

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:

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

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

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 ($\cos\phi$) 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

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

Сварочный преобразователь ПД - 303

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

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

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

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

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

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

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 одноствоечный 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	$P_{CM},$ кВт	$Q_{CM},$ 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:

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

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

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

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

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]:

ШП1 и ШП2 – ШРА4-100-44-1У3 (Е-LINEКВ), номинальный ток шинопровода 100А;

ШП3 – 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 ШП до РУ

Кабель к каждому электроприемнику и кабель от ШП 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:

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

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

- Сварочный преобразователь ПД - 303:

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

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

- Автомат резьбонакатный с роликом и сегментом АБ2520:

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

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

- Автомат резьбонакатный с плоскими плашками АБ2418:

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

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

- Горизонтально-протяжной станок СГП12:

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

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 холодновысадочный 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.

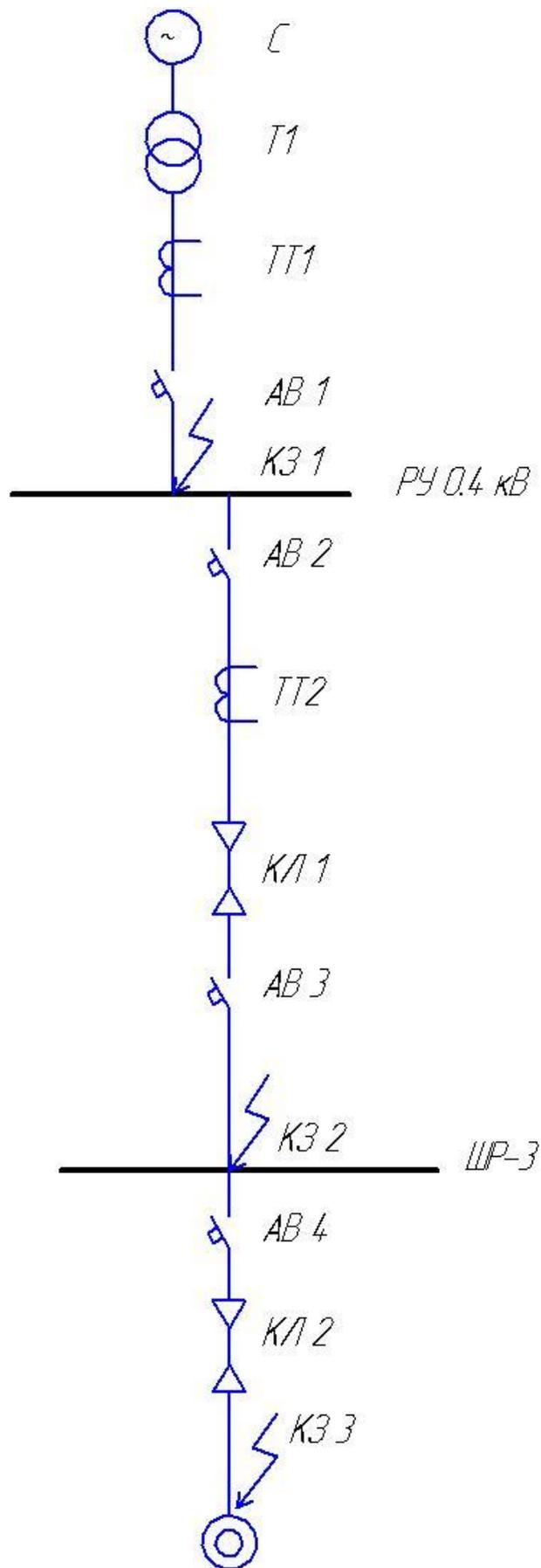


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения значений тока КЗ

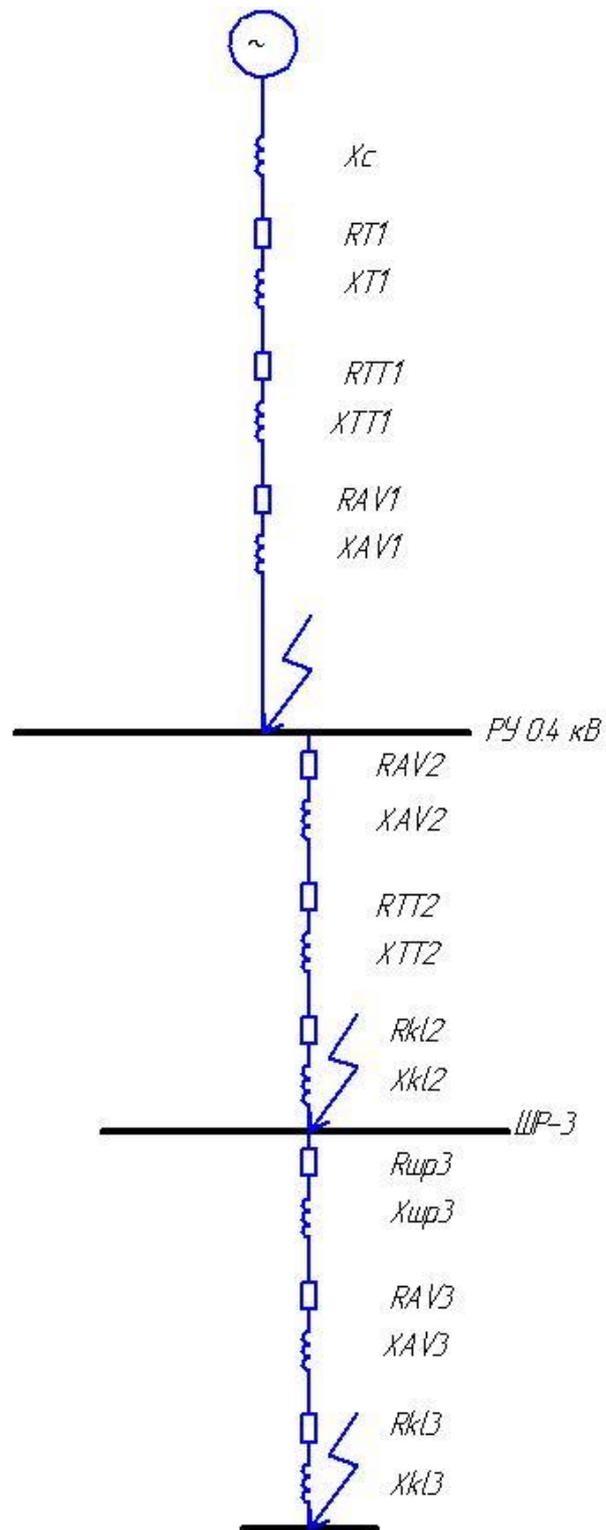


Рисунок 2 – Расчетная схема замещения

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:

$$R_{AB1} = 0.65 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0.17 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ2:

$$R_{AB1} = 0.65 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0.17 \text{ мОм}.$$

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.

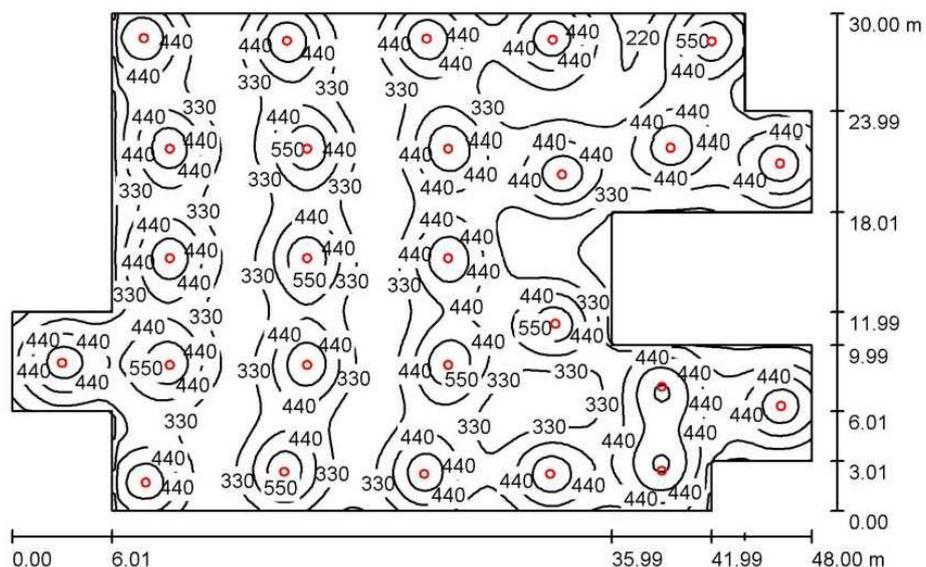
17. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.

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:

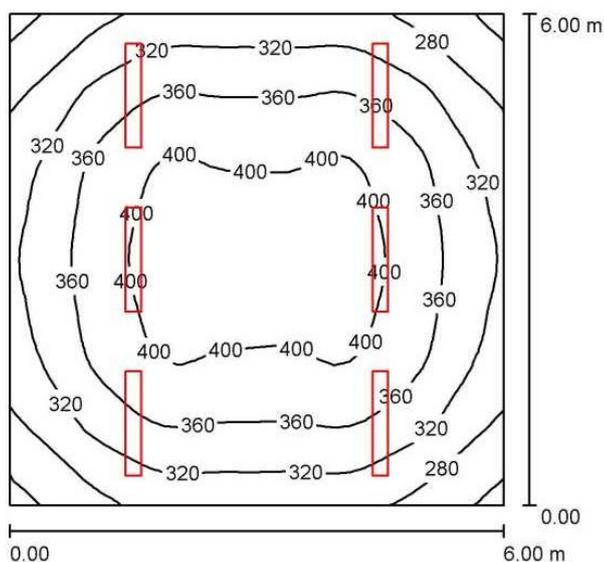
Высота: 0.850 m
Растр: 128 x 128 Точки
Краевая зона: 0.010 m

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

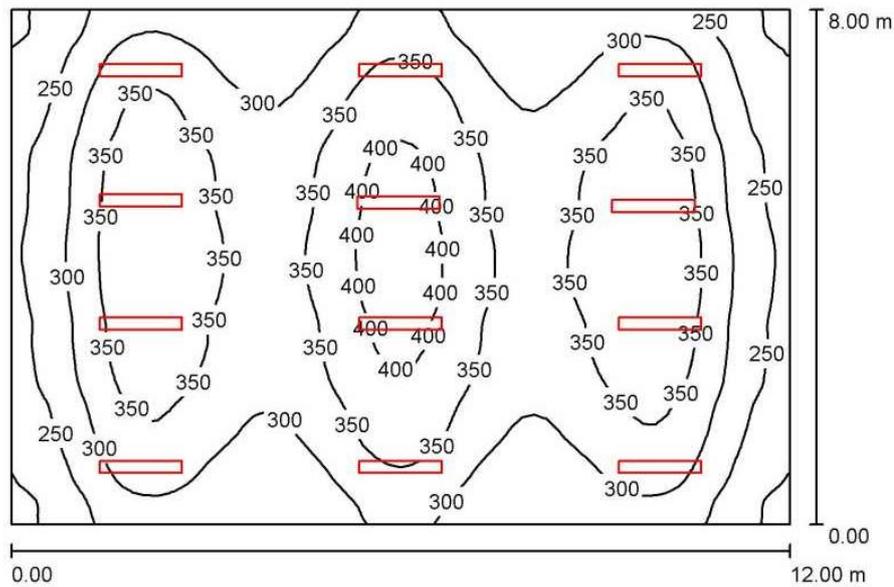
UGR

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 W/m² = 3.44 W/m²/100 lx (Поверхность основания: 36.00 m²)



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	/

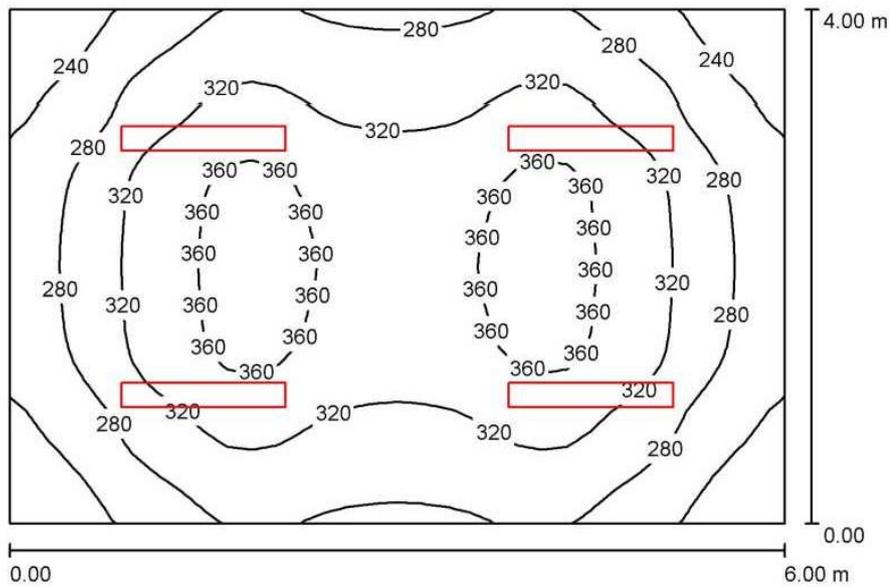
Рабочая плоскость:

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	/

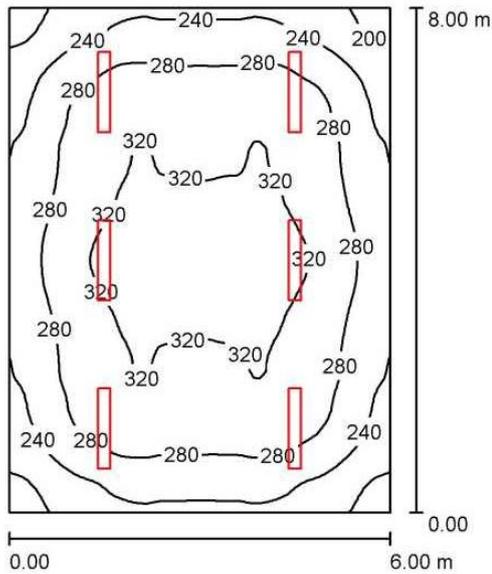
Рабочая плоскость:

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)