{ном} = 2500$ кВА; $U_{вн} = 6$ кВ; $U_{нн} = 0,4$ кВ; схема соединения $\Delta/U_{н-11}$;

$P_{хх} = 4,2$ кВт; $P_{кз} = 28$ кВт; $U_{кз} = 6,5\%$; $I_{хх} = 1\%$

- Рассчитаем потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{\check{n}} = Nm \cdot (\Delta D_{\check{o}\check{o}} + \epsilon\zeta^2 \cdot \Delta D_{\epsilon\zeta}), \quad (4.22)$$

$$\Delta P_{\check{n}} = 2 \cdot (4,2 + 0,7^2 \cdot 28) = 35,84 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_{\check{n}} = Nm \cdot (I_{\check{o}\check{o}} + \epsilon\zeta^2 \cdot \Delta D_{\epsilon\zeta}) \cdot \frac{S_n}{100}, \quad (4.23)$$

$$\Delta Q_{\check{n}} = 2 \cdot (1 + 0,7^2 \cdot 28) \cdot \frac{2500}{100} = 736 \text{ квар,}$$

где N_T - количество трансформаторов;

ΔP_T - потери активной мощности одного трансформатора, (кВт);

ΔQ_T - потери реактивной мощности одного трансформатора, (кВАр).

- Расчетная нагрузка цеха с учётом потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (4.24)$$

$$P_p = 2080,92 + 35,84 = 2116 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (4.25)$$

$$Q_p = 1482,65 + 736 = 2218 \text{ квар.}$$

- Реактивная мощность в часы минимума нагрузки:

$$Q_{\min} = 0,5 \cdot Q_p, \quad (4.26)$$

$$Q_{\min} = 0,5 \cdot 2218 = 1109 \text{ квар.}$$

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{\dot{Y}1} = Q_P - 0,7 \cdot Q_{\dot{N}\dot{A}}, \quad (4.27)$$

$$Q'_{\dot{Y}1} = 2218 - 0,7 \cdot 0 = 2218 \text{ квар.}$$

$$Q''_{\dot{Y}1} = \alpha \cdot P_P, \quad (4.28)$$

$$Q''_{\dot{Y}1} = 0,28 \cdot 2116 = 592,48 \text{ квар.}$$

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений: $Q_{\dot{Y}1} = 592,48$ квар.

- Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\dot{Y}2} = Q_{\min} + Q_K, \quad (4.29)$$

$$Q'_{\dot{Y}2} = 1109 + 0 = 1109 \text{ квар.}$$

$$Q''_{\dot{Y}2} = Q_{\min} - Q_{E\dot{A}} = Q_{\min} - (Q_P - Q_{\dot{Y}1}), \quad (4.30)$$

$$Q''_{\dot{Y}2} = 1109 - (2218 - 592,48) = -516 \text{ квар.}$$

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений: $Q_{\dot{Y}2} = 1109$ квар.

- Суммарная мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{e\acute{o}.max} = 1,1 \cdot Q_P - Q_{\dot{Y}1}, \quad (4.31)$$

$$Q_{e\acute{o}.max} = 1,1 \cdot 2218 - 592,48 = 1847 \text{ квар.}$$

$$Q_{\text{e}o.\text{min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\dot{Y}2}, \quad (4.32)$$

$$Q_{\text{e}o.\text{min}} = 1109 - 1109 = 0 \text{ квар.}$$

Все КУ должны быть регулируемы. Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\dot{Y}i} = Q_{\dot{Y}1} - (Q_P - Q_{P\Sigma}), \quad (4.33)$$

$$Q_{\dot{Y}i} = 592,48 - (2218 - 1482,65) = -142,87 \text{ квар.}$$

- Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot K_C \cdot S_{\text{нн}})^2 - P_{P\Sigma}^2}, \quad (4.34)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 2500)^2 - 2080,92^2} = 2814 \text{ квар.}$$

- Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ:

$$Q_{\text{e}o.i} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (4.35)$$

$$Q_{\text{e}o.i} = 1482 - 2814 = -1331,35 \text{ квар.}$$

Так как $-1331,35 < 100\text{кВАр}$, то установка компенсирующих устройств не целесообразна.

Затраты на установку двух трансформаторов ТМ-2500:

$$\alpha = 408,21 \text{ руб/кВт}; \quad \beta = 2,44 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч}; \quad \check{N}_E = 4500 \text{ ч}; \quad \check{N}_D = 8760 \text{ ч};$$

$$\Delta P_{\text{д}o\text{д}} = 4,2 \text{ кВт}; \quad P_{E\zeta} = 28 \text{ кВт}; \quad K_{\check{N}D} = 1753625 \text{ (руб)}.$$

- Рассчитаем составляющие коэффициенты для определения затрат на установку СТ:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_D = \left(0,124 + \frac{4500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2886 \text{ (ч)}, \quad (4.36)$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_P = \left(\frac{408,21}{4500} + 0,0244\right) \cdot 8760 = 1008 \text{ (руб/кВт·год)}, \quad (4.37)$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau = \left(\frac{408,21}{4500} + 0,0244\right) \cdot 2886 = 332 \text{ (руб/кВт·год)}, \quad (4.38)$$

$$\dot{N} \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{\text{оо}} + \dot{N} \cdot K_C^2 \cdot \Delta P_{\text{ЭС}} = 1008 \cdot 4,2 + 332 \cdot 0,7^2 \cdot 28 = 8788 \text{ (руб/год)}. \quad (4.39)$$

- Затраты на установку СТ:

$$\zeta_{\text{ЭНД}} = \dot{L} \cdot E_{\text{ЭНД}} \cdot N_N + \frac{\dot{N} \cdot \Delta P_T}{1000} \cdot N_T = 0,223 \cdot 1753625 \cdot 2 + \frac{8788}{1000} \cdot 2 = 782134 \text{ (руб)}. \quad (4.40)$$

Сравнив два варианта в расчётах с использованием трёх и двух трансформаторов, делаем вывод, что для данного производства выгодно и целесообразно использовать два трансформатора.

Принимаем к установке два трансформатора ТМ-2500/6.

5 Расчет токов короткого замыкания

Коротким замыканием (КЗ) называется электрическое соединение двух точек электрической цепи с различными значениями потенциала. Короткое замыкание возникает из-за повреждённой изоляции токоведущих элементов. Может появиться и в результате ошибочных действий персонала при обслуживании и ремонта электрооборудования [16, 20, 22, 30].

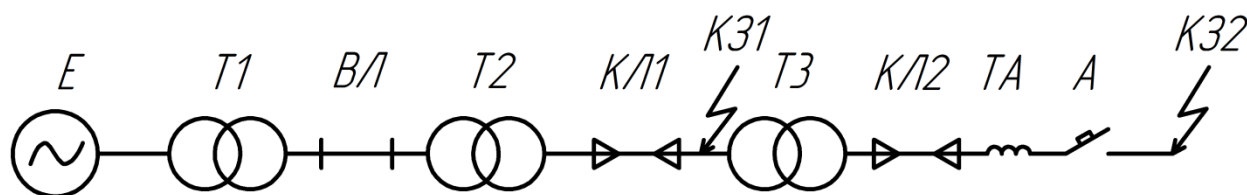


Рисунок 5 - Электрическая схема

Исходные данные:

Генератор: $U_n = 10 \text{ кВ}$ (10,5кВ); $X_\Gamma = 10 \text{ Ом}$.

Трансформатор T1: ТДН — 25000/110; $S_n = 25 \text{ МВА}$; $U_{кз} = 10,5\%$;
 $\Delta P_{кз} = 354 \text{ кВт}$.

Воздушная линия ВЛ: $r_0 = 0,8 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,44 \text{ Ом/км}$; $L = 7 \text{ км}$;
 $U_n = 110 \text{ кВ}$.

Базисное напряжение $U_b = 0,4 \text{ кВ}$.

Базисная мощность $S_b = 1000 \text{ МВА}$.

Трансформатор T2: ТДН — 16000/110; $S_n = 16 \text{ МВА}$; $U_{кз} = 10,5\%$;
 $\Delta P_{кз} = 235 \text{ кВт}$.

Трансформатор T3: ТМ — 2500/10; $S_n = 2,5 \text{ МВА}$; $U_{кз} = 6,5\%$;
 $\Delta P_{кз} = 53 \text{ кВт}$.

Кабельная линия КЛ1: $U_n = 6 \text{ кВ}$; $r_0 = 0,6 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,07 \text{ Ом/км}$;
 $L = 3 \text{ км}$.

Кабельная линия КЛ2: $U_n = 0,4 \text{ кВ}$; $r_0 = 0,6 \text{ Ом/км}$; $x_0 = 0,07 \text{ Ом/км}$;
 $L = 100 \text{ м}$.

Трансформатор тока: $r_{та} = 0,01 \text{ Ом}$; $x_{та} = 0,001 \text{ Ом}$.

Автомат А: $r_A = 0,002 \text{ Ом}$; $x_A = 0,002 \text{ Ом}$.

Расчёт токов короткого замыкания на стороне 6 кВ проведем в относительных единицах:

Генератор.

$$\check{O}_{*A} = \check{O}_A \cdot \frac{S_A^2}{U_i^2}, \quad (5.1)$$

$$\check{O}_{*A} = 10 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 90,7 \text{ о.е.}$$

Трансформатор Т1.

$$X_{*N1} = \frac{U_{E\zeta}}{100} \cdot \frac{S_A^2}{S_i}, \quad (5.2)$$

$$X_{*N1} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 4,2 \text{ о.е.}$$

Воздушная линия ВЛ.

$$X_{*A\check{E}} = X \cdot L \cdot \frac{S_A^2}{U_i^2}, \quad (5.3)$$

$$X_{*A\check{E}} = 0,44 \cdot 7 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,23 \text{ о.е.}$$

Трансформатор Т2.

$$X_{*N2} = \frac{U_{E\zeta}}{100} \cdot \frac{S_A^2}{S_i}, \quad (5.4)$$

$$X_{*N2} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{16} = 6,56 \text{ о.е.}$$

Кабельная линия КЛ.

$$X_{*E\ddot{E}} = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_A^2}{U_i^2}, \quad (5.5)$$

$$X_{*E\ddot{E}} = 0,07 \cdot 3 \cdot \frac{1000}{6,3^2} = 5,29 \text{ о.е.}$$

- Определяем суммарные сопротивления:

$$\check{O}_{\Sigma} = \frac{1}{2} \cdot (90,7 + 4,2 + 0,23 + 6,56 + 5,29) = 53,5 \text{ о.е.} \quad (5.6)$$

- Ток короткого замыкания:

$$I_{E\zeta} = \frac{1}{X_{\Sigma}} \cdot I_A = \frac{1}{X_{\Sigma}} \cdot \frac{S_A}{\sqrt{3} \cdot U_{A2}}, \quad (5.7)$$

$$I_{K3} = \frac{1}{53,5} \cdot \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1,72 \text{ А.}$$

Ударный коэффициент определяем по таблице в методике Воробьёва А.Ю [26].

-Ударный ток:

$$I_{\text{уд}} = I_{K3} \cdot \sqrt{2} \cdot K_y, \quad (5.8)$$

$$I_{\text{уд}} = 1,72 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,08 = 2,63 \text{ кА.}$$

Расчёт токов короткого замыкания на стороне 0,4 кВ проведем в именованных единицах:

Генератор.

$$\check{O}_{*A} = \check{O}_A \cdot \frac{U_A^2}{U_i^2}, \quad (5.9)$$

$$\check{O}_{*A} = 10 \cdot \frac{0,4^2}{10,5^2} = 145 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Трансформатор Т1.

$$Z_{*N1} = \frac{U_E}{100} \cdot \frac{U_A^2}{S_i}, \quad (5.10)$$

$$Z_{*N1} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{25} = 6,72 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

$$r_{*N1} = \Delta P_{E\zeta} \cdot \frac{U_A^2}{S_i^2}, \quad (5.11)$$

$$r_{*N1} = 0,354 \cdot \frac{0,4^2}{25^2} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$\check{O}_{*N1} = \sqrt{Z_{*N1}^2 - r_{*N1}^2}, \quad (5.12)$$

$$\check{O}_{*N1} = \sqrt{(6,72 \cdot 10^{-4})^2 - (9 \cdot 10^{-5})^2} = 6,65 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Воздушная линия ВЛ.

$$r_{*AE} = r_0 \cdot L \cdot \frac{U_A^2}{U_i^2} \text{ Ом,} \quad (5.13)$$

$$r_{*AE} = 0,8 \cdot 7 \cdot \frac{0,4^2}{115^2} = 6,78 \cdot 10^{-5}.$$

$$X_{*AE} = X_0 \cdot L \cdot \frac{U_A^2}{U_i^2}, \quad (5.14)$$

$$X_{*AE} = 0,44 \cdot 7 \cdot \frac{0,4^2}{115^2} = 3,73 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Трансформатор Т2.

$$Z_{*N2} = \frac{U_E}{100} \cdot \frac{U_A^2}{S_i}, \quad (5.15)$$

$$Z_{*N2} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{16} = 1,05 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$r_{*N2} = \Delta P_{E\zeta} \cdot \frac{U_A^2}{S_i}, \quad (5.16)$$

$$r_{*N2} = 0,235 \cdot \frac{0,4^2}{16^2} = 14,7 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$\check{O}_{*N2} = \sqrt{Z_{*N2}^2 - r_{*N2}^2}, \quad (5.17)$$

$$\check{O}_{*N2} = \sqrt{(1,05 \cdot 10^{-5})^2 - (14,7 \cdot 10^{-5})^2} = 104 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Кабельная линия КЛ1.

$$r_{*EE1} = r_0 \cdot L \cdot \frac{U_A^2}{U_i^2}, \quad (5.18)$$

$$r_{*EE1} = 0,6 \cdot 3 \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} = 725 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$X_{*EE1} = X_0 \cdot L \cdot \frac{U_A^2}{U_i^2}, \quad (5.19)$$

$$X_{*EE1} = 0,07 \cdot 3 \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} = 84,6 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Трансформатор ТЗ.

$$Z_{*N3} = \frac{U_E}{100} \cdot \frac{U_A^2}{S_i}, \quad (5.20)$$

$$Z_{*N3} = \frac{6,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{25} = 416 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$r_{*T3} = \Delta P_{K3} \cdot \frac{U_B^2}{S_H^2}, \quad (5.21)$$

$$r_{*T3} = 0,053 \cdot \frac{0,4^2}{2,5^2} = 135 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

$$\check{O}_{*N3} = \sqrt{Z_{*N3}^2 - r_{*N3}^2}, \quad (5.22)$$

$$\check{O}_{*N3} = \sqrt{(416 \cdot 10^{-5})^2 - (135 \cdot 10^{-5})^2} = 393 \cdot 10^{-5} \text{ Ом.}$$

Кабельная линия КЛ2.

$$r_{*E\check{E}2} = r_0 \cdot L,$$

(5.23)

$$r_{*E\check{E}2} = 0,6 \cdot 0,1 = 0,06 \text{ Ом.}$$

$$X_{*E\check{E}2} = X_0 \cdot L, \quad (5.24)$$

$$X_{*E\check{E}2} = 0,07 \cdot 0,1 = 0,007 \text{ Ом.}$$

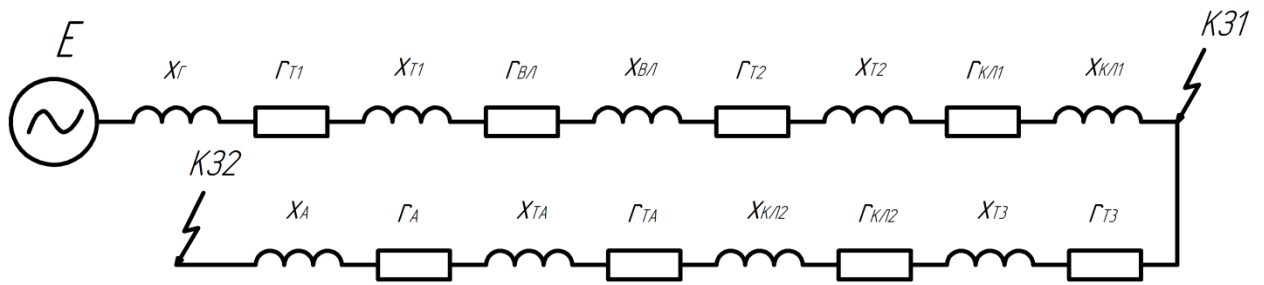


Рисунок 6 - Схема замещения прямой последовательности

- Определяем суммарные сопротивления:

$$\check{O}_{*NOE} = \frac{1}{2} \cdot (145 + 6,65 + 0,373 + 10,4 + 8,46 + 39,3 + 10 + 10 + 20) \cdot 10^{-4} = 125 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \quad (5.25)$$

$$r_{*NOE} = \frac{1}{2} \cdot (0,9 + 0,678 + 1,47 + 72,5 + 13,5 + 600 + 100 + 20) \cdot 10^{-4} = 405 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.} \quad (5.26)$$

- Полное суммарное сопротивление:

$$Z_{*} = \sqrt{(250 \cdot 10^{-4})^2 + (809 \cdot 10^{-4})^2} = \sqrt{179650 \cdot 10^{-8}} = 424 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.} \quad (5.27)$$

- Ток короткого замыкания:

$$I_{K3} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 424 \cdot 10^{-4}} = 5,46 \text{ кА.} \quad (5.28)$$

- Определяем постоянную времени:

$$T_a = \frac{125}{314 \cdot 405} = 0,001. \quad (5.29)$$

- Ударный коэффициент:

$$K_y = 1 + L \frac{-0,001}{0,001} = 1. \quad (5.30)$$

-Ударный ток:

$$I_{yД} = I_{кз} \cdot \sqrt{2} \cdot K_y, \quad (5.31)$$

$$I_{yД} = 5,46 \cdot \sqrt{2} \cdot 1 = 7,72 \text{ кА.}$$

6 Расчёт низковольтной распределительной сети

Выбор аппаратов защиты к оборудованию производится расчетом стандартных токовых значений исходя из номинальных данных и параметров питающей их сети.

Выбор аппаратов необходим для защиты от ненормальных режимов, таких как междуфазные короткие замыкания, замыкания фазы на корпус, увеличение тока, вызванное перегрузкой технологического оборудования и исчезновением напряжения [6, 15, 16, 29].

Защита от токов короткого замыкания должна выполняться для всего электрооборудования. Она должна срабатывать с минимальным временем отключения и должна быть отстроена от пусковых токов. Защита от перегрузки необходима для всех электроприемников с продолжительным режимом работы.

Расчет и выбор автоматического выключателя и кабеля для резьбонакатного станка UPW-25.

- номинальный ток электроприёмника:

$$I_{ii\bar{e}} = \frac{D_{ii\bar{e}}}{\sqrt{3} \cdot U_{ii\bar{e}} \cdot \cos\phi \cdot \eta}, \quad (6.1)$$

$$I_{ном} = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,4 \cdot 0,82} = 14 \text{ А},$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электроприемника, кВт;

$U_{ном}$ – номинальное линейное напряжение, В;

$\cos\phi$ – коэффициент мощности;

η – коэффициент полезного действия.

- номинальный ток теплового расцепителя:

$$I_{TP} = 1,15 \cdot I_{ном}, \quad (6.2)$$

$$I_{ND} = 1,15 \cdot 14 = 16,1 \text{ А.}$$

- номинальный пусковой ток:

$$I_{ПУСК} = I_{ном} \cdot (4 \div 7), \quad (6.3)$$

$$I_{ПУСК} = 14 \cdot 6 = 84 \text{ А,}$$

где $(4 \div 7)$ – кратность пускового тока в зависимости от характера нагрузки.

- номинальный ток электромагнитного расцепителя:

$$I_{YED} = I_{DOHE} \cdot 1,25, \quad (6.4)$$

$$I_{YED} = 84 \cdot 1,25 = 105 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель Курского электроаппаратного завода «КЭАЗ» ВА21-29 с номинальным током аппарата $I_{ном} = 20\text{А}$. Автомат находится в ответвительной коробке на ШРА-2.1.

Выбираем кабель ВВГнг(А)-LS 4x2,5 с допустимым током $I_{доп} = 25 \text{ А}$.

Так как мощность 3кВт имеет не только резбонакатной станок UPW-25, но и другие электроприёмники с такой же мощностью (Шлифовальный станок ZL-DG-1-160; Кругло-шлифовальный станок 3М151; Заточной станок BG200L; Резбонарезной станок JET KST-340), то автоматы и кабельные линии выбираем аналогичные.

Все остальные автоматы и кабельные линии для электроприёмников находим аналогично и результаты заносим в таблицу № 2.

Таблица 2 – Выбор автоматов и кабельных линий

| Позиция | Наименование ЭП | $P_{н. одн}$ | Ином, А | Игр, А | Ипуск, А | Иэлр, А | Автоматический выключатель Ином, А | Кабель |
|---------|---|--------------|---------|--------|----------|---------|---------------------------------------|----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Кривошипный пресс КЕ-2130 | 55 | 127 | 146 | 508 | 635 | ВА04-36-34 Ином=160 | ВВГнг(А)-LS 4x70 |
| 2 | Электро- мостовой кран | 50 | 231 | 265 | 924 | 1155 | ВА55-41 Ином=250 | ВВГнг(А)-LS 4x120 |
| 3 | Токарный станок 1К62 | 5 | 19 | 22 | 133 | 166 | ВА21-29 Ином=25 | ВВГнг(А)-LS 4x4 |
| 4 | Резьбонакатной станок UPW-25 | 3 | 14 | 16,1 | 84 | 105 | ВА21-29 Ином=20 | ВВГнг(А)-LS 4x2,5 |
| 5 | Шлифовальный станок ZL-DG-1-160 | 3 | 14 | 16,1 | 84 | 105 | ВА21-29 Ином=20 | ВВГнг(А)-LS 4x2,5 |
| 6 | Координатно- расточной станок В44 | 10 | 37 | 43 | 222 | 277 | ВА21-29 Ином=50 | ВВГнг(А)-LS 4x10 |
| 7 | Сверлильный станок 2Н135 | 5 | 19 | 22 | 133 | 166 | ВА21-29 Ином=25 | ВВГнг(А)-LS 4x4 |
| 8 | Фрезерный станок JET Jmd-45PFD | 7,5 | 28 | 32.2 | 168 | 210 | ВА21-29 Ином=40 | ВВГнг(А)-LS 4x6 |
| 9 | Резьбонарезной станок JET KST-340 | 2 | 9 | 10 | 45 | 56 | ВА21-29 Ином=16 | ВВГнг(А)-LS 4x1,5 |
| 10 | Кругло- шлифовальный станок 3М151 | 3 | 14 | 16,1 | 84 | 105 | ВА21-29 Ином=20 | ВВГнг(А)-LS 4x2,5 |

Продолжение таблицы 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----|-------------------------------------|-----|-----|------|------|------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 11 | Заточной станок BG200L | 3 | 14 | 16,1 | 84 | 105 | BA21-29 I _{ном} =20 | BBГ _{нГ} (A)-LS 4x2,5 |
| 12 | Печь закалочная | 50 | 231 | 265 | 924 | 1155 | BA55-41 I _{ном} =250 | BBГ _{нГ} (A)-LS 4x120 |
| 13 | Печь отпускная | 50 | 231 | 265 | 924 | 1155 | BA55-41 I _{ном} =250 | BBГ _{нГ} (A)-LS 4x120 |
| 14 | Кривошипный пресс Эрфурт- 500 | 15 | 55 | 63 | 275 | 343 | BA21-29 I _{ном} =63 | BBГ _{нГ} (A)-LS 4x16 |
| 15 | Вертикальный пресс ПВ-100 | 10 | 37 | 43 | 222 | 277 | BA21-29 I _{ном} =50 | BBГ _{нГ} (A)-LS 4x10 |
| 16 | Гидравлический пресс KFP-1000 | 12 | 44 | 50.6 | 220 | 275 | BA21-29 I _{ном} =50 | BBГ _{нГ} (A)-LS 4x10 |
| 17 | Моечно- сушильная установка | 100 | 371 | 426 | 1855 | 2318 | BA04-36-33 I _{ном} =400 | 2-BBГ _{нГ} (A)-LS 4x95 |

В производстве крупной штамповки и вырубке выбираем магистральные и распределительные шинопровода Старооскольского завода электромонтажных изделий «СОЭМИ».

Для ШМА-1 с током 1313А выбираем шинопровод ШМА-4 с током 1600А.

Для ШМА-2 с током 1282А выбираем так же шинопровод ШМА-4 с током 1600А.

Для ШМА-3 с током 475А выбираем шинопровод ШМА-4 с током 1250А.

Для ШРА-2.1 с током 74,4А выбираем шинопровод ШРА-4 с током 250А.

Для ШРА-3.1 с током 211А выбираем шинопровод ШРА-4 с током 250А.

Для ШРА-3.2 с током 141,3А выбираем шинопровод ШРА-4 с током 250А.

Для ШРА-4.1 с током 485А выбираем шинопровод ШРА-4 с током 630А.

Шинопроводы необходимы для запитки электрооборудования различного типа и назначения. Магистральные шинопроводы (ШМА) запитываются от трансформаторных подстанций и предназначены для питания распределительных шинопроводов (ШРА), или напрямую для мощных электроприёмников. Распределительные шинопроводы устанавливаются над электроприёмниками и запитывают их. Шинопроводы поставляются комплектными секциями, которые собраны из алюминиевых прямоугольных изолированных трёх, четырёх шин, зажатые внутри перфорированным кожухом со специальными изоляторами [4, 14, 20, 31].

В производстве крупной штамповки и вырубке используется магистральная схема электроснабжения. Данная схема выполняется шинопроводами различных марок и сечений. В данном производстве выбираем магистральные и распределительные шинопроводы Старооскольского завода электромонтажных изделий «СОЭМИ».

Производство относится ко второй категории надёжности, так как в случае аварии произойдёт массовый недоотпуск продукции, что крайне нежелательно для экономики завода.

Кабельные линии нужны в производстве для передачи электроэнергии. В производстве крупной штамповки и вырубки, кабельные линии проложены кабелем ВВГнг(А)-LS, который не поддерживает горение и имеет низкое дымо и газовыделение при горении или тлении кабеля. Наружный изоляционный слой и изоляция жил состоит из ПВХ изоляции (поливинилхлорид). Кабельные линии проложены по лоткам и стойкам (кабельным конструкциям). Стойка представляет собой профиль для установки кабельных полок.

При разметке трассы кабельных линий, прокладываемых в производственных помещениях, кабели должны быть открыто проложены для ремонта и осмотра [1, 2, 5, 14, 30].

Во всех пролётах производства, на термический участок и на склад готовой продукции для освещения проложены кабельные линии ВВГнг(А)-LS 4x2,5. В каждом пролёте на колонне установлены щиты освещения в количестве пяти автоматов. Один автомат вводной Курского электроаппаратного завода «КЭАЗ» ВМ-63-3N с номинальным током аппарата $I_{ном} = 25A$ и 4 однополюсных автомата Курского электроаппаратного завода «КЭАЗ» ВМ-63-1N с номинальным током аппарата $I_{ном} = 16A$.

В каждом пролёте находится четыре группы светильников. Питающий кабель для щитов освещения на вводной автомат принимаем ВВГнг(А)-LS 4x4. Для однополюсных выключателей принимаем кабель ВВГнг(А)-LS 4x2,5. Светильники установлены на стальной трос. В каждом пролёте находится по два троса. Со ШРА-2.1 запитаны два пролёта №1 и №2 с ответвительными коробками с автоматами на 32 А. Один автомат запитывает щит в пролёте №1, второй запитывает в пролёте №2.

В пролёте №3 щит освещения будет запитан от ШРА-4.1 кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4 на вводной автомат. В пролёте №4 щит освещения будет запитан от ШРА-3.2 также кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4 на вводной автомат.

На термическом участке в щите освещения 3 автомата. Один вводной Курского электроаппаратного завода «КЭАЗ» ВМ-63-3N с номинальным током аппарата $I_{ном} = 25A$ запитанный кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4 и два однополюсных

ВМ-63-1N запитанные кабелем ВВГнг(А)-LS 4x2,5. На термическом участке находится две группы светильников по четыре светильника в каждой группе. Освещение термического участка запитано от ШРА-2.1 с ответвительной коробки с автоматом на 32А.

На складе находится три группы светильников по четыре светильника в каждой группе. Щит освещения на складе запитан от ШРА-4.1 кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4 с ответвительной коробки с автоматом на 32 А. На складе в щите освещения 4 автомата. Один вводной с номинальным током аппарата $I_{ном} = 25А$ и три однополюсных ВМ-63-1N с номинальным током аппарата $I_{ном} = 16А$ запитанные кабелем ВВГнг(А)-LS 4x2,5.

Аварийные щиты освещения в пролётах производства, в термическом участке и на складе готовой продукции установлены на одной колонне рядом со щитами освещения, запитанные от АВР. АВР запитан от двух трансформаторов кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4. От АВР запитывается щит освещения во втором пролёте ОЩА-2 кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4. От ОЩА-2 запитывается шлейфом ОЩА-1, ОЩА-3, ОЩА-4. От ОЩА-1 запитывается аварийное освещение термического участка ОЩА-5 кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4. От ОЩА-3 запитывается аварийное освещение на складе готовой продукции ОЩА-6 кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4.

В первом пролёте задействованы три светильника для аварийного освещения. Во втором пролёте два светильника. В третьем пролёте задействованы три светильника. В четвёртом пролёте два светильника для аварийного освещения. На термическом участке задействованы два светильника. На складе готовой продукции для аварийного освещения задействованы два светильника.

В каждом аварийном щите по пролётам, на складе и на термическом участке находятся по два автомата. Один вводной автомат ВМ-63-3N с номинальным током аппарата $I_{ном} = 25А$ запитанный кабелем ВВГнг(А)-LS 4x4 и один однополюсный ВМ63-1N с номинальным током аппарата $I_{ном} = 16А$ запитанный кабелем ВВГнг(А)-LS 3x2,5.

7 Выбор оборудования на ТП

7.1 Выбор оборудования на стороне 6 кВ

В производстве крупной штамповки и вырубки установлена одна КТП с двумя трансформаторами ТМ-2500/6, которая запитывается от ЦРП двумя кабельными линиями ААШв 3х95. КТП состоит из шкафов, в которых смонтированы измерительные приборы, трансформаторы тока и напряжения, разъединители, выключатели нагрузки, секционник, низковольтные автоматические выключатели, система вентиляции и обогрева.

Так же КТП укомплектована средствами защиты (диэлектрические перчатки, диэлектрические галоши, защитные очки, указатели напряжения, диэлектрические коврики, изолирующие штанги, переносные заземлители, изолирующие клещи, переносные плакаты), средствами оказания первой медицинской помощи и средствами пожаротушения [9, 12, 18, 19, 28, 31].

Для выбора выключателей на стороне 6 кВ примем выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000.

Таблица 3 – Выбор выключателей на стороне 6 кВ

| Параметр выключателя | Расчётные данные | Соотношение | Каталожные данные |
|---------------------------------------|---|-------------|----------------------------------|
| Номинальное напряжение, кВ | $U_{ном} = 6$ | < | $U_{ном} = 10$ |
| Номинальный ток, А | $I_n = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} =$ $= \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 230$ | < | $I_n = 1000$ |
| Симметричный ток отключения, кА | $I_{\Sigma}^{(3)} = 1,72$ | < | $I_{но} = 20$ |
| Термическая стойкость, $кА^2 \cdot с$ | $B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t =$ $= 1,72^2 \cdot 0,055 = 0,16$ | < | $B_{к.ном} = 20^2 \cdot 2 = 800$ |

Продолжение таблицы 3

| | | | |
|---|-------------------------------------|---|----------------------|
| Действующее значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $I_{\Sigma}^{(3)} = 1,72$ | < | $I_{nc} = 20$ |
| Амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $i_{\Sigma y\partial}^{(3)} = 2,63$ | < | $i_{y\partial} = 50$ |

Так как все расчётные данные выключателя меньше или равны каталожных данных, то выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000 компании «Самарский Электроцит» подходит для установки в количестве двух штук.

Для выбора трансформатора тока на стороне 6 кВ примем трансформатор тока ТПЛ-СЭЩ-10.

Таблица 4 – Определение вторичной нагрузки ТПЛ-СЭЩ-10

| № | Прибор | Тип прибора | Нагрузка фазы, В·А | | |
|---|----------------------------|-------------|--------------------|-----|-----|
| | | | А | В | С |
| 1 | Амперметр | М4237 | 0,5 | – | – |
| 2 | Ваттметр | Д-335 | 0,5 | – | 0,5 |
| 3 | Варметр | Д-335 | 0,5 | – | 0,5 |
| 4 | Счетчик активной энергии | СА3-4681 | 2,5 | 2,5 | – |
| 5 | Счетчик реактивной энергии | СР4-4676 | – | 2,5 | 2,5 |
| | $S_{приб}, В·А$ | | 4 | 5 | 3,5 |

Таблица 5 – Сравнение параметров ТТ и расчётных данных

| Параметр ТТ | Расчётные данные | Соотношение | Каталожные данные |
|---|---|-------------|--|
| Номинальное напряжение, кВ | $U_{ном} = 6$ | < | $U_{ном} = 10$ |
| Номинальный ток, А | $I_n = \frac{S_{т. ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} =$ $= \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 230$ | < | $I_n = 300$ |
| Термическая стойкость, $кА^2 \cdot с$ | $B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t =$ $= 1,72^2 \cdot 0,055 = 0,16$ | < | $B_{к. ном} = 31,5^2 \cdot 1 = 992,25$ |
| Электродинамическая стойкость, кА | $i_{\Sigma yд}^{(3)} = 2,63$ | < | $i_{yд} = 78,8$ |
| Вторичная нагрузка, Ом | $Z_{2ном} = 1,2$ | - | - |
| Сопротивление подключенных приборов, Ом | $R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} =$ $\frac{5}{5^2} = 0,2$ | - | Сопротивление подключенных приборов, Ом |
| Сопротивление соединительных проводов, Ом | $R_{np} \leq Z_{2ном} - R_{приб} - R_k$ $R_k = 0,1$ $R_{np} \leq 1,2 - 0,2 - 0,1 = 0,9$ | - | - |
| Сечение соединительных проводов, $мм^2$ | $s = \frac{\rho \cdot I_{np}}{R_{np}} = \frac{0,0175 \cdot 100}{0,9} = 1,94$ | - | 1,94 \Rightarrow выбираем провода КВВГ 2,5 |

Так как все расчётные данные меньше каталожных данных, то трансформатор тока ТПЛ-СЭЩ-10 компании «Самарский Электроцит» подходит для установки. Трансформаторы тока соединены в схему полная звезда.

Для выбора трансформатора напряжения на стороне 6 кВ примем трансформатор напряжения ЗНИОЛ-10-1.

Таблица 6 – Определение вторичной нагрузки трансформатора напряжения

| № | Место установки и перечень приборов | Тип | $S_{ном}$, ВА | Число обмоток | $\cos \varphi$ | $\sin \varphi$ | Общее число приборов | P, Вт | Q, Вар |
|---|-------------------------------------|-------------|----------------|---------------|----------------|----------------|----------------------|-------|--------|
| 1 | Сборные шины | 3 | | | | | | | |
| | Вольтметр | VM-D721 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2 | – |
| | Вольтметр | VM-D72 | 10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10 | – |
| | Ваттметр регистр. | И-395 | 10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10 | – |
| | Частотомер регистр. | И-397 | 7 | 1 | 1 | 0 | 1 | 7 | – |
| | Осциллограф | | 10 | 1 | 1 | 0 | 1 | 10 | – |
| 2 | Обходной выключат. | 1 | | | | | | | |
| | Ваттметр | Д-365 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 | – |
| | Варметр | Д-365 | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 4 | – |
| | Счетчик акт. энергии | ЦЭ6803В-Р32 | 2 | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 1,52 | 3,7 |
| | Счетчик реактивной энергии | ЦЭ6813 | 2 | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 1,52 | 3,7 |
| | ФИП | | 3 | 1 | 1 | 0 | 1 | 3 | – |
| | Итого | | | | | | | 53,04 | 7,4 |

Таблица 7 – Сравнение параметров ТН и расчётных данных

| Параметр ТН | Расчётные данные | Соотношение | Каталожные данные |
|----------------------------|--|-------------|---------------------|
| Номинальное напряжение, кВ | $U_{ном} = 6$ | = | $U_{ном} = 6$ |
| Вторичная нагрузка, ВА | $S_{2\Sigma} = \sqrt{P_{приб}^2 + Q_{приб}^2} =$ $= \sqrt{53,04^2 + 7,4^2} = 53,55$ | < | $S_{2\Sigma} = 100$ |

Так как все расчётные данные меньше или равны каталожных данных, то трансформатор напряжения ЗНИОЛ-10-1 компании «ЭТК Оникс» подходит для установки.

7.2 Выбор оборудования на стороне 0,4 кВ

Для выбора выключателей на стороне 0,4 кВ примем выключатель ВА07-440.

Таблица 8 – Выбор выключателей на стороне 0,4 кВ

| Параметр выключателя | Расчётные данные | Соотношение | Каталожные данные |
|---------------------------------------|--|-------------|------------------------------------|
| Номинальное напряжение, кВ | $U_{ном} = 0,4$ | = | $U_{ном} = 0,4$ |
| Номинальный ток, А | $I_n = \frac{S_{т. ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} =$ $= \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3608$ | < | $I_n = 4000$ |
| Симметричный ток отключения, кА | $I_{\Sigma}^{(3)} = 5,46$ | < | $I_{но} = 40$ |
| Термическая стойкость, $кА^2 \cdot с$ | $B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t =$ $= 5,46^2 \cdot 0,055 = 1,64$ | < | $B_{к. ном} = 40^2 \cdot 2 = 3200$ |

Продолжение таблицы 8

| | | | |
|---|------------------------------|---|----------------|
| Действующее значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $I_{\Sigma}^{(3)} = 5,46$ | < | $I_{nc} = 40$ |
| Амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания, кА | $i_{\Sigma yd}^{(3)} = 7,72$ | < | $i_{y0} = 100$ |

Так как все расчётные данные выключателя меньше или равны каталожных данных, то выключатель ВА07-440 компании Курского электроаппаратного завода «КЭАЗ» подходит для установки. Приобретаем три выключателя для низкой стороны, один из которых будет секционным.

Для выбора трансформатора тока на стороне 0,4 кВ примем трансформатор тока ТШЛ-СЭЩ 0,66-16.

Таблица 9 – Определение вторичной нагрузки ТШЛ-СЭЩ 0,66-16

| № | Прибор | Тип прибора | Нагрузка фазы, В·А | | |
|---|-----------------------------------|-------------|--------------------|-----|-----|
| | | | А | В | С |
| 1 | Амперметр | М4237 | 0,5 | – | – |
| 2 | Ваттметр | Д-335 | 0,5 | – | 0,5 |
| 3 | Варметр | Д-335 | 0,5 | – | 0,5 |
| 4 | Счетчик активной энергии | СА3-4681 | 2,5 | 2,5 | – |
| 5 | Счетчик реактивной энергии | СР4-4676 | – | 2,5 | 2,5 |
| | $S_{приб}, \text{В}\cdot\text{А}$ | | 4 | 5 | 3,5 |

Таблица 10 – Сравнение параметров ТТ и расчётных данных

| Параметр ТТ | Расчётные данные | Соотношение | Каталожные данные |
|---|---|-------------|--|
| Номинальное напряжение, кВ | $U_{ном} = 0,4$ | < | $U_{ном} = 0,66$ |
| Номинальный ток, А | $I_n = \frac{S_{т.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{сред}} =$ $= \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 3608$ | < | $I_n = 4000$ |
| Термическая стойкость, $кА^2 \cdot с$ | $B_k = I_{\Sigma}^{(3)2} \cdot t_t =$ $= 5,46^2 \cdot 0,055 = 1,64$ | < | $B_{к.ном} = 40^2 \cdot 1 = 1600$ |
| Электродинамическая стойкость, кА | $i_{\Sigma yd}^{(3)} = 7,72$ | < | $i_{yd} = 80$ |
| Вторичная нагрузка, Ом | $Z_{2ном} = 1,2$ | - | - |
| Сопротивление подключенных приборов, Ом | $R_{приб} = \frac{S_{приб}}{I_2^2} =$ $\frac{5}{5^2} = 0,2$ | - | Сопротивление подключенных приборов, Ом |
| Сопротивление соединительных проводов, Ом | $R_{np} \leq Z_{2ном} - R_{приб} - R_{к}$ $R_{к} = 0,1$ $R_{np} \leq 1,2 - 0,2 - 0,1 = 0,9$ | | - |
| Сечение соединительных проводов, $мм^2$ | $s = \frac{\rho \cdot I_{np}}{R_{np}} = \frac{0,0175 \cdot 100}{0,9} = 1,94$ | | $1,94 \Rightarrow$ выбираем провода КВВГ 2,5 |

Так как все расчётные данные меньше каталожных данных, то трансформатор тока ТШЛ-СЭЩ 0,66-16 компании «Самарский Электроцит» подходит для установки. Трансформаторы тока соединены в схему треугольник.

8 Охрана труда на заводе ОАО «ТЗТО»

В структуру завода входят несколько отделов, один из которых БОТиТБ. БОТиТБ — это бюро охраны труда и техники безопасности на заводе ОАО «ТЗТО».

Охрана труда — это система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, лечебно-профилактические мероприятия. Охрана труда, представляет собой систему законодательных актов, обеспечивающих безопасность работоспособности человека в процессе труда. Основным методом охраны труда является использование техники безопасности.

Техника безопасности — это свод правил и положений, направленных на обеспечение условий безопасного труда. Техника безопасности представляет собой систему организационных, технических мероприятий, предотвращающих воздействие на работников опасных производственных факторов, которые приводят к несчастным случаям на производстве.

На заводе ОАО «ТЗТО» все рабочие, включая ИТР и простых рабочих, обязаны носить защитные каски, специальную обувь и беруши. Рабочий персонал, который работает на станках разного типа и назначения, обязан иметь защитные очки, защищающие глаза от попадания металлической стружки.

Основные цели службы безопасности — это разработка и осуществление комплекса социально-экономических, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий по созданию и обеспечению безопасных и здоровых условий труда на производстве.

Основной принцип в области безопасности и охраны труда — это приоритет жизни и здоровья работника по отношению к результатам производственной деятельности.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе бакалавра была рассчитана общая потребляемая мощность и ток, составляющие $S = 2555$ кВА и $I = 3882$ А, для производства крупной штамповки и вырубки завода «ТЗТО».

Выбраны светодиодные светильники ASTZ LEDДО 12-260-001 в количестве 92 штук для освещения производства крупной штамповки и вырубки, где 72 штуки светильников освещают пролёты, 8 штук освещают термический участок и 12 штук светильников освещают склад готовой продукции. Мощность одного светильника составляет 260 Вт.

Во всех пролётах производства, на термический участок и на склад готовой продукции для освещения проложены кабельные линии ВВГнг(А)-LS 4х2,5. Щиты освещения запитываются кабелем ВВГнг(А)-LS 4х4 от ответвительных коробках на шинопроводах.

Аварийные щиты освещения в пролётах производства, на термическом участке и на складе готовой продукции установлены на одной колонне рядом со щитами освещения, запитанные от АВР кабелем ВВГнг(А)-LS 4х4. АВР запитан от двух трансформаторов кабелем ВВГнг(А)-LS 4х4. Для аварийного освещения проложены кабельные линии ВВГнг(А)-LS 3х2,5.

Оборудование в производстве крупной штамповки и вырубки запитанно медными кабельными линиями ВВГнг(А)-LS, которые не поддерживают горения и имеют низкое дымо и газовыделение при горении или тлении кабеля.

Для защиты оборудования принимаем автоматические выключатели Курского электроаппаратного завода «КЭАЗ».

В производстве крупной штамповки и вырубки используется магистральная схема электроснабжения, выполняемая магистральными и распределительными шинопроводами Старооскольского завода электромонтажных изделий «СОЭМИ».

Принимаем к установке силовой трансформатор ТМ-2500/6 в количестве двух штук. Для оборудования на трансформаторной подстанции выбраны

амперметры М4237, вольтметры VM-D721, трансформаторы тока ТПЛ-СЭЩ-10 и трансформаторы тока ТШЛ-СЭЩ-0,66-16 компании «Самарский Электрощит», трансформаторы напряжения ЗНИОЛ-10-1 компании «ЭТК Оникс», выключатели ВВУ-СЭЩ-П-10-20/1000 компании «Самарский Электрощит» и выключатель ВА07-440 компании Курского электроаппаратного завода «КЭАЗ».

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. Издание шестое и седьмое.- Новосибирск: Сиб.унив.изд-во, 2014. – 464 с.
2. Рожин, А.Н. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие./ А.Н.Рожин, Н.С. Бакшаев. - Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 258 с.
3. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. /В.В.Вахнина. – Тольятти : ТГУ, 2006. – 69 с.
4. Кудрин, Б. И. Электрооборудование промышленности : учеб. для вузов / Б. И. Кудрин, А. Р. Минеев. - Гриф УМО. - М. : Академия, 2008. - 424 с.
5. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб.-метод. пособие для практических занятий и курсового проектирования/В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ 2007. - 54с.
6. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети : учеб. пособие / А. В. Лыкин. - Гриф УМО. - М. : Логос, 2008. - 253 с.
7. Шакурский, В. К. Теоретические основы электротехники : учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Аналитические и численные методы анализа установившихся режимов в линейных и нелинейных электрических цепях / В. К. Шакурский ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Тольятти : ТГУ, 2013. - 218 с.
8. Шлыков, С. В. Потребители электрической энергии : учеб. пособие / С. В. Шлыков, В. А. Шаповалов, Н. А. Шаповалова; ТГУ ; Электротехн. фак. ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2011. - 91 с.
9. Степкина, Ю. В. Проектирование электрической части понизительной подстанции : учеб.-метод. пособие к выполнению курсового и дипломного проектирования / Ю. В. Степкина; ТГУ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 123 с.
10. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения : справочник / Г. Н. Ополева. - М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2008. - 479 с.

11. Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ: в 6 т.: учеб.-произв. изд. Т. 5,6 / Е.Ф. Макаров; под ред. И.Т. Горюнова [и др.]. - М. : Папирус Про, 2005. - 637 с.
12. Степкина, Ю. В. Электрооборудование станций и подстанций предприятий : учеб. пособие / Ю. В. Степкина, В. В. Вахнина; ТГУ; Электротехн. фак.; каф. "Электроснабжение и электротехника". - Гриф УМО; ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2009. - 67 с.
13. Вахнина, В.В. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: метод. указания по курсовому проектированию/ В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ 2008. – 80 с.
14. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения : учеб. пособие по напр. подгот. 140400 "Электроэнергетика и электротехника" / Н. П. Гужов, В. Я. Ольховский, Д. П. Павлюченко. - Ростов н/Д : Феникс, 2011. - 382 с.
15. Овчаренко, Н. И. Автоматика энергосистем [Электронный ресурс] : учеб. для вузов / Н. И. Овчаренко ; под ред. А. Ф. Дьякова. - 3-е изд., испр. ; Гриф МО. - М. : Изд-во МЭИ, 2009. - 476 с.
16. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98 / [науч. ред. Б.Н. Неклепаев]. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. - 143 с.
17. Степкина, Ю. В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций: учеб. пособие / Ю. В. Степкина, В. В. Вахнина; ТГУ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2006. - 49 с.
18. Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В. Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004 – 448 с.
19. Быстрицкий, Г. Ф. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов : учеб. пособие для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Б. И. Кудрин. - М. : Academia, 2003. - 174 с.

20. Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С. Л. Кужеков, С. В. Гончаров. - Изд. 2-е, доп. и перераб. - Ростов н/Д : Феникс, 2008. - 492 с.
21. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. для вузов / В.А. Андреев. - Изд. 4-е, перераб и доп. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2006. - 639 с.
22. Клевцов, А.В. Средства оптимизации потребления электроэнергии : справ.- информ. пособие / А.В. Клевцов. - М.: СОЛОН-Пресс, 2005. - 239 с.
23. Басс, Э.И. Релейная защита электроэнергетических систем : учеб. пособие для вузов / Э.И. Басс, В.Г. Дорогунцев; под ред. А.Ф. Дьякова. - 2-е изд., стер. ; Гриф УМО. - М.: Изд. дом МЭИ, 2006. - 295 с.
24. Сенько, В. В. Электромагнитные переходные процессы при сохранении симметрии трехфазной цепи в системах электроснабжения: учеб. пособие. - Тольятти: ТГУ, 2008. - 39 с.
25. Киреева, Э.А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем : учебник / Э.А. Киреева, С. А. Цырук. - М. : Академия, 2010. - 279 с.
26. Воробьев, А.Ю. Электроснабжение компьютерных и телекоммуникационных систем : учеб. пособие для вузов / А.Ю. Воробьев. - М.: Эко-Трендз, 2009. - 280с.
27. Салтыкова, О.А. Релейная защита понизительной трансформаторной подстанции: учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования / О.А. Салтыкова, В.В. Вахнина, О.В. Самолина; ТГУ; каф. "Электроснабжение и электротехника". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 46 с.
28. Glendinning, E.H. Electrical and Mechanical Engineering. Oxford University Press 2013. – 327 с.
29. Nikoulina, E.L. English for Electrical Engineers. LATSTAR 2010. – 153с.
30. James, A.F. Engineering. Student's Book. Career Paths. – 215с.
31. Bonamy, D. English for Engineers. Oxford University 2012. – 287 с.
32. Gellings, C. W. The future's smart delivery system / C. W. Gellings. - IEEE Power and Energy Magazine, vol. 2, no. 5, pp. 40-48, 2014.