

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

Институт энергетики и электротехники
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование кафедры)

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

Электроснабжение
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение производственного корпуса предприятия по
выпуску автокомпонентов»

Студент

Д.В. Боев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.Н. Черненко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

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

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« » _____ 2018 г.

Тольятти 2018

Аннотация

В бакалаврской работе были рассмотрены разделы: расчет ожидаемых электрических нагрузок по инструментальному цеху и в целом по корпусу; определение числа и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП; определение параметров внутрицеховой сети; выбор автоматических выключателей и проводников; расчет токов КЗ; проверка выбранных выключателей на термическую и динамическую стойкость; выполнен расчет защитного заземления на КТП.

Объектом проектирования бакалаврской работы является система электроснабжения производственного корпуса предприятия по выпуску автокомпонентов.

В бакалаврской работе представлен проект системы электроснабжения производственного корпуса предприятия по выпуску автокомпонентов. В работе произведены следующие расчеты:

- определение нагрузок в целом по корпусу с учетом дополнительных нагрузок и нагрузок на освещение;
- расчет числа и выбор типа трансформаторов по приведенным общим затратам;
- расчет токов короткого замыкания и ударных токов;
- выбор защитного оборудования для системы электроснабжения корпуса по рассчитанным данным;

Бакалаврская работа выполнена на 55с., включает 2 таблицы, 20 литературных источников, 2 рисунка.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Исходные данные для проектирования..... | 5 |
| 2 Определение электрических нагрузок по корпусу..... | 6 |
| 2.1 Расчет максимальных электрических нагрузок по инструментальному цеху и в целом по корпусу..... | 6 |
| 2.2 Расчет электрических нагрузок для основных ЭП инструментального цеха..... | 11 |
| 2.3 Расчет осветительной нагрузки..... | 19 |
| 3 Выбор трансформаторов и компенсирующих устройств..... | 21 |
| 3.1 Вариант А..... | 21 |
| 3.2 Вариант Б..... | 25 |
| 4 Выбор и обоснование конструктивного исполнения схемы внутреннего электрооборудования корпуса напряжением до 1кВ..... | 29 |
| 5 Выбор электрооборудования системы электрооборудования корпуса..... | 30 |
| 5.1 Выбор шинпроводов..... | 35 |
| 5.2 Выбор кабелей и автоматических выключателей к каждому ЭП. Кабели и выключатели автоматические от ШР до РУ..... | 35 |
| 5.3 Выбор трансформаторов тока | 40 |
| 6 Расчет токов короткого замыкания..... | 41 |
| 6.1 Расчет параметров схемы замещения..... | 44 |
| 6.2 Расчет токов короткого замыкания для трех точек..... | 47 |
| 6.3 Проверка оборудования на стойкость к токам короткого замыкания..... | 50 |
| 6.2 Расчет заземления..... | 51 |
| Заключение..... | 53 |
| Список используемых источников..... | 54 |
| Приложение А..... | 56 |

Введение

Поэтапный ввод новых производственных мощностей, усложнение систем внутреннего электроснабжения, рост общего количества элементов, единичной и суммарной мощности электроприемников приводят к тому, что решения по электроснабжению в целом принимаются до принятия решений собственно по электроснабжению отдельных электроприемников или их группы.

Необходимо принимать правильные решения по электроснабжению, которые смогут обеспечить нормальный и безаварийный режим работы предприятия [1-4].

Решения, закладываемые в данный проект, позволят оптимизировать систему электроснабжения корпуса.

Целью бакалаврской работы является оптимизация системы электроснабжения, обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения электроприемников корпуса.

Согласно поставленной цели к решению были выдвинуты следующие задачи:

- произвести расчет электрических нагрузок по корпусу;
- выполнить расчет общего освещения;
- произвести выбор трансформаторов и компенсирующих устройств;
- составить схему электроснабжения корпуса;
- произвести выбор коммутационной аппаратуры, проводников, трансформаторов тока;
- рассчитать токи короткого замыкания и проверить выбранное электрооборудование.

1 Исходные данные для проектирования

На предприятии выпускаются автомобильные кресла, глушители, детали тормозной системы.

В систему электроснабжения предприятия входят девять комплектных трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ, один высоковольтный распределительный пункт 10 кВ и главная понизительная подстанция предприятия с классами напряжения 110/10 кВ.

В перечень электроприемников инструментального цеха входят различные станки по металлообработке, сварочные агрегаты, станки карусельные, подъемное и транспортировочное оборудование, вентагрегаты.

Номинальная минимальная мощность одного электроприемника составляет 0,3 кВт, максимальная - 95 кВт.

Большая часть ЭП корпуса работает в продолжительном режиме работы, часть ЭП в режиме ПКР.

подавляющее большинство нагрузки выполнено в трехфазном исполнении, но есть и однофазные электроприемники.

По надежности и бесперебойности электроснабжения основное электрооборудование относится к 1й и 2й категориям.

Количество рабочих смен на предприятии - 2.

2 Определение электрических нагрузок по корпусу

Основой для рационального выбора элементов системы электроснабжения является достоверное нахождение расчетных электрических нагрузок, от которых зависят параметры всех элементов системы электроснабжения без исключения [5, 6].

На первом этапе при проектировании системы электроснабжения определяются электрические нагрузки.

Расчетной называется такая неизменная во времени нагрузка, которая оказывает такой же тепловой эффект, что и реальная, изменяющаяся во времени нагрузка.

По значению расчетной нагрузки выбирается и проверяется электрическое оборудование, определяется требуемая мощность источников питания, рассчитываются сечения жил проводников, определяется номинальная мощность силовых трансформаторов и преобразователей, по которой в свою очередь рассчитываются потери напряжения и мощности [7, 8].

2.1 Расчет максимальных электрических нагрузок по инструментальному цеху и в целом по корпусу

В данном пункте бакалаврской работы необходимо рассчитать все параметры, необходимые для расчета суммарных электрических нагрузок по инструментальному цеху, без учета освещения и дополнительных нагрузок. А затем определить суммарные нагрузки по корпусу с учетом дополнительных нагрузок и освещения. Результаты расчетов сводятся в итоговую таблицу.

2.1.1 Приведение мощностей 3-х фазных ЭП к длительному режиму работы

Все возможные варианты приведены далее:

- $P_{ном} = P_{расч}$ - для ЭП длительного режима работы;

- $P_{ном} = P_{насп} \cdot \sqrt{ПВ}$ - для ЭП повторно-кратковременного режима работы;
- $P_{ном} = S_{насп} \cdot \cos \varphi$ - для трансформаторов длительного режима работы;
- $P_{ном} = S_{насп} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{ПВ}$ - смешанный вариант.

2.1.2 Однофазные нагрузки

Для однофазных нагрузок необходимо приведение к условной трехфазной мощности. Нагрузки распределяются по фазам с наибольшей равномерностью. Определяется наиболее и наименее загруженная фаза. Все однофазные нагрузки приводим к линейному напряжению:

$$P_A = \frac{P_{AB} + P_{AC}}{2};$$

$$P_B = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2};$$

$$P_C = \frac{P_{AC} + P_{BC}}{2}.$$

Определяем величину неравномерности для однофазной нагрузки, приведенной к условной трехфазной:

$$H = \frac{P_{ф.нб} - P_{ф.нм}}{P_{ф.нм}} \cdot 100\%$$

Если $P_{ф.нм}$ равно 0, то $H > 15\%$.

При $H > 15\%$ и включении на фазное напряжение, формула условной трехфазной мощности принимает следующий вид:

$$P_y^{(3)} = 3 \cdot P_{ф.нб}$$

При $H > 15\%$ и включении на линейное напряжение, формула условной трехфазной мощности примет следующие виды:

$$P_y^{(3)} = \sqrt{3} \cdot P_{\text{ф.нб}} - \text{если 1 электроприемник};$$

$$P_y^{(3)} = 3 \cdot P_{\text{ф.нб}} - \text{если 2 электроприемника.}$$

При $H < 15\%$ - вне зависимости от того какое включение, фазное или линейное, формула условной трехфазной мощности принимает следующий вид:

$$P_y^{(3)} = P_A + P_B + P_C$$

2.1.3 Расчет активной суммарной мощности

Расчет активной суммарной мощности каждого из электроприемников ведется по следующей формуле:

$$P_{H.\Sigma} = P_{\text{ном}} \cdot n,$$

где n , шт – количество количество электроприемников.

2.1.4 Коэффициент использования и коэффициент мощности

Коэффициент использования ($K_{\text{И}}$) и мощности ($\cos\varphi$) для каждого из электроприемников, в данной работе, определяется по таблице «коэффициентов использования и коэффициентов мощности некоторых механизмов и аппаратов» из учебно – методического пособия.

Посчитав все $K_{\text{И}}$ необходимо определить групповой коэффициент использования, определяемый по следующей формуле:

$$K_{\text{И.ГР}} = \frac{\sum P_{\text{СМ}}}{\sum P_{\text{H.}\Sigma}}$$

2.1.5 Показатель силовой сборки m

Показатель силовой сборки един для всех электроприемников и определяется по следующей формуле:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}}$$

2.1.6 Среднесменная активная и реактивная мощность каждого из электроприемников

Определяем среднесменную активную и реактивную составляющую мощности по следующим формулам:

$$P_{CM} = K_H \cdot P_{H.\Sigma} - \text{активная составляющая};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \varphi - \text{реактивная составляющая},$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ - определяется из известного значения косинуса по тригонометрическим формулам.

Для $\operatorname{tg} \varphi$ также необходимо определить среднее значение, его можно посчитать по следующей формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\sum Q_{CM}}{\sum P_{CM}}$$

2.1.7 Эффективное число электроприемников

Эффективное число электроприемников $n_{\text{Э}}$ определяется по формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum P_H^2},$$

но, если $n \geq 5$, $K_{И.ГР} \geq 0.2$ и $m > 3$, тогда вести расчет необходимо по следующей формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{H.\Sigma}}{P_{H.НАИБ}}$$

2.1.8 Коэффициент максимума

Коэффициент максимума K_M определяется по таблице из учебно-методического пособия, в зависимости от $n_{\text{Э}}$ и $K_{И}$ (Пересечение этих данных в таблице определяет коэффициент максимума).

2.1.9 Расчетная активная и реактивная нагрузка трехфазных электроприемников. Полная расчетная активная и реактивная мощность

Расчетную активную и реактивную нагрузку рассчитываем по следующим формулам:

$$P_P = K_M \cdot \sum P_{CM};$$
$$Q_P = \sum Q_{CM} - \text{если } n_{\text{Э}} > 10;$$
$$Q_P = 1.1 \cdot \sum Q_{CM} - \text{если } n_{\text{Э}} \leq 10.$$

Суммарную активную и реактивную мощность рассчитаем с учетом доп. нагрузок и освещения, по формулам:

$$P_{\Sigma} = P_P + P_{P.ДОП} + P_{осв};$$
$$Q_{\Sigma} = Q_P + Q_{P.ДОП} + Q_{осв}.$$

2.1.10 Расчетная полная мощность. Суммарная полная мощность

Полная расчетная мощность S_p рассчитываем по следующей формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

Суммарная полная мощность определяется по следующей формуле:

$$S_\Sigma = \sqrt{P_\Sigma^2 + Q_\Sigma^2}$$

2.1.11 Расчетный ток. Суммарный расчетный ток

Расчетный ток определяем по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

Суммарный расчетный ток определяем по формуле:

$$I_\Sigma = \frac{S_\Sigma}{\sqrt{3} \cdot U_H}$$

2.2 Расчет электрических нагрузок для основных ЭП инструментального цеха

Пресс эксцентриковый EBU H 160 RKFR

$$\begin{aligned}
P_{\text{ном}} &= P_{\text{насп}} = 20 \text{ кВт}; \\
n &= 6 \text{ шт}; \\
P_{H.\Sigma} &= P_{\text{ном}} \cdot n; \\
P_{H.\Sigma} &= 20 \cdot 6 = 120 \text{ кВт}; \\
K_H &= 0.17; \\
\cos \phi &= 0.65; \\
m &= \frac{P_{H.\text{max}}}{P_{H.\text{min}}}; \\
m &= \frac{40}{1.7} = 23.5; \\
P_{CM} &= K_H \cdot P_{H.\Sigma}; \\
P_{CM} &= 0.17 \cdot 120 = 20.4 \text{ кВт}; \\
Q_{CM} &= P_{CM} \cdot \text{tg} \phi; \\
Q_{CM} &= 20.4 \cdot \text{tg}(\arccos(0.65)) = 23.664 \text{ кВар}.
\end{aligned}$$

Сварочный преобразователь ПД - 303

$$\begin{aligned}
P_A = P_C &= \frac{12 + 0}{2} = 6; P_B = \frac{12 + 12}{2} = 12; \\
H &= \frac{P_{\phi.\text{нб}} - P_{\phi.\text{нм}}}{P_{\phi.\text{нм}}} \cdot 100\%; \\
H &= \frac{12 - 6}{6} \cdot 100\% = 100\% > 15\%; \\
P_y^{(3)} &= 3 \cdot P_{\phi.\text{нб}}; \\
P_y^{(3)} &= 3 \cdot 12 = 36 \text{ кВт}; \\
P_{\text{ном}} &= P_{\text{насп}} = 12 \text{ кВт}; \\
n &= 2 \text{ шт}; \\
P_{H.\Sigma} &= P_y^{(3)} = 36 \text{ кВт}; \\
K_H &= 0.20; \\
\cos \phi &= 0.4; \\
m &= \frac{P_{H.\text{max}}}{P_{H.\text{min}}};
\end{aligned}$$

$$m = \frac{40}{1.7} = 23.5;$$

$$P_{CM} = K_H \cdot P_{H.\Sigma};$$

$$P_{CM} = 0.2 \cdot 36 = 7.2 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \phi;$$

$$Q_{CM} = 7.2 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0.4)) = 16.488 \text{ кВар}.$$

Кран-тележка ПКЗ

$$P_{ном} = P_{наст} \cdot \sqrt{ПВ};$$

$$P_{ном} = 2.2 \cdot 0.6 = 1.7 \text{ кВт};$$

$$n = 1 \text{ шт};$$

$$P_{H.\Sigma} = P_{ном} \cdot n;$$

$$P_{H.\Sigma} = 1.7 \cdot 1 = 1.7 \text{ кВт};$$

$$K_H = 0.30;$$

$$\cos \phi = 0.5;$$

$$m = \frac{P_{H.\max}}{P_{H.\min}};$$

$$m = \frac{40}{1.7} = 23.5;$$

$$P_{CM} = K_H \cdot P_{H.\Sigma};$$

$$P_{CM} = 0.3 \cdot 1.7 = 0.51 \text{ кВт};$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \phi;$$

$$Q_{CM} = 0.51 \cdot \operatorname{tg}(\arccos(0.5)) = 0.88 \text{ кВар}.$$

Итого по инструментальному цеху:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{H.\Sigma}}{P_{H.\text{НАИБ}}};$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 544.8}{40} = 27;$$

$$K_M = 0.75;$$

$$\begin{aligned}
 P_P &= K_M \cdot \sum P_{CM}; \\
 P_P &= 0.75 \cdot 140.729 = 105.54 \text{ кВт}; \\
 Q_P &= \sum Q_{CM} = 152.05 \text{ кВар}; \\
 S_P &= \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}; \\
 S_P &= \sqrt{105.54^2 + 151.8866^2} = 184.95 \text{ кВА}; \\
 I_P &= \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_n}; \\
 I_P &= \frac{184.95}{\sqrt{3} \cdot 0.4} = 266.95 \text{ А}.
 \end{aligned}$$

Результаты всех остальных расчетов были произведены аналогичным образом и занесены в таблицу 1.

Таблица 1 - Определение расчетной электрической нагрузки

| ЭП | $P_{ном},$ кВт | n | $P_{номΣ},$ кВт | K_{II} | $cosφ$ | $tgφ$ | m | $P_{CM},$ кВт | $Q_{CM},$ кВар | $n_{Э}$ | K_M | $P_P,$ кВт | $Q_P,$ кВар | $S_P,$ кВА | $I_P,$ А |
|--|-------------------|-----|--------------------|----------|--------|-------|-----|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| Пресс эксцентриковый EВU Н 160 RKFR | 20 | 6 | 120 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 20.4 | 23,66 | | | | | | |
| Пресс кривошипный одностоечный КД2126 | 4.2 | 5 | 21 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 3.57 | 4,14 | | | | | | |
| Сверлильный агрегат Stalex JDP- 8L | 3.5 | 4 | 14 | 0.13 | 0.5 | 1.73 | | 1.82 | 3,15 | | | | | | |
| Сварочный преобразователь ПД - 303 | 12 | 2 | 36 | 0.2 | 0.4 | 2.29 | | 7.2 | 16,49 | | | | | | |
| Автомат резьбонакатный с роликом и сегментом АБ2520 | 3.4 | 1 | 3.4 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 0.578 | 0,67 | | | | | | |

Продолжение таблицы 1

| ЭП | $P_{ном},$ кВт | n | $P_{номΣ},$ кВт | K_{II} | $cosφ$ | $tgφ$ | m | $P_{СМ},$ кВт | $Q_{СМ},$ кВар | $n_{Э}$ | K_M | $P_P,$ кВт | $Q_P,$ кВар | $S_P,$ кВА | $I_P,$ А |
|--|-------------------|-----|--------------------|----------|--------|-------|-----|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| Автомат резьбонакатный с плоскими плашками АБ2418 | 3.8 | 1 | 3.8 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 0.646 | 0,75 | | | | | | |
| Горизонтально- протяжной станок СПП12 | 8.5 | 1 | 8.5 | 0.12 | 0.4 | 2.29 | | 1.02 | 2,34 | | | | | | |
| Высадочно- обрезные автоматы КУ-436 | 22 | 2 | 44 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 7.48 | 8,68 | | | | | | |
| Галтовочный барабан БГ/300 | 4 | 2 | 8 | 0.22 | 0.65 | 1.16 | | 1.76 | 2,04 | | | | | | |
| Станок виброгалтовочный VIBROCHIMICA VBT | 5 | 1 | 5 | 0.23 | 0.65 | 1.16 | | 1.15 | 1,33 | | | | | | |

Продолжение таблицы 1

| ЭП | $P_{ном},$ кВт | n | $P_{номΣ},$ кВт | K_{II} | $cosφ$ | $tgφ$ | m | $P_{CM},$ кВт | $Q_{CM},$ кВар | $n_{Э}$ | K_M | $P_P,$ кВт | $Q_P,$ кВар | $S_P,$ кВА | $I_P,$ А |
|--|-------------------|-----|--------------------|----------|--------|-------|-----|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| Станок виброгалтовочный VIBROCHIMICA VBTH | 10 | 1 | 10 | 0.14 | 0.45 | 1.98 | | 1.4 | 2,77 | | | | | | |
| Обсечной автомат АБ2319 | 3.5 | 1 | 3.5 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 0.595 | 0,69 | | | | | | |
| Универсальный заточной станок мод. WTG-163 | 3.5 | 1 | 3.5 | 0.24 | 0.65 | 1.16 | | 0.84 | 0,97 | | | | | | |
| Станок отрезной модель МП8Г663- 700 | 1.8 | 10 | 18 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 3.06 | 3,55 | | | | | | |
| Кран-тележка ПКЗ | 2.2 | 1 | 1.7 | 0.3 | 0.5 | 1.73 | | 0.51 | 0,88 | | | | | | |
| Универсальный вертикально- фрезерный станок MetalMaster DMM 7550CW | 22 | 2 | 66 | 0.2 | 0.65 | 1.16 | | 13.2 | 15,31 | | | | | | |

Продолжение таблицы 1

| ЭП | $P_{ном},$ кВт | n | $P_{номΣ},$ кВт | K_{II} | $cosφ$ | $tgφ$ | m | $P_{CM},$ кВт | $Q_{CM},$ кВар | $n_{Э}$ | K_M | $P_P,$ кВт | $Q_P,$ кВар | $S_P,$ кВА | $I_P,$ А |
|---|-------------------|-----|--------------------|----------|--------|-------|-----|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| Автомат холодновысадочный трехпозиционный гаечный А1617А | 6 | 1 | 6 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 1.02 | 1,18 | | | | | | |
| Установка для сверления WL-YL- CO2 | 30.8 | 2 | 92.4 | 0.2 | 0.65 | 1.16 | | 18.48 | 21,44 | | | | | | |
| Вентиляторы | 40 | 2 | 80 | 0.7 | 0.8 | 0.75 | | 56 | 42.00 | | | | | | |
| Итого по цеху без освещения | 40/1.7 | 46 | 544.8 | 0.258 | | 1.08 | | 140.729 | 152.05 | 27 | 0,97 | 105.54 | 152.05 | 185 | 267 |
| Дополнительная нагрузка | | | | | | | | | | | | 1635 | 1453 | | |
| Осветительная нагрузка | | | | | | | | | | | | 14.216 | 7.558 | | |
| Итого по корпусу с освещением | | | | | | | | | | | | 1755 | 1613 | 2383.7 | 3444 |

2.3 Расчет осветительной нагрузки

Расчет количества светильников выполняется методом коэффициента использования.

Для того, чтобы выбрать светильник, необходимо сначала определить тип светильника в зависимости от высоты помещения и его предназначения [9-11].

В бакалаврской работе выбираем светильник из каталога Lighting Technologies и ведем расчета количества по следующей формуле:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{U \cdot n \cdot \Phi_{л}}$$

где N – кол-во светильников; E – требуемое горизонтальное освещение в люксах, для производственных помещений принимаем равным 300Лк; S – площадь помещения; K_3 – коэффициент запаса; U – коэффициент использования; n – кол-во ламп в светильнике; $\Phi_{л}$ – световой поток лампы в люменах.

Коэффициент запаса K_3 - зависит от степени загрязнения помещения, частоты ТО и интенсивности эксплуатации. В зависимости от данных показателей существует 4 типа помещений:

- очень чистые, а также осветительные установки с малым временем использования - $K_3 = 1.250.e.$;
- чистые помещения с 3х годичным циклом обслуживания - $K_3 = 1.50.e.$;
- наружное освещение, 3х годичный цикл обслуживания - $K_3 = 1.750.e.$;
- внутреннее и наружное освещение при сильном загрязнении - $K_3 = 2.00.e.$

Для определения коэффициента использования U необходимо определить два параметра, определяющих его - индекс помещения и коэффициенты отражения потолка, стен и пола (пересечение данных

параметров в таблице каталога LightingTechnologies даст искомый коэффициент использования).

Индекс помещения рассчитывается по формуле:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2)(A + B)},$$

где H – высота помещения; h_1 – высота рабочей поверхности (принимаем равным 0.85м); h_2 – высота подвеса светильника (1м);

Коэффициенты отражения выражаются в процентах и равны для рассчитываемого цеха 70%,50%,20% соответственно для потолка, стен и пола.

Далее необходимо провести расчет мощности системы освещения по формулам:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{одн.лампы};$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\phi;$$

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2},$$

где n – кол-во ламп в светильнике.

Также расчет можно осуществить в программной среде DIALux, что существенно упрощает расчет. В ней и был выполнен расчет освещения всех помещений инструментального цеха. Все расчеты включены в приложение А.

3 Выбор трансформаторов и компенсирующих устройств

Выбор количества трансформаторов осуществляется в соответствии с категорией надежности электроснабжения электроприемников цеха. Согласно исходным данным электроприемники инструментального цеха относятся к 1й и 2й категориям по надежности. Принимаем к расчету два варианта выбора трансформатора: вариант А – 2 трансформатора; вариант Б – 2 трансформатора большей мощности. Коэффициент запаса K_3 считаем равным 0.7.

Мощность трансформаторов выбирается исходя из суммарной активной мощности электроприемников цеха, количества трансформаторов и коэффициента запаса.

Расчет ведется в соответствии с методическими указаниями [12, 13].

3.1 Вариант А

Исходными данными для расчета являются суммарная активная, реактивная, полная мощность цеха, а также паспортные данные выбранного трансформатора.

$$P_{p\Sigma} = 1755 \text{ кВт}; Q_{p\Sigma} = 1613 \text{ кВар}.$$

Считаем мощность трансформатора по формуле:

$$S_n = \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T},$$
$$S_n = \frac{1755}{0.7 \cdot 1} = 1254 \text{ кВА},$$

где N_T - количество трансформаторов;

По каталогу производителя выбираем ближайший больший по номинальной мощности трансформатор ТМГ-1600/10. Данный трансформатор имеет следующие паспортные данные:

$$\Delta P_{x.x.} = 1.65 \text{ кВт}; \Delta P_{к.з.} = 12.4 \text{ кВт}; U_{к.з.} \% = 6\%; I_{x.x.} = 2\%, K_T = 736 \text{ тыс.руб.}$$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{x.x.} + K_3^2 \cdot \Delta P_{к.з.}),$$

$$\Delta P_T = 2 \cdot (1.65 + 0.7^2 \cdot 12.4) = 15.45 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{к.з.}) \cdot \frac{S_H}{100},$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (2 + 0.7^2 \cdot 6) \cdot \frac{1600}{100} = 158.08 \text{ кВар.}$$

Найдем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T,$$

$$P_p = 1755 + 15.45 = 1770.5 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T,$$

$$Q_p = 1613 + 158.08 = 1771.1 \text{ кВар.}$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p,$$

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 1771.1 = 885.5 \text{ кВар.}$$

Определим экономически выгодное значение реактивной мощности в период максимальных нагрузок в энергосистеме:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 \cdot Q_{\text{CD}},$$

$$Q'_{\text{э1}} = 1771.1 - 0.7 \cdot 0 = 1771.1 \text{ кВар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_P,$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 1770.5 = 495.7 \text{ кВар}.$$

где $\alpha = 0,28$; $Q_{\text{CD}} = 0$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок [14]:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}},$$

$$Q'_{\text{э2}} = 885.5 + 0 = 885.5 \text{ кВар};$$

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{KD}} = Q_{\text{min}} - Q_P - Q''_{\text{э1}},$$

$$Q''_{\text{э2}} = 885.5 - (1771.1 - 495.7) = -389.8 \text{ кВар}.$$

где $Q_{\text{к}} = 0$

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{ку.max}} = 1,15 \cdot Q_P - Q''_{\text{э1}},$$

$$Q_{\text{ку.max}} = 1.15 \cdot 1771.1 - 495.7 = 1541 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{ку.min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}},$$

$$Q_{\text{ку.min}} = 885.5 - 885.5 = 0.$$

Принимаем к установке две регулируемые конденсаторные установки типа АУКРМ номинальной мощностью 750 кВар каждая.

Количество часов τ , ч, найдем по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000} \right)^2 \cdot T_p,$$
$$\tau = \left(0,124 + \frac{4700}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3090,8 \text{ ч.}$$

Величину C_0 , руб./кВт·год, найдем по формуле:

$$C_0 = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_m} + \beta \right) \cdot T_p,$$
$$C_0 = \left(\frac{596 \cdot 12}{4700} + 1,39 \right) \cdot 8760 = 25,507 \text{ тыс.руб./кВт·год}$$

Определим величину C , руб./кВт·год по следующей формуле:

$$C = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_m} + \beta \right) \cdot \tau,$$
$$C = \left(\frac{596 \cdot 12}{4700} + 1,39 \right) \cdot 3090,8 = 9 \text{ тыс.руб./кВт·год}$$

Величину $C \cdot \Delta P_T$, тыс. руб., определим по формуле:

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз},$$
$$C \cdot \Delta P_T = 25,507 \cdot 1,65 + 9 \cdot 0,7^2 \cdot 12,4 = 96,767 \text{ тыс.руб.}$$

Приведенные затраты на установку КТП с силовыми трансформаторами и компенсирующими устройствами $Z_{\text{КТП}}$, тыс. руб., определим по формуле:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{KV} \cdot N_{KV}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T,$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0.223 \cdot (736 \cdot 2 + 260.4 \cdot 2) + 96.767 \cdot 2 = 637.9 \text{ тыс.руб.}$$

3.2 Вариант Б

Исходными данными для варианта Б, также как и для варианта А являются суммарная активная, реактивная, полная мощность цеха, а также паспортные данные выбранного трансформатора. Паспортные данные будут отличными от варианта А, т.к. трансформатор большей мощности.

По каталогу производителя выбираем следующий по шкале номинальных мощностей силовой трансформатор ТМГ-2500/10. Данный трансформатор имеет следующие паспортные данные:

$$\Delta P_{x.x.} = 3.5 \text{ кВт}; \Delta P_{к.з.} = 26 \text{ кВт}; U_{к.з.} \% = 6\%; I_{x.x.} = 1.8\%, K_T = 1119 \text{ тыс.руб.}$$

Произведем расчет потерь в трансформаторе:

$$\Delta P_T = N_T \cdot (\Delta P_{x.x.} + K_3^2 \cdot \Delta P_{к.з.}),$$

$$\Delta P_T = 2 \cdot (3.5 + 0.7^2 \cdot 26) = 32.48 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{к.з.}) \cdot \frac{S_n}{100},$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot (1.8 + 0.7^2 \cdot 6) \cdot \frac{2500}{100} = 237 \text{ кВар.}$$

Найдем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовом трансформаторе:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T,$$

$$P_p = 1755 + 32.48 = 1787.5 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T,$$

$$Q_p = 1613 + 237 = 1850 \text{ кВар}.$$

Рассчитаем реактивную мощность в период минимальных нагрузок:

$$Q_{\min} = 50\% \cdot Q_p,$$

$$Q_{\min} = 0.5 \cdot 1850 = 925 \text{ кВар}.$$

Определим экономически выгодное значение реактивной мощности в период максимальных нагрузок в энергосистеме:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0.7 \cdot Q_{\text{сд}},$$

$$Q'_{\text{э1}} = 1850 - 0.7 \cdot 0 = 1850 \text{ кВар},$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_p,$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 1787.5 = 500.5 \text{ кВар}.$$

где $\alpha = 0.28$; $Q_{\text{сд}} = 0$.

Определим экономически целесообразные значения реактивной мощности в часы минимальных нагрузок:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\min} + Q_k,$$

$$Q'_{\text{э2}} = 925 + 0 = 925 \text{ кВар};$$

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{КД}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{P}} - Q''_{\text{э1}},$$

$$Q''_{\text{э2}} = 925 - (1850 - 500.5) = -424.5 \text{ кВар}.$$

где $Q_{\text{к}} = 0$

Определяем суммарное значение мощности конденсаторных установок:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,15 \cdot Q_{\text{P}} - Q''_{\text{э1}},$$

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,15 \cdot 1850 - 500.5 = 1627 \text{ кВар};$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}},$$

$$Q_{\text{ку. min}} = 925 - 925 = 0.$$

Принимаем к установке две регулируемые конденсаторные установки типа АУКРМ номинальной мощностью 800 кВар каждая.

Количество часов τ , ч, найдем по формуле:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_{\text{M}}}{10000} \right)^2 \cdot T_{\text{P}},$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4700}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3090.8 \text{ ч}.$$

Величину C_0 , руб./кВт·год, найдем по формуле:

$$C_0 = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_{\text{M}}} + \beta \right) \cdot T_{\text{P}},$$

$$C_0 = \left(\frac{596 \cdot 12}{4700} + 1,39 \right) \cdot 8760 = 25,507 \text{ тыс.руб./кВт·год}$$

Определим величину C , руб./кВт·год по следующей формуле:

$$C = \left(\frac{\alpha \cdot 12}{T_m} + \beta \right) \cdot \tau,$$

$$C = \left(\frac{596 \cdot 12}{4700} + 1,39 \right) \cdot 3090,8 = 9 \text{ тыс.руб./кВт·год}$$

Величину $C \cdot \Delta P_T$, тыс. руб., определим по формуле:

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз},$$

$$C \cdot \Delta P_T = 25,507 \cdot 3,5 + 9 \cdot 0,7^2 \cdot 26 = 203,9 \text{ тыс.руб.}$$

Приведенные затраты на установку КТП с силовыми трансформаторами и компенсирующими устройствами $Z_{кТП}$, тыс. руб., определим по формуле:

$$Z_{кТП} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{KV} \cdot N_{KV}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T,$$

$$Z_{кТП} = 0,223 \cdot (1119 \cdot 2 + 274,4 \cdot 2) + 203,9 \cdot 2 = 1029,3 \text{ тыс.руб.}$$

По минимальным приведенным общим затратам принимаем к установке вариант с двумя трансформаторами ТМГ-1600/10.

4 Выбор и обоснование конструктивного исполнения схемы внутреннего электроснабжения корпуса напряжением до 1кВ

Сети с номинальным напряжением до 1кВ принято разделять на питающие, т.е. сети соединяющие трансформаторные подстанции или вводные устройства и силовые распределительные пункты, и распределительные сети – сети соединяющие силовые распределительные пункты и отдельные электроприемники внутри цеха. Питающие и распределительные внутрицеховые сети могут выполняться по радиальной, магистральной или смешанной схеме, если присутствуют элементы радиальной и магистральной сети одновременно [15, 16].

Радиальные схемы чаще всего применяют для электроснабжения отдельных достаточно мощных электроприемников и отдельных групп маломощных электроприемников, распределенных по цеху неравномерно.

Магистральные схемы используют для электроснабжения электроприемников одного технологического агрегата или отдельных электроприемников связанных одним технологическим процессом, когда остановка одного электроприемника приводит к необходимости остановки всех остальных электроприемников. Магистральные схемы применяются также и для питания большого количества мелких электроприемников которые равномерно распределены по всей площади цеха.

В данной бакалаврской работе выбираем смешанную схему электроснабжения для электроприемников. Вентагрегаты в венткамерах для повышения надежности электроснабжения питаются по радиальной схеме от распределительных пунктов и с разных секций шин, а технологическое оборудование в целях экономии запитывается по магистральной схеме с использованием магистральных и распределительных шинопроводов. Также в цеху присутствует кран-тележка, для питания данного электроприемника используем троллейный шинопровод.

5 Выбор электрооборудования системы электроснабжения корпуса

В инструментальном цехе все электроприемники распределены относительно равномерно по площади цеха, поэтому для запитывания ЭП цеха потребуется 3 распределительных (т.к. расчетный ток меньше 1000А) шинопровода.

Расчеты будут вестись аналогично пункту 2 данной бакалаврской работы, за исключением того, что $K_{и}$ берется не из 3 таблицы учебно - методических указаний, а из второй [12]. Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Продолжение таблицы 2

| ЭП | $P_{ном},$ кВт | n | $P_{номΣ},$ кВт | K_{II} | $cosφ$ | $tgφ$ | m | $P_{CM},$ кВт | $Q_{CM},$ кВар | $n_{Э}$ | K_M | $P_P,$ кВт | $Q_P,$ кВар | $S_P,$ кВА | $I_P,$ А |
|---|-------------------|-----|--------------------|----------|--------|-------|-----|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| Сварочный преобразователь ПД - 303 | 12 | 2 | 36 | 0.2 | 0.4 | 2.29 | | 7.2 | 16,49 | | | | | | |
| Автомат резьбонакатный с роликом и сегментом АБ2520 | 3.4 | 1 | 3.4 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 0.578 | 0,67 | | | | | | |
| Автомат резьбонакатный с плоскими плашками АБ2418 | 3.8 | 1 | 3.8 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 0.646 | 0,75 | | | | | | |
| Горизонтально-протяжной станок СГП12 | 8.5 | 1 | 8.5 | 0.12 | 0.4 | 2.29 | | 1.02 | 2,34 | | | | | | |
| Высадочно-обрезные автоматы КУ-436 | 22 | 2 | 44 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 7.48 | 8,68 | | | | | | |

Продолжение таблицы 2

| ЭП | $P_{ном},$ кВт | n | $P_{номΣ},$ кВт | K_{II} | $cosφ$ | $tgφ$ | m | $P_{СМ},$ кВт | $Q_{СМ},$ кВар | $n_{Э}$ | K_M | $P_P,$ кВт | $Q_P,$ кВар | $S_P,$ кВА | $I_P,$ А |
|--|-------------------|-----|--------------------|----------|--------|-------|-----|------------------|-------------------|---------|-------|---------------|----------------|---------------|-------------|
| Станок отрезной модель МП8Г663- 700 | 1.8 | 10 | 18 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 3.06 | 3,55 | | | | | | |
| Универсальный вертикально- фрезерный станок MetalMaster DMM 7550CW | 22 | 2 | 66 | 0.2 | 0.65 | 1.16 | | 13.2 | 15,31 | | | | | | |
| Автомат холодновысадочный трехпозиционный гаечный А1617А | 6 | 1 | 6 | 0.17 | 0.65 | 1.16 | | 1.02 | 1,18 | | | | | | |
| Установка для сверления WL-YL- CO2 | 30.8 | 2 | 92.4 | 0.2 | 0.65 | 1.16 | | 18.48 | 21,44 | | | | | | |
| Вентиляторы | 40 | 2 | 80 | 0.7 | 0.8 | 0.75 | | 56 | 42.00 | | | | | | |
| Итого | 40/1.8 | 17 | 262.4 | 0.35 | - | 0.909 | >3 | 91.76 | 83.462 | 13 | 1.415 | 129.84 | 91.80 | 159.01 | 229.51 |

5.1 Выбор шинопроводов

По рассчитанному току для каждого шинопровода выбираем соответствующий шинопровод [17]:

ШР1 и ШР2 – ШРА4-100-44-1У3 (Е-LINEКВ), номинальный ток шинопровода 100А;

ШР3 – ШРА4-250-32-1У3 (Е-LINEКВ), номинальный ток шинопровода 250А.

5.2 Выбор кабелей и автоматических выключателей к каждому ЭП. Кабели и выключатели автоматические от ШР до РУ

Кабель к каждому электроприемнику и кабель от ШР до РУ выбирается по номинальному току.

- Пресс эксцентриковый EBU H 160 RKFR:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{20}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 46A$$

Кабель - ВВГ 4x10мм²; Выключатель – ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 50А);

- Пресс кривошипный одностоечный КД2126:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{4.2}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 9.8A$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 12А);

- Сверлильный агрегат Stalex JDP-8L:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{3.5}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.5} = 10.63A$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 12A);

- Сварочный преобразователь ПД - 303:

$$I_n = \frac{P_n}{0.220 \cdot \cos \varphi} = \frac{12}{0.220 \cdot 0.4} = 136.36A$$

Кабель - ВВГ 2x50мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS160 (I_{нт} = 160A);

- Автомат резьбонакатный с роликом и сегментом АБ2520:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{3.4}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 7.94A$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 12A);

- Автомат резьбонакатный с плоскими плашками АБ2418:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{3.8}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 8.88A$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 12A);

- Горизонтально-протяжной станок СГП12:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{8.5}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.4} = 32.28A$$

Кабель - ВВГ 4х6мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 50А);

- Высадочно-обрезные автоматы КУ-436:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 51.42 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 4х16мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 63А);

- Галтовочный барабан БГ/300:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 9.34 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 4х2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 12А);

- Станок виброгалтовочный VIBROCHIMICA VBT:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{5}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 11.68 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 4х2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 12А);

- Станок виброгалтовочный VIBROCHIMICA VBTH:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 33.76 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 4х6мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 50А);

- Обсечной автомат АБ2319:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{3.5}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 8.18A$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 12А);

- Универсальный заточной станок мод. WTG-163 :

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{3.5}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 8.18A$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 12А);

- Автомат гайконарезный:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{4.2}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 8.88A$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 12А);

- Кран-тележка ПКЗ:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{1.7}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 5.06A$$

Кабель - КГН 4x1.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 (I_{нт} = 6.3А);

- Универсальный вертикально-фрезерный станок MetalMaster DMM 7550CW:

$$I_n = \frac{P_n}{0.220 \cdot \cos \varphi} = \frac{22}{0.220 \cdot 0.65} = 153.8 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 2x50мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS160 (I_{нт} = 160А);

- Автомат холодновысачочный трехпозиционный гаечный А1617А:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{6}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.65} = 14.02 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 4x2.5мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 20А);

- Установка для сверления WL-YL-CO2:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{30.8}{0.220 \cdot 0.65} = 215 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 2x70мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS250 (I_{нт} = 250А);

- Вентилятор:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot \cos \varphi} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.8} = 75.96 \text{ A}$$

Кабель - ВВГ 4x16мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 100А).

Выбор кабелей и автоматических выключателей от ШР до РУ:

- Для ШР1 – I_н = 97.98А;

Кабель - ВВГ 4x35мм²; Выключатель - ВА-СЭЦ-TS100 (I_{нт} = 100А) в
распредустройстве;

- Для ШР2 – $I_H = 90.65\text{A}$;

Кабель - ВВГ 4x35мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS100 ($I_{HT} = 100\text{A}$) в распреустройстве;

- Для ШР3 – $I_H = 229.51\text{A}$;

Кабель - ВВГ 4x120мм²; Выключатель - ВА-СЭЩ-TS250 ($I_{HT} = 250\text{A}$) в распреустройстве.

5.3 Выбор трансформаторов тока

Трансформаторы тока устанавливаются в ячейках РУ:

- ШР1 – Т-0.66-0.5-100/5-У3, $I_{п.н.} = 100\text{A}$;

- ШР2 – Т-0.66-0.5-100/5-У3, $I_{п.н.} = 100\text{A}$;

- ШР3 – Т-0.66-0.5-300/5-У3, $I_{п.н.} = 300\text{A}$.

6 Расчет токов короткого замыкания

«Расчеты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ имеют ряд особенностей по сравнению с расчетами токов КЗ в сетях напряжением выше 1 кВ. К ним относятся следующие:

- учет активных сопротивлений всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- учет индуктивных сопротивлений всех вышеперечисленных элементов короткозамкнутой цепи;
- учет активных сопротивлений различных контактов и контактных соединений;
- учет сопротивлений электрической дуги в месте КЗ;
- учет параметров асинхронных двигателей, если суммарный номинальный ток этих двигателей превышает 10 % начального значения периодической составляющей тока КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей» [18].

В соответствии с ПУЭ влияние асинхронных двигателей на ток КЗ не учитывается, если ток от них поступает к месту КЗ по тем же элементам, по которым протекает основной ток КЗ от сети и которые имеют значительные сопротивления. Для сети 0,4 кВ такими элементами являются трансформаторы, воздушные и кабельные линии и переходные соединения в месте КЗ. Это означает, что влияние асинхронных двигателей на ток КЗ следует учитывать, если двигатели подключены либо непосредственно к месту КЗ, либо через кабельные или воздушные линии.

Сети напряжением до 1 кВ, как правило, работают с глухим заземлением нейтралей силовых трансформаторов. Поэтому в таких сетях возможны все виды КЗ, характерные для сетей напряжением выше 110 кВ. Обычно в качестве расчетных в сетях напряжением до 1 кВ приняты трехфазные КЗ, двухфазные КЗ и однофазные КЗ.

Кроме того, наиболее частыми видами КЗ являются КЗ дуговые, т.е. перечисленные выше виды КЗ, но с учетом активного сопротивления дуги в месте КЗ.

«В настоящее время существует две основные методики по расчетам токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ:

- стандарт, разработанный международной электротехнической комиссией (МЭК), определяющий методы расчетов токов КЗ в радиальных сетях низкого напряжения;

- методика, разработанная сотрудниками Московского энергетического института под руководством доктора технических наук профессора Неклепаева Б.Н., на основе которой был выпущен ГОСТ 28249-93 «Методы расчета токов КЗ в электроустановках переменного тока до 1 кВ».

В ГОСТе 28249-93 появились новые рекомендации по расчетам дуговых КЗ, определению активного сопротивления дуги R_d , по определению активных сопротивлений воздушных и кабельных линий при нагреве их токами КЗ. Поэтому методы расчетов токов КЗ, изложенные в ГОСТ 28249-93, дают более точные результаты.

Параметры элементов схемы замещения приводятся к одному напряжению, принятому за базисное. Обычно за базисную принимают степень напряжения, которую имеет наибольшее количество элементов сети и на которой находится точка КЗ. Как правило, это напряжение 0,4 кВ» [18].

В этом случае активные и индуктивные сопротивления элементов схемы замещения будут выражены в миллиомах (мОм).

На рисунке 1 приведена расчетная схема для определения значений тока КЗ, а на рисунке 2 ее схема замещения.

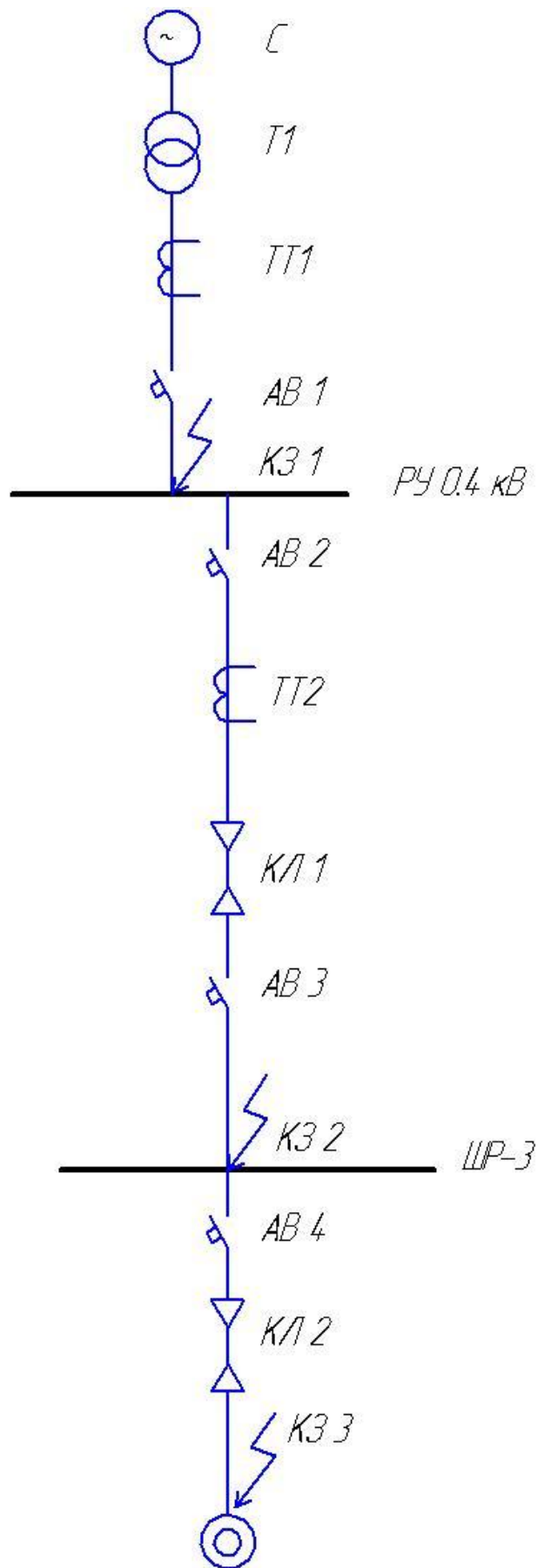


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения значений тока КЗ

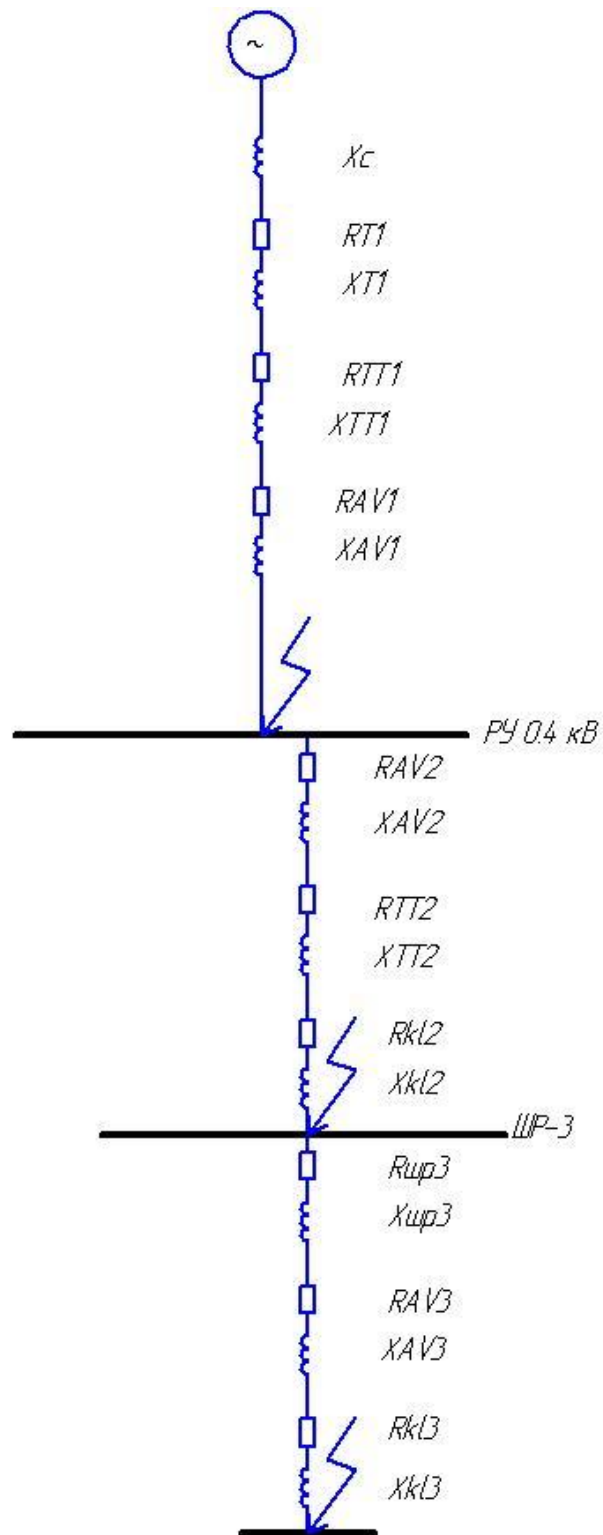


Рисунок 2 – Расчетная схема замещения

6.1 Расчет параметров схемы замещения

Трансформатор Т1:

$$R_T = \frac{P_{к.з.} \cdot 0.4^2}{S_H^2} \cdot 10^6,$$

$$R_T = \frac{20.6 \cdot 0.4^2}{160^2} = 20.6 \text{ мОм};$$

$$Z_T = \frac{U \cdot 0.4^2}{S_H} \cdot 10^4,$$

$$Z_T = \frac{3.3 \cdot 0.4^2}{160} = 55 \text{ мОм};$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 50.1 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ1:

$$R_{ТТ1} = 0.2 \text{ мОм};$$

$$X_{ТТ1} = 0.3 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ2:

$$R_{ТТ2} = 0.2 \text{ мОм};$$

$$X_{ТТ2} = 0.3 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ1:

$$R_{АВ1} = 0.65 \text{ мОм};$$

$$X_{АВ1} = 0.17 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ2:

$$R_{АВ1} = 0.65 \text{ мОм};$$

$$X_{АВ1} = 0.17 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ3:

$$R_{AB1} = 0.65 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0.17 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ4:

$$R_{AB1} = 3.5 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 2 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1:

$$l = 18.54 \text{ м};$$

$$R_{KL2} = 18.54 \cdot 0.208 = 3.856 \text{ мОм};$$

$$X_{KL2} = 18.54 \cdot 0.056 = 1.52 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2:

$$l = 1.636 \text{ м};$$

$$R_{KL2} = 1.636 \cdot 3.84 = 6.28 \text{ мОм};$$

$$X_{KL2} = 1.636 \cdot 0.082 = 0.134 \text{ мОм}.$$

Шинопровод ШР3:

$$l = 3.055 \text{ м};$$

$$R_{ШР1} = 3.055 \cdot 0.21 = 0.642 \text{ мОм};$$

$$X_{KL2} = 3.055 \cdot 0.21 = 0.642 \text{ мОм}.$$

Система:

$$X_c = \frac{0.4^2}{S_H} \cdot 10^3,$$

$$X_c = \frac{0.4^2}{100} \cdot 1000 = 1.6 \text{ мОм}$$

6.2 Расчет токов короткого замыкания для трех точек

6.2.1 Для точки К1

$$R_{\Sigma K1} = R_{T1} + R_{AB1} + R_{TT1},$$

$$R_{\Sigma K1} = 20.6 + 0.2 + 0.65 = 21.45 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_{T1} + X_{AB1} + X_{TT1} + X_c,$$

$$X_{\Sigma K1} = 50.1 + 0.3 + 0.17 + 1.6 = 52.17 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 56.4 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K1} = \frac{U_{H HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}},$$

$$I_{K1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 56.4} = 4.09 \text{ кА}$$

Ток трехфазного дугового КЗ:

$$K_{c1} = 0.82; K_{c2} = 0.73;$$

$$I_{KD} = I_{K1} \cdot K_{C1}, t \approx 0;$$

$$I_{KD} = 4.09 \cdot 0.82 = 3.35 \text{ кА}$$

$$I_{KD} = I_{K1} \cdot K_{C2}, t_{K3} > 0,5c.$$

$$I_{KD} = 4.09 \cdot 0.73 = 2.99 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K1}}{R_{\Sigma K1}} = 2.43 \rightarrow K_{yK1} = 1.25;$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{yK1} \cdot I_{K1} = \sqrt{2} \cdot 2.43 \cdot 4.09 = 7.23 \text{ кА}$$

6.2.2 Для точки К2

$$R_{\Sigma K2} = R_{T1} + R_{AB1} + R_{TT1} + R_{AB2} + R_{TT2} + R_{K1} + R_{AB3} = 28.806 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{T1} + X_{AB1} + X_{TT1} + X_C + X_{AB2} + X_{TT2} + X_{K1} + X_{AB3} = 54.33 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} = 61.49 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K2} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 61.49} = 3.75 \text{ кА}$$

Ток трехфазного дугового КЗ:

$$K_{C1} = 0.83; K_{C2} = 0.75;$$

$$I_{KD} = I_{K2} \cdot K_{C1} = 3.75 \cdot 0.83 = 3.11 \text{ кА } t \approx 0;$$

$$I_{KD} = I_{K2} \cdot K_{C2} = 3.75 \cdot 0.75 = 2.81 \text{ кА } t_{K3} > 0,5c.$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 1.886 \rightarrow K_{yK2} = 1.18;$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{yK2} \cdot I_{K2} = \sqrt{2} \cdot 1.18 \cdot 3.75 = 6.25 \text{ кА}$$

6.2.3 Для точки К3

$$R_{\Sigma K3} = R_{T1} + R_{AB1} + R_{TT1} + R_{AB2} + R_{TT2} + R_{K1} + R_{AB3} + R_{AB4} + R_{ШП3} + R_{K2} = 39.498 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{T1} + X_{AB1} + X_{TT1} + X_C + X_{AB2} + X_{TT2} + X_{K1} + X_{AB3} + X_{AB4} + X_{ШП3} + X_{K2} \\ = 57.106 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma K3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 69.43 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K3} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma K3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 69.43} = 3.32 \text{ кА}$$

Ток трехфазного дугового КЗ:

$$K_{C1} = 0.84; K_{C2} = 0.76;$$

$$I_{KD} = I_{K3} \cdot K_{C1} = 3.32 \cdot 0.84 = 2.78 \text{ кА } t \approx 0;$$

$$I_{KD} = I_{K3} \cdot K_{C2} = 3.32 \cdot 0.76 = 2.52 \text{ кА } t_{K3} > 0,5 \text{ с}.$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 1.44 \rightarrow K_{yK3} = 1.1;$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3} = \sqrt{2} \cdot 1.1 \cdot 3.32 = 5.16 \text{кА}$$

6.3 Проверка оборудования на ударный ток короткого замыкания

По ударным токам КЗ проверим стойкость автоматических выключателей.

Для К1:

ВА-СЭЩ-TS250

$$K1: \quad i_{yK1} = 7.23 \text{кА} < i_{yBA} = 20 \text{кА};$$

Для К2:

ВА-СЭЩ-TS100

$$K2: \quad i_{yK2} = 6.25 \text{кА} < i_{yBA} = 15 \text{кА};$$

Для К3:

ВА-СЭЩ-TS100

$$K3: \quad i_{yK1} = 5.16 \text{кА} < i_{yBA} = 15 \text{кА}.$$

Выбранное для защиты оборудование прошло проверку по ударному току, значит оно сможет отключить токи КЗ в данной системе, а, следовательно, оборудование подобрано верно.

7 Расчет заземления

Вертикальные заземлители выполняем уголком с размерами 50x50x5 мм и длиной 3 м [19]. Принимаем предварительно количество вертикальных стержней равным 16, а расстояние между стержнями равным 6 м. Горизонтальные заземлители выполним в виде стальных полос с размерами 40x5 мм. Грунт под подстанцией – супесок с $\rho_{cp} = 300 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Найдем сопротивление одиночного вертикального заземлителя [20]:

$$R_{\epsilon} = \frac{\rho \cdot K_{\epsilon}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\epsilon}} \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\epsilon}}{d_{\epsilon}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot h_{\epsilon} + l_{\epsilon}}{4 \cdot h_{\epsilon} - l_{\epsilon}} \right),$$
$$R_{\epsilon} = \frac{300 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,0475} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 0,0475}{4 \cdot 2 - 0,0475} \right) = 125,3 \text{ Ом},$$

Найдем необходимое количество вертикальных заземлителей:

$$n' = \frac{R}{R_{\epsilon} \cdot \eta_{\epsilon}},$$
$$n' = \frac{125,3}{12 \cdot 0,6} = 17,36 = 18 \text{ шт},$$

Найдем суммарную длину горизонтального заземлителя:

$$l_n = a \cdot n',$$
$$l_n = 18 \cdot 6 = 108 \text{ м},$$

Найдем сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_z = \frac{\rho \cdot K_z}{2 \cdot \pi \cdot l_n} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot l_n^2}{h_n \cdot b}\right),$$

$$R_z = \frac{300 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 108} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 108^2}{0,5 \cdot 0,05}\right) = 24,7 \text{ Ом},$$

Определим по формуле действительное сопротивление растекания горизонтального заземлителя:

$$R'_z = \frac{R_z}{\eta_z},$$

$$R'_z = \frac{24,7}{0,32} = 77,2 \text{ Ом}.$$

Определим по формуле сопротивление растеканию заземляющего устройства (учитывая сопротивление горизонтального заземлителя):

$$R'_6 = \frac{R'_z \cdot R_3}{R'_z - R_3},$$

$$R'_6 = \frac{77,2 \cdot 12}{77,2 - 12} = 14,2 \text{ Ом}.$$

Найдем скорректированное число вертикальных заземлителей:

$$n'_6 = \frac{R_6}{\eta_6 \cdot R'_6},$$

$$n'_6 = \frac{125,3}{0,6 \cdot 14,2} = 14,6 \approx 15 \text{ шт.}$$

Заключение

В данной бакалаврской работе была спроектирована и рассчитана система электроснабжения производственного корпуса предприятия по выпуску автокомпонентов. Была рассчитана расчетная электрическая нагрузка по инструментальному цеху и в целом по корпусу.

Также было рассчитано освещение, с учетом всех дополнительных помещений (включая этажность), входящих в данный цех.

В дальнейшем рассмотрению подлежал выбор трансформатора и расчет компенсации реактивной мощности. По приведенным затратам наиболее выгодным и рациональным вариантом оказался выбор двух трансформаторов ТМГ-1600/10 и конденсаторных батарей АУКРМ номинальной мощностью 750 кВар каждая в количестве двух штук.

После выбора трансформатора был произведен выбор оборудования системы электроснабжения: защитной аппаратуры (выключателей автоматических), токоведущих проводников (кабели, шинопроводы), трансформаторов тока.

Завершающим этапом проектирования был расчет токов короткого замыкания. В ходе которого были рассчитаны ударные токи в трех точках. Максимальный ударный ток согласно расчетов составил 7.23 кА. Выбранное оборудование было проверено на стойкость к токам короткого замыкания. В работе был выполнен расчёт защитного заземления цеховой трансформаторной подстанции.

Список используемых источников

1. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
2. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Жданов В.Г. Организация и управление деятельностью электросетевых предприятий: учебное пособие. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 144 с.
3. Комков В.А., Тимахова Н.С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебное пособие, 2-е изд. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 204 с.
4. Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушений электроснабжения потребителей [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 188 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/72323> (дата обращения: 19.02.2018).
5. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. - PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
6. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
7. Антонов С.Н. Проектирование электроэнергетических систем : учебное пособие. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2014. 104 с.
8. Wang Y., Feng F. Loading rate optimization of hybrid power supply system in self-adaptive dual-generator parallel operation // 2017 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC). Broadbeach. 2017, pp. 43-46.
9. Комиссаров Ю.А., Бабокин Г.И. Общая электротехника и электроника : учебник. 2-е изд., испр. и доп. М. : ИНФРА-М, 2017. 479 с.
10. Huang S. J., Dai S. H., Su J. L., Lee T. S. Design of a contactless power supply system with dual output capability for AGV applications // 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). Nagoya. 2017. pp. 1-3.

11. Cho C. G., Song S. H., Park S. M., Ryoo H. J., Bae J. S., Jang S. R. Analysis and implementation of power supply system for xenon lamp // IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Beijing. 2017. pp. 829-833.

12. Матаев У.М. Практикум по электроэнергетике (в примерах с решениями) : учебное пособие. Алматы: Нур-Принт, Казахский национальный аграрный университет, 2014. 195 с.

13. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 07.05.2018).

14. Varetsky Y. Reactive power compensation in a powerful DC drives supply system // 2016 Electric Power Networks (EPNet). Szklarska Poreba. 2016. pp. 1-6.

15. Сазонова Т.В., Шлейников В.Б. Электроснабжение силовых электроприемников цеха промышленного предприятия: учебное пособие. М.: Бибком, 2016. 110 с.

16. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.

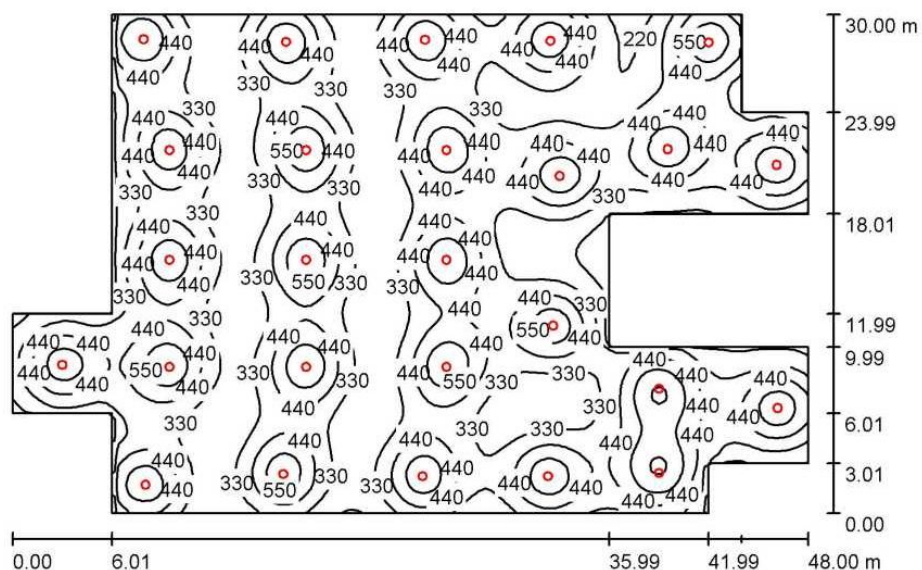
17. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.

18. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.

19. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.

20. Кобелев А.В., Кочергин С.В., Печагин Е.А. Режимы работы электроэнергетических систем : учебное пособие для бакалавров и магистров направления «Электроэнергетика». Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. 80 с.

Цех металлоизделий / Резюме



Высота помещения: 8.000 m, Монтажная высота: 7.000 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Лкx, Масштаб 1:386

| Поверхность | ρ [%] | E_{cp} [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_{cp} |
|-------------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|
| Рабочая плоскость | / | 399 | 146 | 683 | 0.366 |
| Полы | 20 | 389 | 183 | 581 | 0.470 |
| Потолок | 77 | 68 | 47 | 76 | 0.696 |
| Стенки (16) | 50 | 127 | 43 | 699 | / |

Рабочая плоскость:

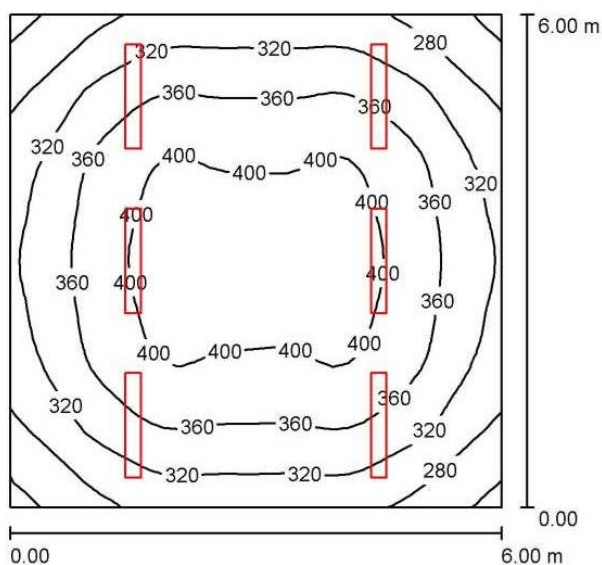
Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.010 m

Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|---|-----|--|--------------------------|---------------------|-------|
| 1 | 26 | LIGHTINGTECHNOLOGIES - НВТ 400Н IP23 (1.000) | 22703 | 34000 | 400.0 |

Всего: 590271 Всего: 884000 10400.0

Удельная подсоединенная мощность: $8.98 \text{ W/m}^2 = 2.25 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 1158.00 m^2)



Высота помещения: 3.600 m, Монтажная высота: 3.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:78

| Поверхность | ρ [%] | E_{cp} [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_{cp} |
|-------------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|
| Рабочая плоскость | / | 349 | 229 | 421 | 0.656 |
| Полы | 20 | 295 | 213 | 355 | 0.723 |
| Потолок | 70 | 205 | 98 | 916 | 0.479 |
| Стенки (4) | 50 | 240 | 141 | 412 | / |

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 32 x 32 Точки
Краевая зона: 0.000 m

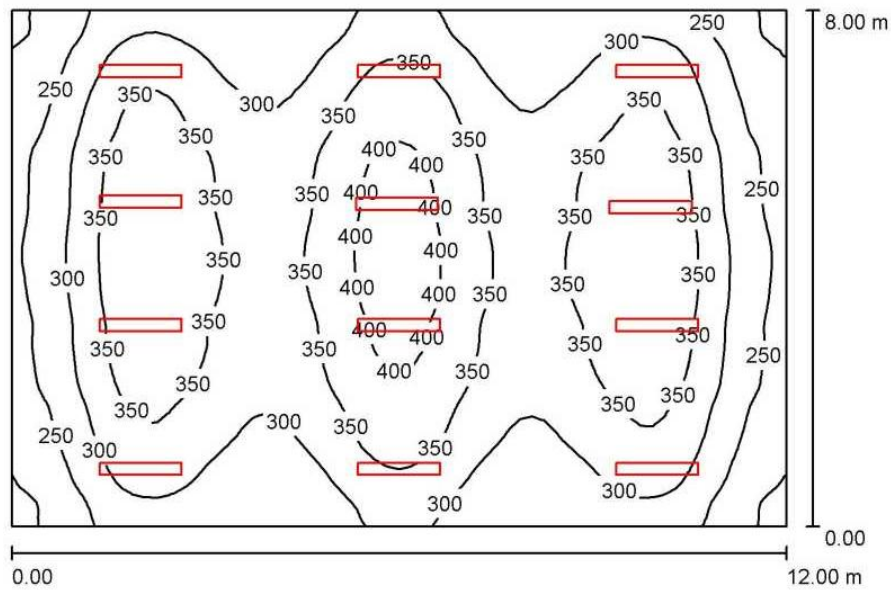
UGR

Вдоль- Поперек К оси светильников
Левая стенка 18 15
Нижняя стенка 18 15
(CIE, SHR = 0.25.)

Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Ф (Светильник) [lm] | Ф (Лампы) [lm] | P [W] |
|--------|-----|---|---------------------|----------------|-------|
| 1 | 6 | LIGHTINGTECHNOLOGIES - AOT.PRS 236 (1.000) | 4555 | 6700 | 72.0 |
| Всего: | | | 27333 | 40200 | 432.0 |

Удельная подсоединенная мощность: $12.00 \text{ W/m}^2 = 3.44 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 36.00 m^2)



Высота помещения: 3.600 m, Монтажная высота: 3.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:103

| Поверхность | ρ [%] | E_{cp} [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_{cp} |
|-------------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|
| Рабочая плоскость | / | 321 | 186 | 427 | 0.582 |
| Полы | 20 | 287 | 184 | 360 | 0.641 |
| Потолок | 70 | 165 | 72 | 913 | 0.437 |
| Стенки (4) | 50 | 216 | 131 | 607 | / |

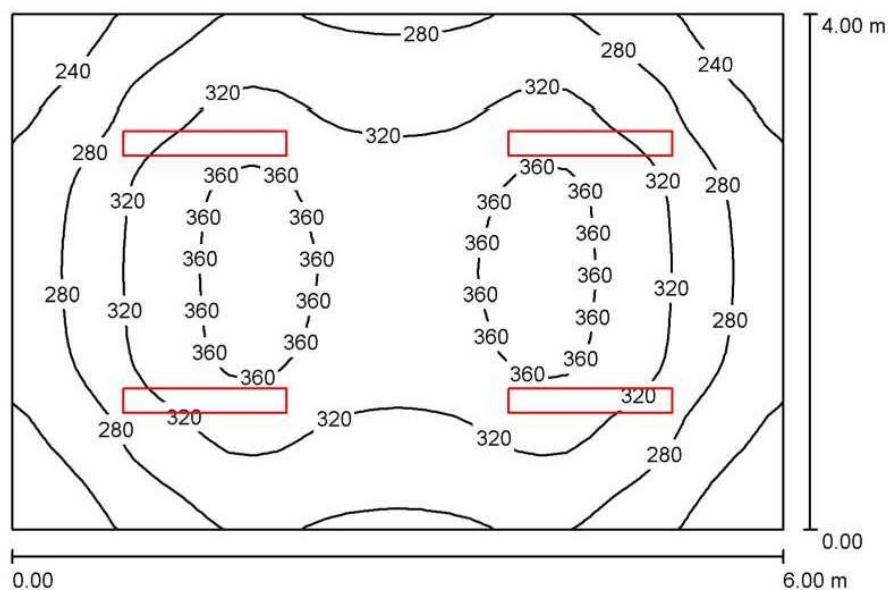
Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|--------|-----|---|--------------------------|---------------------|-------|
| 1 | 12 | LIGHTINGTECHNOLOGIES - AOT.PRS 236 (1.000) | 4555 | 6700 | 72.0 |
| Всего: | | | 54665 | 80400 | 864.0 |

Удельная подсоединенная мощность: $9.00 \text{ W/m}^2 = 2.81 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 96.00 m^2)



Высота помещения: 3.600 m, Монтажная высота: 3.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:52

| Поверхность | ρ [%] | E_{cp} [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | E_{min} / E_{cp} |
|-------------------|------------|---------------|----------------|----------------|--------------------|
| Рабочая плоскость | / | 307 | 203 | 374 | 0.662 |
| Полы | 20 | 251 | 188 | 293 | 0.748 |
| Потолок | 70 | 203 | 92 | 913 | 0.453 |
| Стенки (4) | 50 | 219 | 117 | 525 | / |

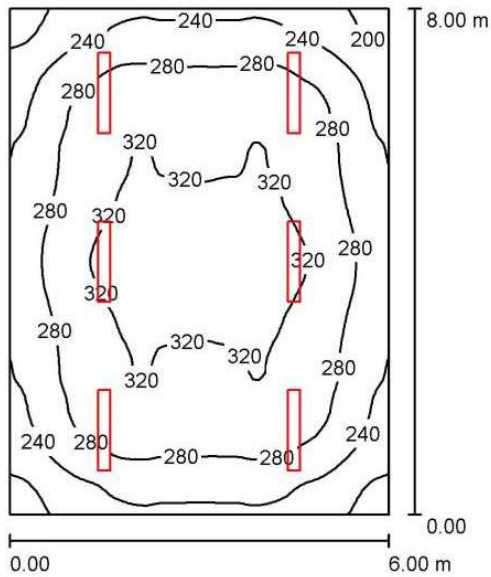
Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 32 x 32 Точки
Краевая зона: 0.000 m

Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|---|-----|---|--------------------------|---------------------|-------|
| 1 | 4 | LIGHTINGTECHNOLOGIES - AOT.PRS 236 (1.000) | 4555 | 6700 | 72.0 |
| | | | Всего: 18222 | Всего: 26800 | 288.0 |

Удельная подсоединенная мощность: $12.00 \text{ W/m}^2 = 3.91 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 24.00 m^2)



Высота помещения: 3.600 m, Монтажная высота: 3.600 m,
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:103

| Поверхность | ρ [%] | $E_{\text{ср}}$ [lx] | E_{min} [lx] | E_{max} [lx] | $E_{\text{min}} / E_{\text{ср}}$ |
|-------------------|------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Рабочая плоскость | / | 282 | 183 | 343 | 0.647 |
| Полы | 20 | 243 | 170 | 293 | 0.700 |
| Потолок | 70 | 159 | 73 | 898 | 0.460 |
| Стенки (4) | 50 | 190 | 120 | 317 | / |

Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m
Растр: 64 x 64 Точки
Краяевая зона: 0.000 m

UGR

Вдоль- Поперек К оси светильников
Левая стенка 19 16
Нижняя стенка 18 15
(CIE, SHR = 0.25.)

Ведомость светильников

| № | Шт. | Обозначение (Поправочный коэффициент) | Φ (Светильник) [lm] | Φ (Лампы) [lm] | P [W] |
|---|-----|---|--------------------------|---------------------|-------|
| 1 | 6 | LIGHTINGTECHNOLOGIES - AOT.PRS 236 (1.000) | 4555 | 6700 | 72.0 |
| | | | Всего: 27333 | Всего: 40200 | 432.0 |

Удельная подсоединенная мощность: $9.00 \text{ W/m}^2 = 3.19 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Поверхность основания: 48.00 m^2)