

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

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Электрооборудование и электрохозяйство предприятий,
организаций и учреждений
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электрооборудование и электрохозяйство ремонтно-механического производства

Студент	<u>Д.В. Быков</u> (И.О. Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Руководитель	<u>д.т.н., А.А. Кувшинов</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	<u>_____</u>
Консультант	<u>к.п.н., доцент А.В.Кириллова</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	<u>_____</u>

Тольятти 2020

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведен расчет электроснабжения электрооборудования и электрохозяйства ремонтно-механического производства.

Работа выполнена из записки на 53 страницах и 6 чертежей А1.

Записка состоит из введения, основных разделов, заключения и источников. В основных разделах находятся следующие пункты:

- Характеристика ремонтно-механического производства,
- Перечень электроприемников,
- Расчет освещения цеха,
- Расчет ожидаемой нагрузки,
- Расчет и выбор трансформаторов, компенсирующих установок,
- Выбор схемы электроснабжения,
- Выбор электрооборудования для внутреннего электроснабжения цеха,
- Расчет коротких замыканий,
- Список используемых источников.

Abstract

In the final qualifying work, the calculation of the power supply of electrical equipment and electrical repair and mechanical production was performed.

The work was done from a note on the 53 pages and 6 drawings A1.

The note consists of introduction, main sections, conclusion and sources.

The main sections contain the following items:

- Description of mechanical repair production,
- List of power consumers,
- Calculation of lighting shop,
- Calculation of the expected load,
- Calculation and selection of transformers, compensating installations,
- Choice of power supply scheme,
- Selection of electrical equipment for internal power supply of the workshop,
- Calculation of short circuits,
- List of sources used.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика ремонтно-механического производства.....	6
2 Перечень электроприемников.....	8
3 Расчет освещения цеха.....	10
4 Расчет ожидаемой нагрузки.....	17
5 Расчет и выбор трансформаторов, компенсирующих установок.....	22
5.1 Вариант с двумя трансформаторами.....	22
5.2 Вариант с одним трансформатором и резервным кабелем.....	27
6 Выбор схемы электроснабжения.....	32
7 Выбор электрооборудования для внутреннего электроснабжения цеха.....	38
8 Расчет коротких замыканий.....	45
Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51

Введение

Существуют много видов энергий, но одна из основных это электрическая. Ее получают на электростанциях из других видов энергий:

- На АЭС из ядерной,
- На ГЭС из энергии воды,
- На ВЭС из энергии ветра,
- На ТЭС из тепловой,
- На СЭС из световой.

Электрическая энергия необходима современному миру, так как он существует за счет технологий и производств, которые не способны функционировать без электроэнергии.

Поэтому необходимо создать условия для функционирования подобных предприятий и заводов. А именно проложить воздушные и кабельные линии электропередач, возвести подстанции для получения, распределения и передачи электроэнергии, а также провести внутризаводское и внутрицеховое электроснабжение.

При этом необходимо руководствоваться необходимыми требованиями:

- Безопасность,
- Экологичность,
- Надежность,
- Экономичность,
- Обеспечение электромагнитной совместимости,
- Возможность развития во времени,
- Удобность эксплуатации и управления,
- Эстетичность.

Из-за этого темой выпускной квалификационной работы стало провести электроснабжение к электрооборудованию и электрохозяйству

ремонтно-механического производства.

1 Характеристика ремонтно-механического производства

Производство состоит из цеха, предназначенного для ремонта и настройки электромеханических приборов, выбывающих из строя.

Он является одним из цехов металлургического завода, выплавляющего и обрабатывающего металл. РМЦ имеет два участка, в которых установлено необходимое для ремонта оборудование: токарные, строгальные, фрезерные, сверлильные станки и другие.

В цехе предусмотрены помещения для трансформаторной подстанции (ТП), вентиляторной, инструментальной, складов, сварочных постов, администрации и прочих.

Цех получает электроснабжение от главной понизительной подстанции (ГПП). Напряжение на ГПП - 6 кВ. Расстояние от энергосистемы до ГПП - 14 км, а от ГПП до цеховой ТП - 0,9 км.

Количество рабочих смен - 2.

Размеры цеха:

- Длина 48 метров,
- Ширина 28 метров,
- Высота 9 метров.

Вспомогательные помещения двухэтажные, высотой 4 метра.

План цеха и расположения электроприемников изображено на рисунке 1.1.

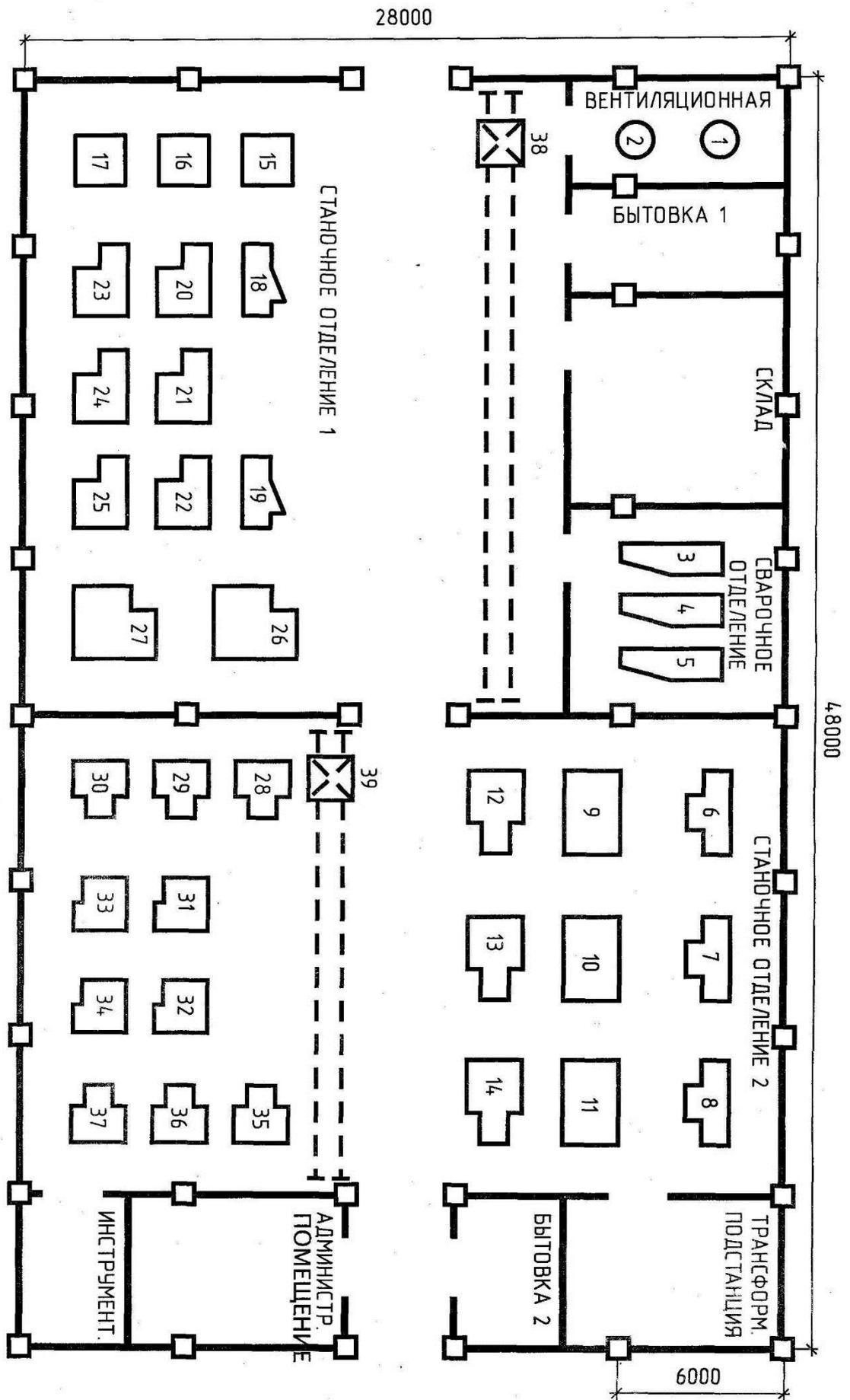


Рисунок 1.1 – План цеха и расположения электроприемников

2 Перечень электроприемников

Приведем весь перечень ЭП в таблицу 2.1.

Необходимое оборудование будет выбрано с сайтов производителей [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9], учитывая габариты оборудования.

Такие данные как КПД, коэффициенты использования и полезной мощности будут определены по справочным данным [10, 11, 12] для данных оборудований.

Таблица 2.1 – Перечень электроприемников цеха

№	Наименование электроприемников	P_n , кВт	n	η	$K_{и}$	$\cos \varphi$
3-фазный ДР						
1, 2	Вентилятор ВРП 115-45 №10	55	2	0,9	0,8	0,8
6...8	Токарный автомат АТПП-116	7,5	3	0,9	0,17	0,65
9...11	Зубофрезерный станок МШ305-III	35	3	0,9	0,17	0,65
12...14	Круглошлифовальный станок 3Л133	11,1	3	0,9	0,17	0,65
15...17	Заточный станок 3Е653	3,76	3	0,9	0,17	0,65
18, 19	Сверлильный станок 2Л563	7,75	2	0,9	0,17	0,65
20...25	Токарный станок 16Б20ТМ	16,52	6	0,9	0,17	0,65
26, 27	Плоскошлифовальный станок ЛШ800	29	2	0,9	0,17	0,65
28...30	Строгальный станок 7307ГТ	5,4	3	0,9	0,17	0,65
31...34	Фрезерный станок 6Л83У	9,12	4	0,9	0,17	0,65
35...37	Расточный станок 2Е450АФ30	13	3	0,9	0,17	0,65
3-фазный ПКР						
3...5	Сварочный агрегат АДД 2х315 КУ1 (ПВ=60%)	50 кВА	3	0,9	0,5	0,75
38, 39	Кран мостовой (ПВ=25%)	30	2	0,9	0,14	0,4

Так как присутствует нагрузка в повторно-кратковременном режиме, то необходимо для начала привести ее к длительному режиму работы.

Для сварочного агрегата мощность будет найдена по формуле:

$$P_H = S_{\Pi} \cdot \sqrt{\Pi B} \cdot \cos \varphi, \quad (2.1)$$

$$P_H = 50 \cdot \sqrt{0,6} \cdot 0,75 = 29,05 \text{ кВт.}$$

Для мостового крана мощность будет найдена по формуле:

$$P_H = P_{\Pi} \cdot \sqrt{\Pi B}, \quad (2.2)$$

$$P_H = 30 \cdot \sqrt{0,25} = 15 \text{ кВт.}$$

В результате было выбрано необходимое оборудование с сайтов производителей, а оборудование с ПКР приведено к ДР.

3 Расчет освещения цеха

Освещение цеха является важным этапом в проектировании электроснабжения, так как хорошая освещенность на рабочих участках поможет минимизировать травмы и улучшить работу.

При расчетах используется литература по освещению [13, 14].

Освещения состоит из внутреннего, наружного и аварийного.

Для начала составим таблицу (таблица 3.1) с параметрами помещений и нормативной освещенности данных помещений согласно СНиП [15].

Также нужно учесть, что вспомогательные помещения имеют 2 этаж сверху и поэтому освещенность для второго этажа будет равна первому.

Таблица 3.1 – Параметры помещений цеха

Название помещения	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Нормативная освещенность, лк
Вентиляционная	4	8	4	20
Бытовка 1	4	8	4	300
Бытовка 2	6	4	4	300
Склад	8	8	4	20
Сварочное отделение	8	8	4	200
Станочное отделение 1	24	20	9	300
Станочное отделение 2	18	28	9	300
Трансформаторная подстанция	6	8	4	100
Инструментальная	6	4	4	300
Административное помещение	6	8	4	300

Для освещения будут выбраны светодиодные светильники.

Расчет основного освещения будет проводиться через программу DIALux Light.

Для внутреннего освещения подходят светильники компания производителя FACTORY.OPL. Для внешнего освещения подходят консольные светильники компании производителя CORVETTE. Светильники можно приобрести на сайте по продаже светотехники [16].

Составим таблицу с характеристиками светильников (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Характеристики светильников

Название светильника	FACTORY.OPL LED 50 IP54 5000K	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K	CORVETTE LED 55 (W) 5000K
Мощность, Вт	54	67	95	56
Напряжение, В	230			
Cos φ	> 0,96			
Световой поток, лм	5491	8004	10730	6440
Энергоэффективность, Лм/Вт	102	120	113	115
Длина, мм	1213	1513	1513	183
Ширина, мм	95	95	95	78
Высота, мм	88	88	88	78

Составим таблицу (таблица 3.3) с дополнительными характеристиками для расчета.

Таблица 3.3 – Дополнительные характеристики помещений

Тип помещения	Основные	Вспомогательные
Тип крепления	К потолку через подвес	Напрямую к потолку

Продолжение таблицы 3.3

Длина подвеса, м	0,5	0
Коэффициенты отражения (потолок, стены, пол), %	70%, 50%, 20%	
Коэффициент помещения	0,67	
Рабочая плоскость, м	0,8	

Составим таблицу (таблица 3.4) с результатами расчетов освещения.

Таблица 3.4 – Результаты расчетов освещения

Название помещения	Тип светильника	Количество светильников	Мощность, Вт	Нормативная освещённость, лк	Средняя расчетная освещённость, лк
Вентиляционная	FACTORY.OPL LED 50 IP54 5000K	1	54	20	78
Бытовка 1	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	3	201	300	314
Бытовка 2	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	2	134	300	260
Склад	FACTORY.OPL LED 50 IP54 5000K	1	54	20	49
Сварочное отделение	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	4	268	200	255
Станочное отделение 1	FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K	30	2850	300	338
Станочное отделение 2	FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K	30	2850	300	322
Трансформаторная подстанция	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	1	67	100	90
Инструментальная	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	2	134	300	260

Продолжение таблицы 3.4

Административное помещение	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	4	268	300	313
Первый вход-выход	CORVETTE LED 55 (W) 5000K	2	112	50	30
Второй вход-выход	CORVETTE LED 55 (W) 5000K	2	112	50	30
Суммарное значение 1 этажа		82	7104		
Суммарно значение 2 этажа		18	1180		
Суммарное значение по всему цеху		100	8284		

Осталось рассчитать аварийное освещение. На данном предприятии отсутствуют коридоры и все вспомогательные помещения выходят к основным помещениям, которые имеют прямой выход на улицу.

Поэтому самым главным будет обозначить специальными табличками выходы наружу и обеспечить всё освещение вторым источником питания.

В среднем одна такая табличка потребляет от 3 до 10 Вт в зависимости от типа. Возьмем 2 таких максимальной мощности в 10 Вт.

Все светильники являются однофазным ЭП, поэтому необходимо привести их к 3-фазной нагрузке.

Составим таблицу (таблица 3.5) с количеством светильников.

Таблица 3.5 – Количество светильников каждого типа

№	Название светильника	Мощность, Вт	Количество светильников
1	FACTORY.OPL LED 50 IP54 5000K	54	4
2	FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	67	32
3	FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K	95	60
4	CORVETTE LED 55 (W) 5000K	56	4
5	Таблички	10	2

Кривые силы света (КСС) каждого светильника изображены на

рисунках (рисунок 3.1, 3.2, 3.3, 3.4).

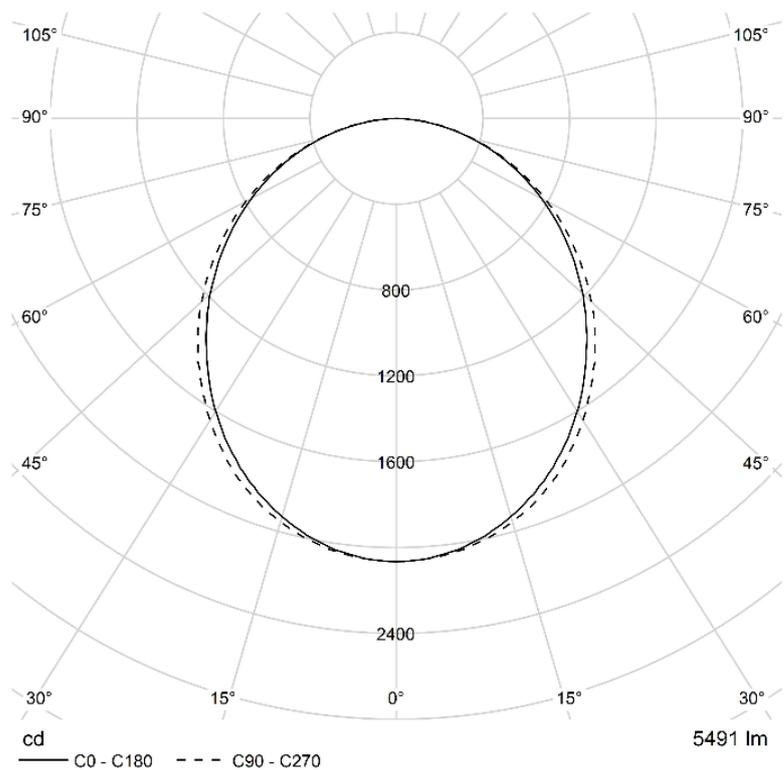


Рисунок 3.1 – Кривая сила света для FACTORY.OPL LED 50 IP54 5000K

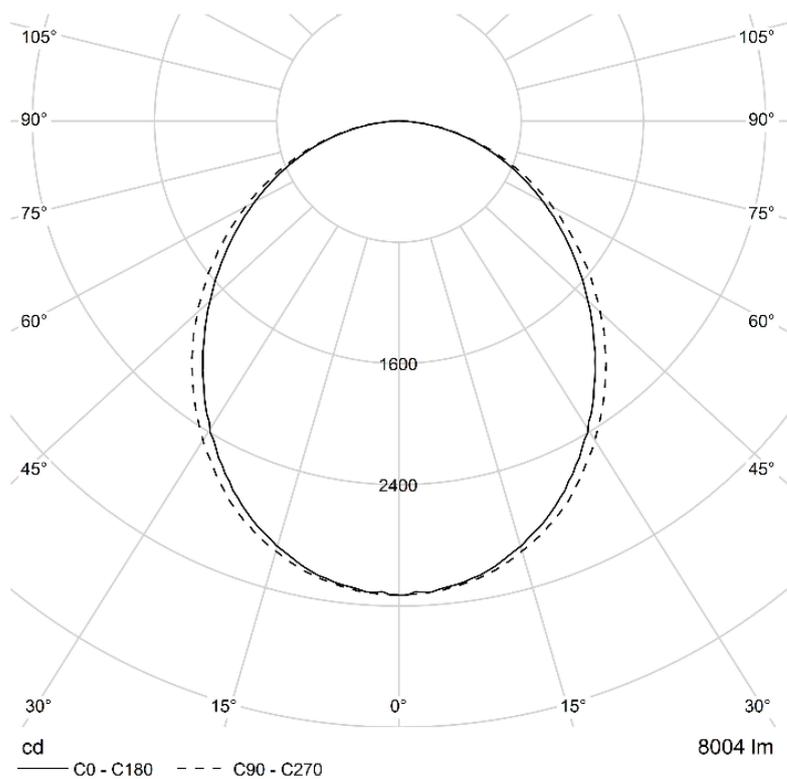


Рисунок 3.2 – Кривая сила света для FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K

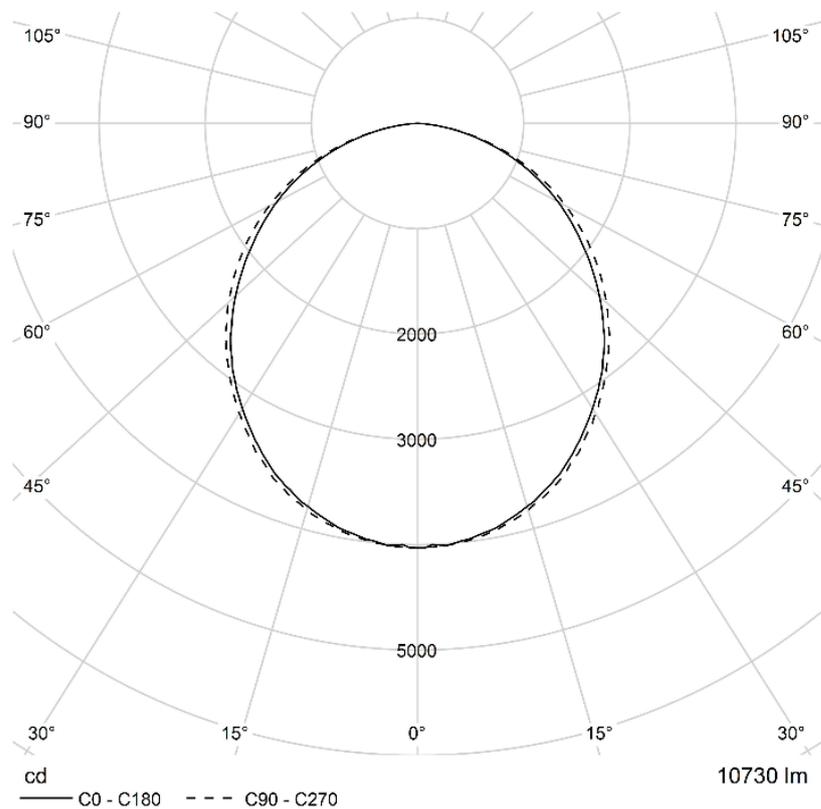


Рисунок 3.3 – Кривая сила света для FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000К

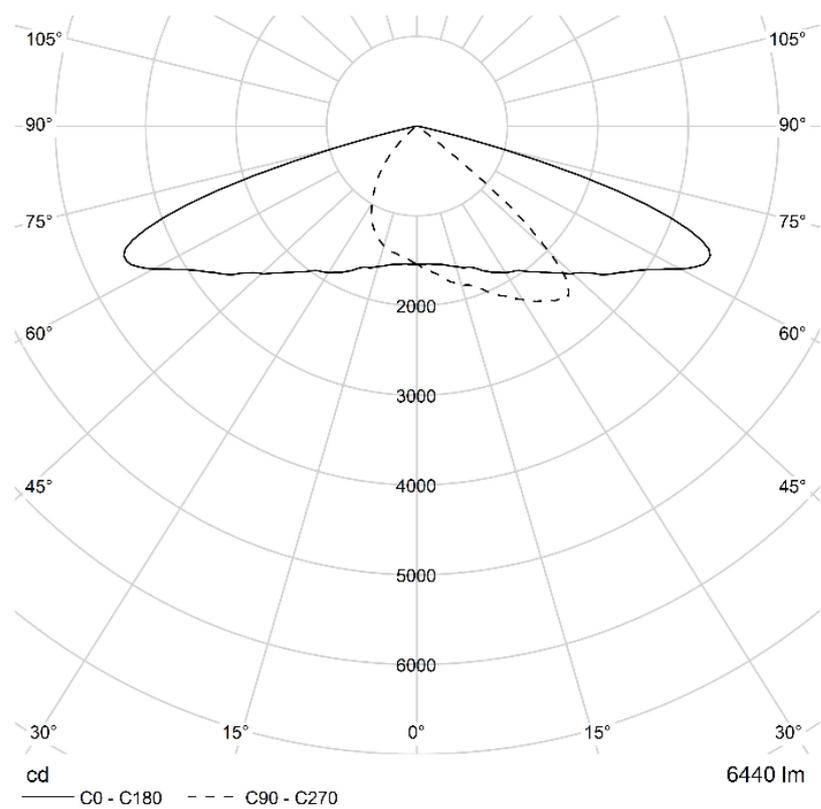


Рисунок 3.4 – Кривая сила света для CORVETTE LED 55 (W) 5000К

Распределим всю светотехнику по фазам так, чтобы нагрузка

получилась как можно более симметричная.

Тогда нагрузка на фазу будет определяться по формуле:

$$P_i = P_1 \cdot n_1 + P_2 \cdot n_2 + P_3 \cdot n_3 + P_4 \cdot n_4 + P_5 \cdot n_5, \quad (3.1)$$
$$P_A = 54 \cdot 1 + 67 \cdot 10 + 95 \cdot 20 + 56 \cdot 2 + 10 \cdot 1 = 2,746 \text{ кВт},$$
$$P_B = 54 \cdot 2 + 67 \cdot 10 + 95 \cdot 20 + 56 \cdot 2 + 10 \cdot 1 = 2,8 \text{ кВт},$$
$$P_C = 54 \cdot 1 + 67 \cdot 12 + 95 \cdot 20 + 56 \cdot 0 + 10 \cdot 0 = 2,758 \text{ кВт}.$$

Проверим равномерность нагрузки по фазам по формуле:

$$H_i = \frac{P_{\text{ф.нб.}i} - P_{\text{ф.нм.}i}}{P_{\text{ф.нм.}i}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$
$$H_i = \frac{2,8 - 2,746}{2,746} \cdot 100\% = 1,97 \text{ \%}.$$

Как видно, нагрузка очень равномерна и равномерность получается меньше 15%. Поэтому найдем трёхфазную нагрузку по формуле:

$$P^{(3)} = P_A + P_B + P_C, \quad (3.3)$$
$$P^{(3)} = 2,746 + 2,8 + 2,758 = 8,304 \text{ кВт}.$$

Данные по расположению светильников в каждом помещении приведены в приложении А (рисунок А.1, А.2, А.3, А.4, А.5, А.6, А.7, А.8, А.9, А.10).

4 Расчет ожидаемой нагрузки

Теперь необходимо рассчитать всю нагрузку предприятия и занести данные в таблицу (таблица 4.1).

Расчет будет проводиться, опираясь на методические указания [10, 14].

Проведем пример расчета одного типа ЭП и итог по всей нагрузке.

За пример возьмем расчет нагрузки сварочных агрегатов АДД 2х315 КУ1.

Для начала находится суммарная нагрузка данных типов электроприемников по формуле:

$$\begin{aligned}\sum P_H &= P_H \cdot n, & (4.1) \\ \sum P_H &= 29,05 \cdot 3 = 87,15 \text{ кВт.}\end{aligned}$$

Затем находится среднесменная активная мощность по формуле:

$$\begin{aligned}P_C &= \sum P_H \cdot K_{и}, & (4.2) \\ P_C &= 87,15 \cdot 0,5 = 43,58 \text{ кВт.}\end{aligned}$$

И находится среднесменная реактивная мощность по формуле:

$$\begin{aligned}Q_C &= P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi, & (4.3) \\ Q_C &= 43,58 \cdot 0,88 = 38,35 \text{ квар.}\end{aligned}$$

На этом расчет нагрузки каждого отдельного типа ЭП заканчивается.

После расчетов всех ЭП необходимо рассчитать итоговые значения.

Рассчитаем итог с учетом всех ЭП и освещения.

Для начала суммируются значения в таких столбиков, как 2, 4, 7 и 8.

В итог 3 столбика записывается минимальная и максимальная номинальная нагрузка среди всех ЭП.

Затем находится итоговый коэффициент использования по формуле:

$$\Sigma K_{\text{И}} = \frac{\Sigma P_{\text{С}}}{\Sigma P_{\text{Н}}}, \quad (4.4)$$
$$\Sigma K_{\text{И}} = \frac{216,57}{670,65} = 0,32.$$

После этого определяем итоговый $\text{tg } \varphi$ по формуле:

$$\Sigma \text{tg } \varphi = \frac{\Sigma Q_{\text{С}}}{\Sigma P_{\text{С}}}, \quad (4.5)$$
$$\Sigma \text{tg } \varphi = \frac{198,83}{216,57} = 0,92.$$

Теперь необходимо определить количество эффективных электроприемников по формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{\text{Н.итог}}}{P_{\text{Н.макс}}}, \quad (4.6)$$
$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot 670,65}{55} = 24,39 = 24.$$

После этого необходимо определить расчетный коэффициент по зависимости:

$$K_{\text{Р}} = f(K_{\text{И}}; n_{\text{Э}}), \quad (4.7)$$
$$K_{\text{Р}} = f(0,32; 24) = 0,85.$$

Затем находятся активная расчетная мощность по формуле:

$$P_{\text{Р}} = K_{\text{Р}} \cdot P_{\text{С}}, \quad (4.8)$$

$$P_p = 0,85 \cdot 216,57 = 184,08 \text{ кВт.}$$

После этого реактивная расчетная мощность по формуле:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c \text{ при } n_{\text{Э}} \leq 10 \text{ или } Q_p = Q_c \text{ при } n_{\text{Э}} > 10, \quad (4.9)$$
$$Q_p = 1,0 \cdot 198,83 = 198,83 \text{ квар.}$$

И полная расчетная мощность по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (4.10)$$
$$S_p = \sqrt{184,08^2 + 198,83^2} = 270,96 \text{ кВА.}$$

В конце рассчитывается расчетный ток по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (4.11)$$
$$I_p = \frac{270,96}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 391,1 \text{ А.}$$

Таблицы 4.1 - Сводная ведомость нагрузок

Исходные величины				Расчетные величины				Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток I_p, A
По первоначальным данным			По справочным данным		$K_{\Sigma} \cdot \sum P_H$	$K_{\Sigma} \cdot \sum P_H \cdot \text{tg } \varphi$	Активная мощность $P_p, \text{ кВт}$			Реактивная мощность $Q_p, \text{ квар}$	Полная мощность $S_p, \text{ кВА}$		
Наименование ЭП	Количество ЭП n	Номинальная мощность		Коэффициент использования K_{Σ}								Коэффициенты мощности $\cos \varphi / \text{tg } \varphi$	
		Одного ЭП $P_H, \text{ кВт}$	Общая ЭП $\sum P_H, \text{ кВт}$										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вентилятор ВРП 115-45 №10	2	55	110	0,8	0,8 / 0,75	88	66	-	-	-	-	-	-
Сварочный агрегат АДД 2х315 КУ1 (ПВ=60%)	3	29,05	87,15	0,5	0,75 / 0,88	43,58	38,35	-	-	-	-	-	-
Токарный автомат АТПП-116	3	7,5	22,5	0,17	0,65 / 1,17	3,83	4,48	-	-	-	-	-	-
Зубофрезерный станок МШ305-III	3	35	105	0,17	0,65 / 1,17	17,85	20,88	-	-	-	-	-	-
Круглошлифовальный станок ЗЛ133	3	11,1	33,3	0,17	0,65 / 1,17	5,66	6,62	-	-	-	-	-	-
Заточный станок ЗЕ653	3	3,76	11,28	0,17	0,65 / 1,17	1,92	2,25	-	-	-	-	-	-
Сверлильный станок 2Л563	2	7,75	15,5	0,17	0,65 / 1,17	2,64	3,09	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4.1

Токарный станок 16Б20ТМ	6	16,52	99,12	0,17	0,65 / 1,17	16,85	19,71	-	-	-	-	-	-
Плоскошлифовальный станок ЛШ800	2	29	58	0,17	0,65 / 1,17	9,86	11,54	-	-	-	-	-	-
Строгальный станок 7307ГТ	3	5,4	16,2	0,17	0,65 / 1,17	2,75	3,22	-	-	-	-	-	-
Фрезерный станок 6Л83У	4	9,12	36,48	0,17	0,65 / 1,17	6,2	7,25	-	-	-	-	-	-
Расточный станок 2Е450АФ30	3	13	39	0,17	0,65 / 1,17	6,63	7,76	-	-	-	-	-	-
Кран мостовой (ПВ=25%)	2	15	30	0,17	0,65 / 1,17	5,1	5,97	-	-	-	-	-	-
Итог без освещения	39	55 / 5,4	663,53	0,32	- / 0,93	210,87	197,12	24	0,85	179,24	197,12	266,43	384,56
FACTORY.OPL LED 50 IP54 5000K	4	0,054	8,304	0,8	0,96 / 0,3	6,64	1,71	-	-	-	-	-	-
FACTORY.OPL LED 80 IP54 5000K	32	0,067						-	-	-	-	-	
FACTORY.OPL LED 100 IP54 5000K	60	0,095						-	-	-	-	-	
CORVETTE LED 55 (W) 5000K	4	0,056						-	-	-	-	-	
Таблички	2	0,01						-	-	-	-	-	
Итог с освещением	141	55 / 0,01	671,83	0,32	0,92 / -	217,52	198,83	24	0,85	184,08	198,83	270,96	391,1

5 Расчет и выбор трансформаторов, компенсирующих установок

Данное предприятия можно рассматривать как потребителя второй и третьей категорий.

Это значит, что необходимо 2 независимых источника электроснабжения без использования АРВ.

Рассмотрим 2 варианта:

- Установка 2 трансформаторов,
- Установка 1 трансформатора с подключением к шине НН резервного кабеля от ближайшей ТП, которая сможет выдержать нагрузку данного цеха.

Расчет будет производиться, используя методические указания [17].

5.1 Вариант с двумя трансформаторами

Найдем мощность трансформатора по формуле:

$$S_T \geq \frac{P_{P\Sigma}}{K_3 \cdot n_T}, \quad (5.1)$$
$$S_T \geq \frac{184,08}{0,8 \cdot 2} = 131,49 \text{ кВА.}$$

Выбирается 2 трансформатора марки ТМГ-160/6 с сайта производителя [18].

Составим таблицу (таблица 5.1) с параметрами трансформатора.

Таблица 5.1 – Паспортные данные трансформатора ТМГ-160/6

S_H , кВА	$U_{НОМ}$, кВ		Схема соединения обмоток	P_k , кВт	P_{xx} , кВт	u_k , %	i_0 , %
	ВН	НН					
160	6	0,4	D/Y _H -11	3,1	0,45	4,5	0,019

Найдем активные потери в трансформаторах по формуле:

$$\Delta P_T = n \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (5.2)$$
$$\Delta P_T = 2 \cdot (0,45 + 0,8^2 \cdot 3,1) = 4,87 \text{ кВт.}$$

Найдем реактивные потери в трансформаторах по формуле:

$$\Delta Q_T = n \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_{HT}}{100}, \quad (5.3)$$
$$\Delta Q_T = 2 \cdot (0,019 + 0,8^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{160}{100} = 9,28 \text{ квар.}$$

Найдем активную нагрузку с учетом потерь в трансформаторах по формуле:

$$P_p = P_{p\Sigma} + \Delta P_T, \quad (5.4)$$
$$P_p = 184,08 + 4,87 = 188,95 \text{ кВт.}$$

Найдем реактивную нагрузку с учетом потерь в трансформаторах по формуле:

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (5.5)$$
$$Q_p = 198,83 + 9,28 = 208,11 \text{ квар.}$$

Найдем значение реактивной мощности в часы минимума нагрузки по формуле:

$$Q_{min} = \alpha_{Qmin} \cdot Q_p, \quad (5.6)$$
$$Q_{min} = 0,5 \cdot 208,11 = 104,06 \text{ квар.}$$

Найдем значение входных реактивных мощностей по формулам:

$$Q'_{Э1} = Q_P - 0,7Q_{CD}, \quad (5.7)$$

$$Q'_{Э1} = 208,11 - 0,7 \cdot 0 = 208,11 \text{ квар.}$$

$$Q''_{Э1} = \alpha \cdot P_P, \quad (5.8)$$

$$Q''_{Э1} = 0,23 \cdot 188,95 = 43,46 \text{ квар.}$$

Выбираем наименьшее значение $Q_{Э1} = 43,46$ квар.

$$Q''_{Э2} = Q_{min} - Q_{KD} = Q_{min} - (Q_P - Q_{Э1}), \quad (5.9)$$

$$Q''_{Э2} = 104,06 - (208,11 - 43,46) = -60,59 \text{ квар.}$$

$$Q'_{Э2} = Q_{min} + Q_K, \quad (5.10)$$

$$Q'_{Э2} = 104,06 + 0 = 104,06 \text{ квар.}$$

Выбираем наибольшее значение $Q_{Э2} = 104,06$ квар.

Найдем максимальную мощность для компенсации по формуле:

$$Q_{КУ.МАХ} = 1,1 \cdot Q_P - Q_{Э1}, \quad (5.11)$$

$$Q_{КУ.МАХ} = 1,1 \cdot 208,11 - 43,46 = 185,46 \text{ квар.}$$

Найдем минимальную мощность для компенсации по формуле:

$$Q_{КУ.МИН} = Q_{min} - Q_{Э2}, \quad (5.12)$$

$$Q_{КУ.МИН} = 104,06 - 104,06 = 0 \text{ квар.}$$

По результатам нужно найти регулируемые конденсаторные установки.

Найдем реактивную мощность, которая должна передаться с высокой стороны на низкую и не должна быть скомпенсирована по формуле:

$$Q_{\text{ЭН}} = Q_{\text{Э1}} - (Q_{\text{P}} - Q_{\text{P}\Sigma}), \quad (5.13)$$

$$Q_{\text{ЭН}} = 43,46 - (208,11 - 198,83) = 34,18 \text{ квар.}$$

Найдем реактивную мощность, которая может быть передана с высокой стороны на низкую по формуле:

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(N_{\text{T}} \cdot K_{\text{З}} \cdot S_{\text{HT}})^2 - P_{\text{P}\Sigma}^2}, \quad (5.14)$$

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 160)^2 - 184,08^2} = 177,91 \text{ квар.}$$

Рассчитаем мощность КУ, которая может быть установлена на стороне 0,4 кВ по формуле:

$$Q_{\text{КУ.НН}} = Q_{\text{P}\Sigma} - Q_{\text{T}}, \quad (5.15)$$

$$Q_{\text{КУ.НН}} = 198,83 - 177,91 = 20,92 \text{ квар} < 50 \text{ квар.}$$

Рассчитаем мощность КУ, которая может быть установлена на стороне 6 кВ по формуле:

$$Q_{\text{КУ.ВН}} = Q_{\text{КУ.МАХ}} - Q_{\text{КУ.НН}}, \quad (5.16)$$

$$Q_{\text{КУ.ВН}} = 185,46 - 20,92 = 164,54 \text{ квар} < 800 \text{ квар.}$$

Так как мощность КУ на высокой стороне меньше 800 квар, то установка БК на высокой стороне не целесообразна.

Так как мощность КУ на низкой стороне меньше 50 квар, то установка БК на низкой стороне не целесообразна.

Компенсирующие установки взяты с сайта производителя [19].

Рассчитаем приведенные потери за год по формулам:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_P, \quad (5.17)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2886,21 \text{ ч.}$$

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau, \quad (5.18)$$

$$C = \left(\frac{18377}{4500} + 4,06 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 2886,21 = 11904 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_P, \quad (5.19)$$

$$C_0 = \left(\frac{18377}{4500} + 4,06 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 36130 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

Определим годовые потери по формуле:

$$C \cdot \Delta P_T = n \cdot (C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (5.20)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 2 \cdot (36130 \cdot 0,45 + 11904 \cdot 0,8^2 \cdot 3,1) = 39876,04 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Определим затраты на покупку трансформаторов и КУ по формуле:

$$K_{\text{КТП}} = K_T \cdot n + K_{\text{КУ}} \cdot n, \quad (5.21)$$

$$K_{\text{КТП}} = 134500 \cdot 2 + 0 \cdot 2 = 269 \text{ тыс. руб.}$$

Определим годовые затраты на КТП по формуле:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{КТП}} + \frac{C \cdot \Delta P_T}{1000}, \quad (5.22)$$

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 269 + \frac{39876,04}{1000} = 99,86 \text{ тыс. руб.}$$

5.2 Вариант с одним трансформатором и резервным кабелем

Найдем мощность трансформатора по формуле 5.1:

$$S_T \geq \frac{184,08}{0,9 \cdot 1} = 204,53 \text{ кВА.}$$

Выбирается 2 трансформатора марки ТМГ-250/6 с сайта производителя [18].

Составим таблицу (таблица 5.2) с параметрами трансформатора.

Таблица 5.2 – Паспортные данные трансформатора ТМГ-250/6

S_N , кВА	$U_{НОМ}$, кВ		Схема соединения обмоток	P_k , кВт	P_{xx} , кВт	u_k , %	i_0 , %
	ВН	НН					
250	6	0,4	D/Y _n -11	4,2	0,61	4,5	0,019

Найдем активные потери в трансформаторах по формуле 5.2:

$$\Delta P_T = 1 \cdot (0,61 + 0,9^2 \cdot 4,2) = 4,01 \text{ кВт.}$$

Найдем реактивные потери в трансформаторах по формуле 5.3:

$$\Delta Q_T = 1 \cdot (0,019 + 0,9^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{250}{100} = 9,16 \text{ квар.}$$

Найдем активную нагрузку с учетом потерь в трансформаторах по формуле 5.4:

$$P_p = 184,08 + 4,01 = 188,09 \text{ кВт.}$$

Найдем реактивную нагрузку с учетом потерь в трансформаторах по формуле 5.5:

$$Q_p = 198,83 + 9,16 = 207,99 \text{ квар.}$$

Найдем значение реактивной мощности в часы минимума нагрузки по формуле 5.6:

$$Q_{min} = 0,5 \cdot 207,99 = 104 \text{ квар.}$$

Найдем значение входных реактивных мощностей по формулам 5.7, 5.8, 5.9 и 5.10:

$$Q'_{\text{Э1}} = 207,99 - 0,7 \cdot 0 = 207,99 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{Э1}} = 0,23 \cdot 188,09 = 43,26 \text{ квар.}$$

Выбираем наименьшее значение $Q_{\text{Э1}} = 43,26$ квар.

$$Q''_{\text{Э2}} = 104 - (207,99 - 43,26) = -60,73 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\text{Э2}} = 104 + 0 = 104 \text{ квар.}$$

Выбираем наибольшее значение $Q_{\text{Э2}} = 104$ квар.

Найдем максимальную мощность для компенсации по формуле 5.11:

$$Q_{\text{КУ.МАХ}} = 1,1 \cdot 207,99 - 43,26 = 185,53 \text{ квар.}$$

Найдем минимальную мощность для компенсации по формуле 5.12:

$$Q_{\text{КУ.МИН}} = 104 - 104 = 0 \text{ квар.}$$

По результатам нужно найти регулируемые конденсаторные установки.

Найдем реактивную мощность, которая должна передаться с высокой стороны на низкую и не должна быть скомпенсирована по формуле 5.13:

$$Q_{\text{ЭН}} = 43,26 - (207,99 - 198,83) = 34,1 \text{ квар.}$$

Найдем реактивную мощность, которая может быть передана с высокой стороны на низкую по формуле 5.14:

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 250)^2 - 184,08^2} = 129,38 \text{ квар.}$$

Рассчитаем мощность КУ, которая может быть установлена на стороне 0,4 кВ по формуле 5.15:

$$Q_{\text{КУ.НН}} = Q_{\text{P}\Sigma} - Q_{\text{T}},$$
$$Q_{\text{КУ.НН}} = 198,83 - 129,38 = 69,45 \text{ квар} > 50 \text{ квар.}$$

Рассчитаем мощность КУ, которая может быть установлена на стороне 6 кВ по формуле 5.16:

$$Q_{\text{КУ.ВН}} = Q_{\text{КУ.МАХ}} - Q_{\text{КУ.НН}},$$
$$Q_{\text{КУ.ВН}} = 185,53 - 69,45 = 116,08 \text{ квар} < 800 \text{ квар.}$$

Так как мощность КУ на высокой стороне меньше 800 квар, то установка БК на высокой стороне не целесообразна.

Так как мощность КУ на низкой стороне больше 50 квар, то установка БК на низкой стороне не целесообразна.

Так как на подстанции 1 трансформатор, принимаем к установке 1 регулируемый КУ: АУКРМ-0,4-70.

Компенсирующие установки взяты с сайта производителя [18].

Рассчитаем средние потери за электроэнергию за год по формулам 5.17, 5.18 и 5.19:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4500}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2886,21 \text{ ч,}$$
$$C = \left(\frac{18377}{4500} + 4,06 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 2886,21 = 11904 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{год}},$$
$$C_0 = \left(\frac{18377}{4500} + 4,06 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 36130 \frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}.$$

Определим годовые потери по формуле 5.20:

$$C \cdot \Delta P_T = 1 \cdot (36130 \cdot 0,61 + 11904 \cdot 0,9^2 \cdot 4,2) = 62536,71 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Определим затраты на покупку трансформаторов и КУ по формуле 5.21:

$$K_{\text{КТП}} = 168500 \cdot 1 + 40200 \cdot 1 = 208,7 \text{ тыс. руб.}$$

Определим годовые затраты на КТП по формуле 5.22:

$$Z_{\text{КТП}} = 0,223 \cdot 208,7 + \frac{62536,71}{1000} = 109,08 \text{ тыс. руб.}$$

Сравним результаты:

- Готовые затраты на потери во втором варианте больше на 22,7 тысяч рублей,
- Затраты на покупку трансформаторов и КУ в первом варианте больше на 60,3 тысяч рублей.
- Готовые затраты на ТП в первом варианте больше на 9,22 тысячи

рублей.

На основе этих данных можно сделать вывод, что выгодней будет установить 2 трансформатора, но нужно учитывать то, что в таком случае по расчетам не обязательно устанавливать компенсирующие установки.

Если бы КУ учитывались в расчетах, то затраты на первый вариант были бы больше, но даже в таком случае был бы выбран первый вариант, так как:

- Во втором варианте не учитываются потери в кабельной линии при переходе на аварийное питание цеха, хоть и цех будет питаться по нему не всегда, а только в аварийных случаях,

- Также не известно, есть ли в относительной близости ТП с незагруженными трансформаторами и как далеко она располагается, так как рабочим напряжением будет 0,4 кВ и потери при больших расстояниях будут существенней, чем при напряжении в 6 кВ, которое является питающим от ГПП.

6 Выбор схемы электроснабжения

Теперь необходимо определить по какой схеме будет питаться оборудование предприятия.

Расчет и выбор будет производиться, используя методические указания [10, 14, 20, 21, 22].

Использоваться будет смешанная схема, так как она позволяет и уменьшить затраты, так и увеличить надежность электроснабжения.

Так как будет установлено два трансформатора, то необходимо распределить всю нагрузку цеха поровну на каждый трансформатор.

Использование ШМА и ШРА спорное решение, поскольку в цехе будут работать мостовые краны, которым они могут мешать. Поэтому шинопроводы будут установлены вдоль стен, чтобы не мешать кранам.

Распределение нагрузки будет происходить по номинальным значениям, а также будет изображена схему ЭСН с учетом деления (рисунок 6.1).

Освещение цеха является и основным, и аварийным одновременно, поэтому ему необходим второй источник питания, от которого он будет мгновенно питаться при отключении основного источника.

Вторым источником может является шина НН второго трансформатора, либо же аккумуляторные батареи.

Но в любом из этих случаев понадобится автоматика для автоматического контроля и переключения питания освещения.

Также для большей надежности, питание освещения будет проложено отдельным кабелем.

В цехе будет 2 щита освещения, каждый будет отвечать за соответствующие половины цеха.

Теперь необходимо распределить освещение по фазам для каждого

щита освещения, используя тот же метод, что и в 3 пункте, при этом, конечно, учитывается общее распределение по фазам из пункта 3.

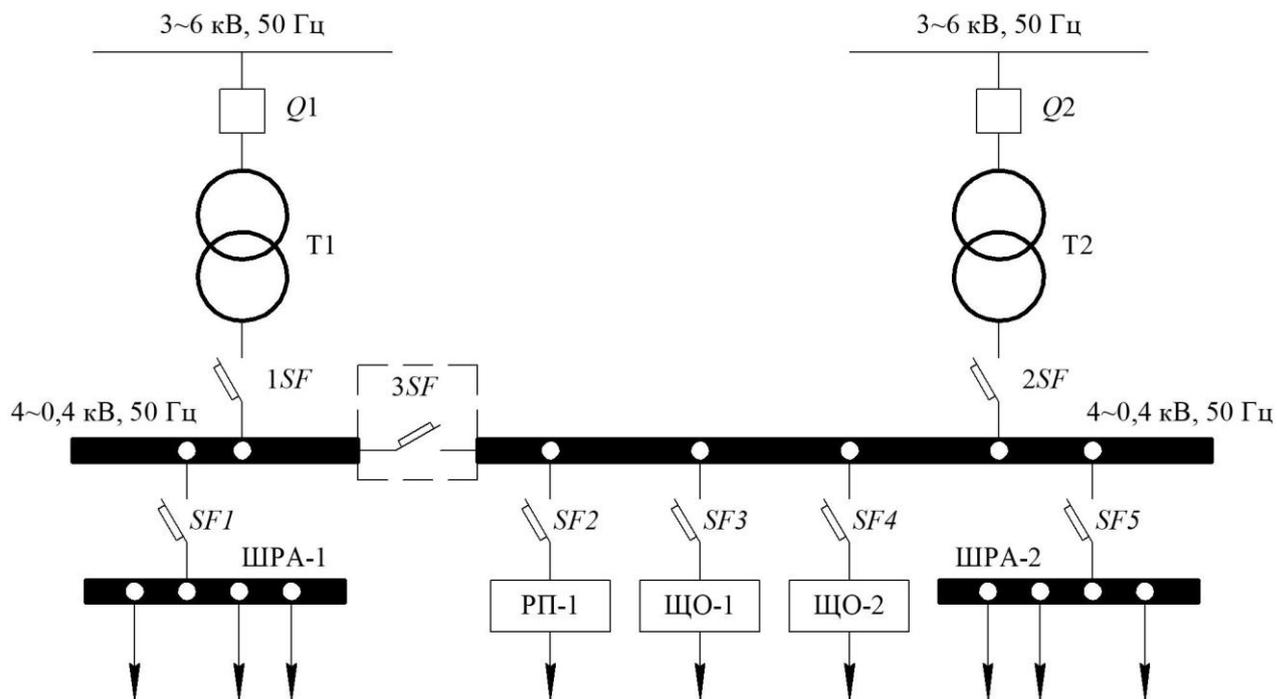


Рисунок 6.1 – Электрическая схема подключения цеха

Составим таблицу (таблица 6.1) с распределение светотехники по щитам освещения с учетом первого и второго этажей.

Таблица 6.1 – Распределение светотехники по щитам освещению

Наименование помещения	$n_{\text{свет.}}$, КОЛ.	$P_{\text{свет.}}$, Вт
ЩО-1		
Трансформаторная (Оба этажа)	1	67
Бытовка 2 (Оба этажа)	2	67
Административное помещение (Оба этажа)	4	67
Инструментальная (Оба этажа)	2	67
Станочное отделение 2	30	95
Улица	4	56
Таблички	2	10

ЩО-2

Продолжение таблицы 6.1

Вентиляционная (Оба этажа)	1	54
Бытовка 1 (Оба этажа)	3	67
Склад (Оба этажа)	1	54
Сварочная (Оба этажа)	4	67
Станочное отделение 1	30	95

Распределим нагрузку по фазам для ЩО-1 и ЩО-2 по формуле 3.1:

$$P_{A.1} = 54 \cdot 0 + 67 \cdot 2 + 95 \cdot 10 + 56 \cdot 2 + 10 \cdot 1 = 1,206 \text{ кВт},$$

$$P_{B.1} = 54 \cdot 0 + 67 \cdot 4 + 95 \cdot 10 + 56 \cdot 2 + 10 \cdot 1 = 1,34 \text{ кВт},$$

$$P_{C.1} = 54 \cdot 0 + 67 \cdot 12 + 95 \cdot 10 + 56 \cdot 0 + 10 \cdot 0 = 1,754 \text{ кВт},$$

$$P_{A.2} = 54 \cdot 1 + 67 \cdot 8 + 95 \cdot 10 + 56 \cdot 0 + 10 \cdot 0 = 1,54 \text{ кВт},$$

$$P_{B.2} = 54 \cdot 2 + 67 \cdot 6 + 95 \cdot 10 + 56 \cdot 0 + 10 \cdot 0 = 1,46 \text{ кВт},$$

$$P_{C.2} = 54 \cdot 1 + 67 \cdot 0 + 95 \cdot 10 + 56 \cdot 0 + 10 \cdot 0 = 1,004 \text{ кВт}.$$

Проверим распределение светотехники по фазам по формуле:

$$P_i = P_{i.1} + P_{i.2}, \quad (6.1)$$

$$P_A = 1,206 + 1,54 = 2,746 \text{ кВт},$$

$$P_B = 1,34 + 1,46 = 2,8 \text{ кВт},$$

$$P_C = 1,754 + 1,004 = 2,758 \text{ кВт}.$$

Все значения полностью совпадают со значениями из 3 пункта.

Проверим равномерность нагрузки по фазам по формуле 3.2:

$$H_1 = \frac{1,754 - 1,206}{1,206} \cdot 100\% = 45,44\% > 15\%.$$

$$H_2 = \frac{1,54 - 1,004}{1,004} \cdot 100\% = 53,4\% > 15\%.$$

Неравномерность получается больше 15% и расчет трёхфазной нагрузки ведется по формуле:

$$P_i^{(3)} = 3 \cdot P_{\text{ф.нб.}i}, \quad (6.2)$$

$$P_1^{(3)} = 3 \cdot 1,754 = 5,262 \text{ кВт},$$

$$P_2^{(3)} = 3 \cdot 1,54 = 4,62 \text{ кВт}.$$

Составим сводную таблицу (таблица 6.2), распределив все оборудование по распределительным пунктам и шинам.

Расчеты каждого типа ЭП и итогов проводится в соответствии с 4 пунктом.

Таблицы 6.2 - Сводная ведомость распределенной нагрузки

Исходные величины				Расчетные величины				Эффективное число ЭП n_{Σ}	Коэффициент расчетной нагрузки K_p	Расчетная мощность			Расчетный ток I_p, A
По первоначальным данным			По справочным данным		$K_{\Sigma} \cdot \sum P_H$	$K_{\Sigma} \cdot \sum P_H \cdot \cos \varphi$	Активная мощность $P_p, кВт$			Реактивная мощность $Q_p, квар$	Полная мощность $S_p, кВА$		
Наименование ЭП	Количество ЭП n	Номинальная мощность		Коэффициент использования K_{Σ}								Коэффициенты мощности $\cos \varphi / \text{tg } \varphi$	
		Одного ЭП $P_H, кВт$	Общая ЭП $\sum P_H, кВт$										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Вентилятор ВРП 115-45 №10	2	55	110	0,8	0,8 / 0,75	88	66	-	-	-	-	-	-
Сварочный агрегат АДД 2х315 КУ1 (ПВ=60%)	3	29,05	87,15	0,5	0,75 / 0,88	43,58	38,35	-	-	-	-	-	-
Токарный автомат АТПП-116	3	7,5	22,5	0,17	0,65 / 1,17	3,83	4,48	-	-	-	-	-	-
Зубофрезерный станок МШ305-III	3	35	105	0,17	0,65 / 1,17	17,85	20,88	-	-	-	-	-	-
Круглошлифовальный станок ЗЛ133	3	11,1	33,3	0,17	0,65 / 1,17	5,66	6,62	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА-1	14	55 / 7,5	357,95	0,44	- / 0,86	158,92	136,33	13	1,03	163,69	136,33	213,03	307,5
Заточный станок ЗЕ653	3	3,76	11,28	0,17	0,65 / 1,17	1,92	2,25	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 6.2

Сверлильный станок 2Л563	2	7,75	15,5	0,17	0,65 / 1,17	2,64	3,09	-	-	-	-	-	-
Токарный станок 16Б20ТМ	6	16,52	99,12	0,17	0,65 / 1,17	16,85	19,71	-	-	-	-	-	-
Плоскошлифовальный станок ЛШ800	2	29	58	0,17	0,65 / 1,17	9,86	11,54	-	-	-	-	-	-
Строгальный станок 7307ГТ	3	5,4	16,2	0,17	0,65 / 1,17	2,75	3,22	-	-	-	-	-	-
Фрезерный станок 6Л83У	4	9,12	36,48	0,17	0,65 / 1,17	6,2	7,25	-	-	-	-	-	-
Расточный станок 2Е450АФ30	3	13	39	0,17	0,65 / 1,17	6,63	7,76	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА-2	23	29 / 3,76	275,58	0,17	- / 1,17	46,85	54,82	19	1,36	63,72	54,82	84,06	121,33
(ШТА-1) Кран мостовой (ПВ=25%)	1	15	15	0,17	0,65 / 1,17	2,55	2,98	1	5,33	13,6	3,28	13,99	20,2
(ШТА-2) Кран мостовой (ПВ=25%)	1	15	15	0,17	0,65 / 1,17	2,55	2,98	1	5,33	13,6	3,28	13,99	20,2
Итого по РП-1	2	15	30	0,17	- / 1,17	5,1	5,96	2	4,33	22,08	6,56	23,03	33,25
ЩО-1	54	0,095 / 0,01	5,262	0,8	0,96 / 0,3	4,21	1,263	54	1,0	4,21	1,263	4,4	6,4
ЩО-2	48	0,095 / 0,054	4,62	0,8	0,96 / 0,3	3,7	1,11	48	1,0	3,7	1,11	3,86	5,6

7 Выбор электрооборудования для внутреннего электроснабжения цеха

Выбор оборудования будет производиться, используя методические указания [10, 14, 20, 21, 22, 23, 24, 25].

Необходимо выбрать выключатели, шинопроводы и кабели.

Сразу выбираются кабели марки ВВГнг для прокладки внутри цеха.

Определим расчётный ток каждого ЭП отдельно по формуле:

$$I_p(i) = \frac{P_{н.и}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_i \cdot \eta_i}, \quad (7.1)$$
$$I_p(1 \dots 2) = \frac{55}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 110,26 \text{ A},$$
$$I_p(3 \dots 5) = \frac{29,05}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,75 \cdot 0,9} = 62,12 \text{ A},$$
$$I_p(6 \dots 8) = \frac{7,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 18,5 \text{ A},$$
$$I_p(9 \dots 11) = \frac{35}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 86,36 \text{ A},$$
$$I_p(12 \dots 14) = \frac{11,1}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 27,39 \text{ A},$$
$$I_p(15 \dots 17) = \frac{3,76}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,99} = 9,28 \text{ A},$$
$$I_p(18 \dots 19) = \frac{7,75}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 19,12 \text{ A},$$
$$I_p(20 \dots 25) = \frac{16,52}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 40,76 \text{ A},$$
$$I_p(26 \dots 27) = \frac{29}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 71,55 \text{ A},$$
$$I_p(28 \dots 30) = \frac{5,4}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 13,32 \text{ A},$$

$$I_p (31 \dots 34) = \frac{9,12}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 22,5 \text{ A},$$

$$I_p (35 \dots 37) = \frac{13}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 32,08 \text{ A},$$

$$I_p (38 \dots 39) = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,4 \cdot 0,9} = 60,14 \text{ A}.$$

Расчетный ток светотехники рассчитаем по формуле:

$$I_p (i) = \frac{P_{н.i}}{U_n \cdot \cos \varphi_i \cdot \eta_i}, \quad (7.2)$$

$$I_p (\text{Светильник №1}) = \frac{54}{230 \cdot 0,96 \cdot 0,95} = 0,26 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Светильник №2}) = \frac{67}{230 \cdot 0,96 \cdot 0,95} = 0,32 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Светильник №3}) = \frac{95}{0,23230 \cdot 0,96 \cdot 0,95} = 0,45 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Светильник №4}) = \frac{56}{230 \cdot 0,96 \cdot 0,95} = 0,27 \text{ A},$$

$$I_p (\text{Табличка}) = \frac{10}{230 \cdot 0,96 \cdot 0,95} = 0,05 \text{ A}.$$

Составим таблицу (таблица 7.1) с распределением освещения каждого помещения по фазам и расчетным током.

Таблица 7.1 – Распределение светотехники по фазам

Наименование помещения	I_p , А	Фаза
ЩО-1		
Трансформаторная	0,32	В
Бытовка 2	0,64	С
Административное помещение	1,28	А

Продолжение таблицы 7.1

Инструментальная	0,64	С
Станочное отделение 2	13,5	А, В, С
Улица	1,08	А, В
Таблички	0,1	А, В
ЩО-2		
Вентиляционная	0,26	А
Бытовка 1	0,96	В
Склад	0,26	В
Сварочная	1,28	С
Станочное отделение 1	13,5	А, В, С

Теперь необходимо выбрать выключатель для каждой кабельной линии.

Для этого нужно определить ток расцепителя.

Для КЛ с одним ЭД, найдем ток по формуле:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_p. \quad (7.3)$$

Для КЛ с группой ЭД, найдем ток по формуле:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (7.4)$$

Для КЛ без ЭД, найдем ток по формуле:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р} \geq I_p. \quad (7.5)$$

Определим ток уставки по формуле:

$$I_{y(п)} = I_{н.р} \cdot K_{y(п)} \quad (7.6)$$

Кабели найдем согласно допустимому току нагрева по формуле, считая, что у нас не пожароопасные помещения:

$$I_{доп} \geq I_{y(п)}. \quad (7.7)$$

Найдя токи, округлим их до номинальных значений.

Затем запишем все в таблицу 7.2.

Рассчитаем максимальный ток кабельной линии на 0,4 и 10 кВ по формуле:

$$I_{\text{макс}} = \frac{K_3 \cdot S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (7.8)$$

$$I_{\text{макс.вн}} = \frac{1,4 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 6} = 21,55 \text{ А},$$

$$I_{\text{макс.нн}} = \frac{1,4 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 323,32 \text{ А}.$$

Рассчитаем сечение кабеля с условием медной жилы, изоляции из полиэтилена и $T_M = 3000 \dots 5000$ ч. по формуле:

$$F = \frac{I_{\text{макс.вн}}}{j_{\text{эк}}}, \quad (7.9)$$

$$F = \frac{21,55}{2,5} = 8,62 \text{ мм}^2.$$

Необходим кабель марки ПвБП, при этом подобные марки и похожие на данный момент производят сечением от 35 мм².

Поэтому с сайта продавца [26] будет выбрано два кабеля ПвБП 3x35 длиной 1000 метров каждый, так как расстояние между цеховой ТП и ГПП

всего 900 метров и необходимо взять кабель с запасом. С этого же сайта будут выбраны кабели для внутреннего электроснабжения

Таблица 7.2 - Выбор сечения кабелей и автоматических выключателей

Точка А	Точка Б	I_p , А	$I_{н.р.}$, А	Автомат	$K_{у(тр)}$	$K_{у(ЭМР)}$	$I_{откл.}$, кА	$I_{н.а.}$, А / $I_{н.р.}$, А	I_y , А	$I_{доп.}$, А	Количество жил и сечение
1, 2	ШРА-1	110,26	137,83	ВА 52-33	1,25	10	35	160 / 160	200	242	4x95
3...5		62,12	77,65	ВА 52-31	1,25	7	7	100 / 80	100	104	4x25
6...8		18,5	23,13	ВА 51-25	1,2	7	3	25 / 25	30	33	4x4
9...11		86,36	107,95	ВА 52-33	1,25	10	12,5	160 / 125	156,25	196	4x70
12...14		27,39	34,24	ВА 52-31	1,2	7	6	100 / 40	48	58	4x10
15...17	ШРА-2	9,28	11,6	ВА 51-25	1,2	7	2,5	25 / 12,5	15	19	4x1,5
18, 19		19,12	23,9	ВА 51-25	1,2	7	3	25 / 25	30	33	4x4
20...25		40,76	50,95	ВА 52-31	1,2	7	6	100 / 63	75,6	78	4x16
26, 27		71,55	89,44	ВА 52-31	1,25	7	7	100 / 100	125	127	4x35
28...30		13,32	16,65	ВА 51-25	1,2	7	3	25 / 16	19,2	25	4x2,5
31...34		22,5	28,13	ВА 52-31	1,2	7	6	100 / 31,5	37,8	42	4x6
35...37		32,08	40,1	ВА 52-31	1,2	7	6	100 / 50	60	78	4x16
Вентиляционная	ЩО-2	0,26	0,26	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 0,3	0,36	21	3x1,5
Бытовка 1		0,96	0,96	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 1	1,2	21	3x1,5
Склад		0,26	0,26	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 1	1,2	21	3x1,5
Сварочное отделение		1,28	1,28	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 1,6	1,92	21	3x1,5

Продолжение таблицы 7.2

Станочное отделение 1	ЩО-2	13,5	13,5	ВА 51-25	1,2	7	3	25 / 16	19,2	25	3x2,5
Трансформаторная	ЩО-1	0,32	0,32	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 0,4	0,48	21	3x1,5
Бытовка 2		0,64	0,64	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 0,8	0,96	21	3x1,5
Административное помещение		1,28	1,28	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 1,6	1,92	21	3x1,5
Инструментальная		0,64	0,64	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 0,8	0,96	21	3x1,5
Станочное отделение 2		13,5	13,5	ВА 51-25	1,2	7	3	25 / 16	19,2	25	3x2,5
Первый вход-выход		1,18	1,18	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 1,25	1,5	21	3x1,5
Второй вход-выход		1,18	1,18	ВА 51-25	1,2	14	3	25 / 1,25	1,5	21	3x1,5
ШТА-1, ШТА-2		РП-1	60,14	66,2	ВА 52-31	1,25	7	7	100 / 80	100	104
РП-1	ШНН	33,25	36,6	ВА 52-31	1,2	7	6	100 / 40	48	58	4x10
ШРА-1	ШНН	307,5	338,3	ВА 53-37	1,25	7	20	400 / 400	500	2x280	2x(4x120)
ШРА-2	ШНН	121,33	133,5	ВА 52-33	1,25	10	12,5	160 / 160	200	242	4x95
ЩО-1	ШНН	6,4	6,4	ВА 51-25	1,2	10	2	25 / 8	9,6	19	5x1,5
ЩО-2	ШНН	5,6	5,6	ВА 51-25	1,2	10	2	25 / 6,3	7,56	19	5x1,5
ШНН	T1, T2	323,32	355,7	ВА 51-37	1,25	10	30	400 / 400	500	2x280	2x(5x120)

8 Расчет коротких замыканий

Необходимо рассчитать короткие замыкания на линии до самого удаленного и мощного ЭП в нескольких точках, где устанавливаются выключатели. Самым мощным является «Вентилятор ВРП 115-45 №10».

Это необходимо для того, чтобы проверить автоматические выключатели и рассчитать защиту силового трансформатора.

Расчеты будут проводиться в соответствии с литературой [10, 14, 20, 23, 27]. А данные по сопротивлениям для выключателей, трансформаторам и шинпроводам будут взяты из справочных материалов [12]. Сопротивление кабелей будут взяты с сайта [28].

Изобразим расчетную схему на рисунке 8.1.

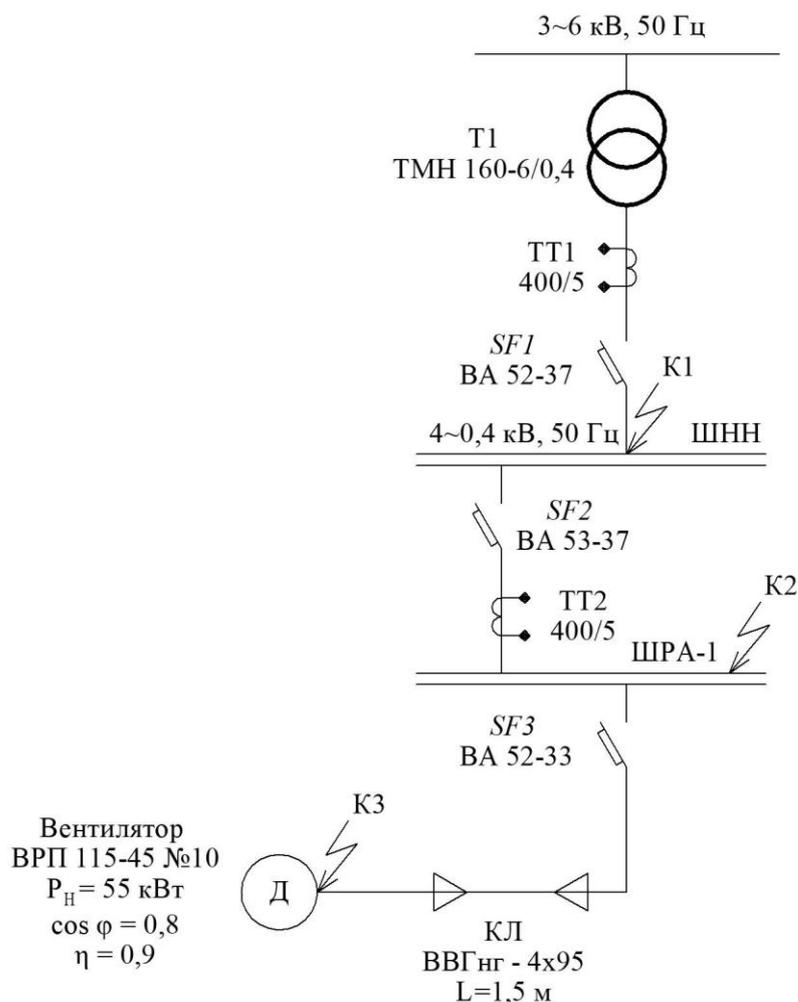


Рисунок 8.1 – Расчетная схема короткого замыкания

Затем изобразим схему замещения данной схема на рисунке 8.2.

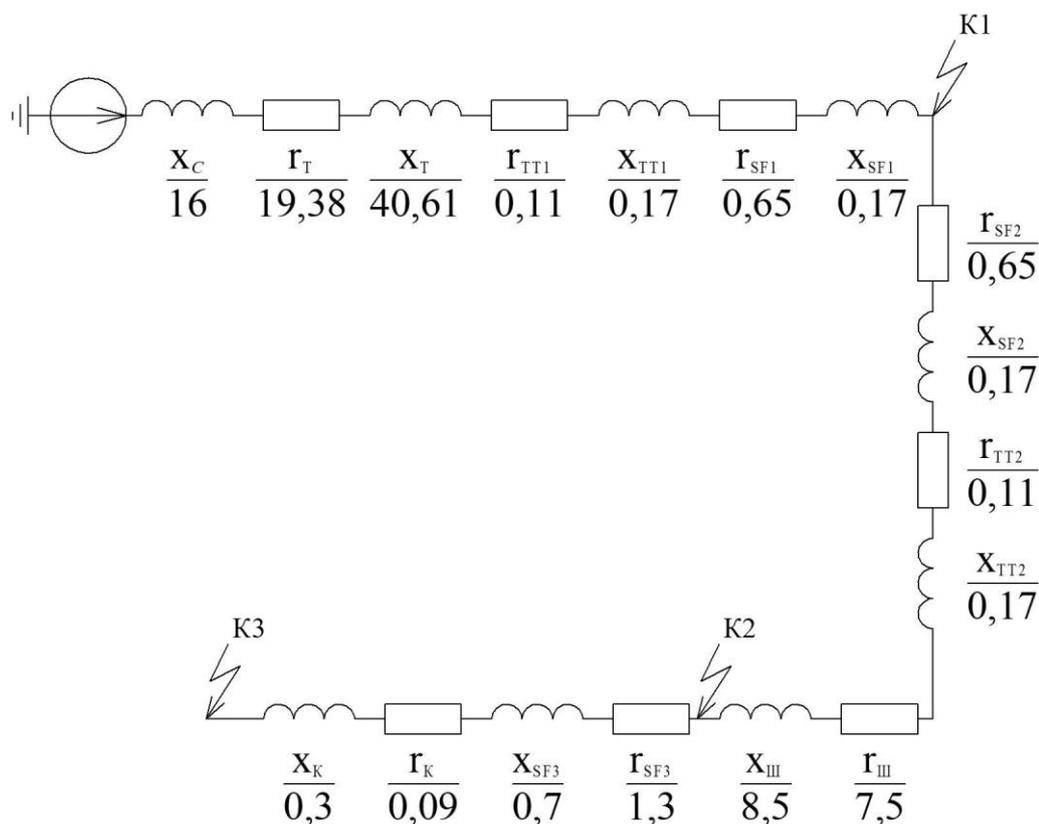


Рисунок 8.2 – Схема замещения расчетной схемы

Теперь необходимо найти сопротивления каждого элемента.

Составим таблицы (таблица 8.1, 8.2, 8.3) с начальными данные.

Таблица 8.1 – Необходимые данные по трансформатору

S_H , кВА	U_{K3} , %	ΔP_{K3} , кВт
160	4,5	3,1

Таблица 8.2 – Сопротивление выключателей и трансформаторов тока

Наименование	ТТ1	ТТ2	SF1	SF2	SF3
Активное сопротивление, мОм	0,11	0,11	0,65	0,65	1,3
Реактивное сопротивление, мОм	0,17	0,17	0,17	0,17	0,7

Таблица 8.3 – Удельное сопротивление кабелей и шин

Наименование	ВВГнг 4х95	ШРА-1
Активное удельное сопротивление	0,0602 мОм/км	0,15 мОм/м
Реактивное удельное сопротивление	0,195 мОм/км	0,17 мОм/м
Длина, м	≈ 1,3...1,5	≈ 45...50

Найдем сопротивление системы по формуле:

$$x_C = \frac{U_6^2}{S_K} \cdot 10^3, \quad (8.1)$$

$$x_C = \frac{0,4^2}{10} \cdot 10^3 = 16 \text{ мОм.}$$

Найдем сопротивления трансформатора по формулам:

$$z_T = \frac{U_{кз}}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_H} \cdot 10^3, \quad (8.2)$$

$$z_T = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{0,16} \cdot 10^3 = 45 \text{ мОм,}$$

$$r_T = \Delta P_{кз} \cdot \frac{U_6^2}{S_H^2} \cdot 10^3, \quad (8.3)$$

$$r_T = 0,0031 \cdot \frac{0,4^2}{0,16^2} \cdot 10^3 = 19,38 \text{ мОм,}$$

$$x_T = \sqrt{z^2 - r^2}, \quad (8.4)$$

$$x_T = \sqrt{45^2 - 19,38^2} = 40,61 \text{ мОм.}$$

Найдем сопротивление кабельной линии по формулам:

$$r_K = \frac{1}{n} \cdot r_0 \cdot l, \quad (8.5)$$

$$r_K = \frac{1}{1} \cdot 0,0602 \cdot 0,0015 = 0,09 \text{ мОм,}$$

$$x_K = \frac{1}{n} \cdot x_0 \cdot l, \quad (8.6)$$

$$x_K = \frac{1}{1} \cdot 0,195 \cdot 0,0015 = 0,3 \text{ мОм.}$$

Найдем сопротивление шинпровода по формулам:

$$r_{III} = r_0 \cdot l, \quad (8.7)$$

$$r_{III} = 0,15 \cdot 50 = 7,5 \text{ мОм,}$$

$$x_{III} = x_0 \cdot l, \quad (8.8)$$

$$x_{III} = 0,17 \cdot 50 = 8,5 \text{ мОм.}$$

Найдем активное и реактивное сопротивление каждой точки короткого замыкания по формулам:

$$r_1 = r_T + r_{TT1} + r_{SF1}, \quad (8.9)$$

$$r_1 = 19,38 + 0,11 + 0,65 = 20,14 \text{ мОм,}$$

$$x_1 = x_C + x_T + x_{TT1} + x_{SF1}, \quad (8.10)$$

$$x_1 = 16 + 40,61 + 0,17 + 0,17 = 56,95 \text{ мОм,}$$

$$r_2 = r_1 + r_{SF2} + r_{TT2} + r_{III}, \quad (8.11)$$

$$r_2 = 20,14 + 0,65 + 0,11 + 7,5 = 28,4 \text{ мОм,}$$

$$x_2 = x_1 + x_{SF2} + x_{TT2} + x_{III}, \quad (8.12)$$

$$x_2 = 56,95 + 0,17 + 0,17 + 8,5 = 65,79 \text{ мОм,}$$

$$r_3 = r_2 + r_{SF2} + r_K, \quad (8.13)$$

$$r_3 = 28,4 + 1,3 + 0,09 = 29,79 \text{ мОм,}$$

$$x_3 = x_2 + x_{SF2} + x_K, \quad (8.14)$$

$$x_3 = 65,79 + 0,7 + 0,3 = 66,79 \text{ мОм.}$$

Найдем полное сопротивление каждой точки по формуле:

$$z_i = \sqrt{r_i^2 + x_i^2}, \quad (8.15)$$

$$z_1 = \sqrt{20,14^2 + 56,95^2} = 60,41 \text{ мОм},$$

$$z_2 = \sqrt{28,4^2 + 65,79^2} = 71,66 \text{ мОм},$$

$$z_3 = \sqrt{29,79 + 66,79^2} = 73,13 \text{ мОм}.$$

Найдем ток 3-фазного КЗ по формуле:

$$I_{ki} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot z_i}, \quad (8.16)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 60,41} = 3,82 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 71,66} = 3,22 \text{ кА},$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 73,13} = 3,2 \text{ кА}.$$

Так как токи КЗ меньше, чем максимальный ток отключения, то наши автоматические выключатели выдержат этот ток и смогут разомкнуть цепь.

Заключение

В результате выпускной квалификационной работы был произведен расчет внутрицехового электроснабжения ремонтно-механического производства.

Для начала с сайтов ближайших производителей оборудования по России было выбрано необходимый тип оборудования и взяты его паспортные данные.

Затем был произведен расчет освещения всего производства с учетом первого и второго этажей. При этом вся светотехника равномерна распределена по фазам.

После этого был произведен расчет общей нагрузки всего оборудования и светотехники с учетом коэффициентов.

В следующем пункте было необходимо выбрать силовые трансформаторы и компенсирующие установки из технико-экономического соображения. Ими стали два ТМГ 160-6/0,4.

После этого была выбрана схема электроснабжения, разделение всей нагрузки по шинам силовых трансформаторов поровну учитывая номинальные значения. А также разделения освещения на два щитка и перерасчет светотехники по фазам.

Затем были выбраны необходимые кабели для питания трансформаторов от ГПП на 6 кВ типа «ПвБП» и кабели для внутрицехового электроснабжения типа «ВВГнг».

В конце рассчитан 3-хфазные ток короткого замыкания в трёх точках до самого мощного и удаленного ЭП.

Параллельно работе начерчены шесть чертежей А1.

Список используемых источников

1. ООО «Вент-Электро» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lufter.ru> (дата обращения 8.03.2020)
2. АО «Московский станкостроительный завод - Салют» [Электронный ресурс]. URL: <http://msz-salut.ru/> (дата обращения 8.03.2020)
3. АО «СТП - Липецкое станкостроительное предприятие» [Электронный ресурс]. URL: <http://lipstan.ru/> (дата обращения 8.03.2020)
4. ООО «Самарский станкозавод» [Электронный ресурс]. URL: <http://skgm.ru/> (дата обращения 8.03.2020)
5. АО «Научно-производственная фирма «Инженерный и технологический сервис»» [Электронный ресурс]. URL: [https:// http://www.npfets.ru/](https://http://www.npfets.ru/) (дата обращения 9.03.2020)
6. ООО «Станконово» [Электронный ресурс]. URL: <http://stankonova.ru/> (дата обращения 9.03.2020)
7. ООО «Московский завод навесного оборудования» [Электронный ресурс]. URL: <http://mzno.ru/> (дата обращения 9.03.2020)
8. ООО «Владимирский станкостроительный завод» [Электронный ресурс]. URL: <http://vzfs.ru/> (дата обращения 9.03.2020)
9. ООО «Грузоподъем» [Электронный ресурс]. URL: <https://грузоподъем.рф/> (дата обращения 9.03.2020)
10. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
11. Справочный источник. [Электронный ресурс]. URL: <https://mydocx.ru/11-73640.html> (дата обращения 10.03.2020)
12. Справочный источник. [Электронный ресурс]. URL: <https://online-electric.ru> (дата обращения 10.03.2020)
13. Вахнина В.В. Проектирование осветительных установок: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015.

14. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения. Электронное учебное пособие/ Вахнина В.В., Черненко А.Н. Тольятти: ТГУ, 2016. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>
15. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. Введ. 1996-01-01. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.
16. Продавец различного оборудования «ЛУИС+». [Электронный ресурс]. URL: <https://luis.ru> (дата обращения 12.04.2020)
17. Вахнина В. В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 67 с.
18. ООО «Тольяттинский трансформатор». [Электронный ресурс]. URL: <https://transformator.com.ru> (дата обращения 12.04.2020)
19. Торговая электротехническая компания «Энергозапад». [Электронный ресурс]. URL: <http://energozapad.ru> (дата обращения 12.04.2020)
20. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015. 330 с.
21. ГОСТ Р54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2012.
22. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014.
23. РД 153-34.0-20.527-98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: под ред. Б.Н. Неклепаева. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2015. 152 с
24. Chapter IV - System Planning, Design, Construction, and Protection, 2008. 739 p.

25. Substations Fire Protection and Detection Standard, 2010. 328p.
26. Справочный источник по кабелям. [Электронный ресурс].
URL: <https://cable.ru> (дата обращения 23.04.2020)
27. Protection of Electricity Distribution Networks; The 3rd Edition. The Institution of Engineering and Technology Juan M. Gers & Edward J. Holmes, 2011. 529p.
28. San Diego gas & electric company east county substation project avian protection plan, 2013. 483p.
29. Gazi University Journal of Science, 2016. 276 p.
30. Справочник по кабелям и продавцам. [Электронный ресурс].
URL: <https://k-ps.ru> (дата обращения 23.04.2020)

Приложение А

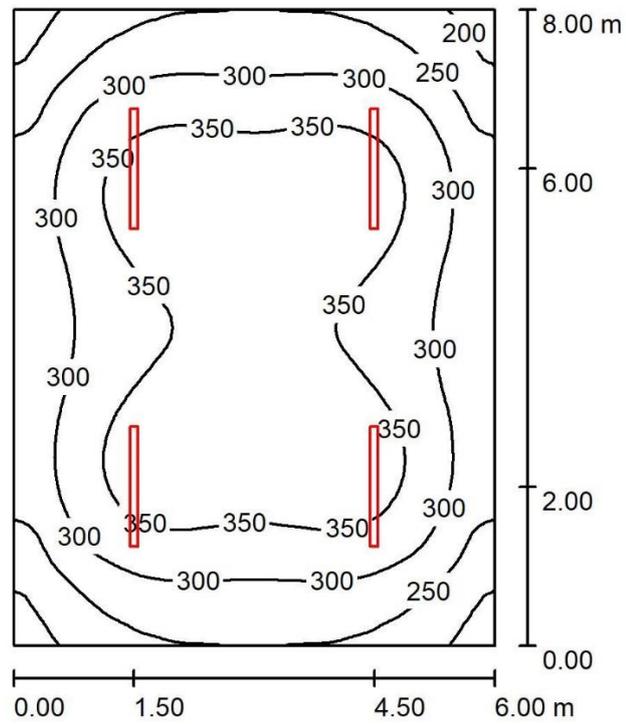


Рисунок А.1 – Административное помещение

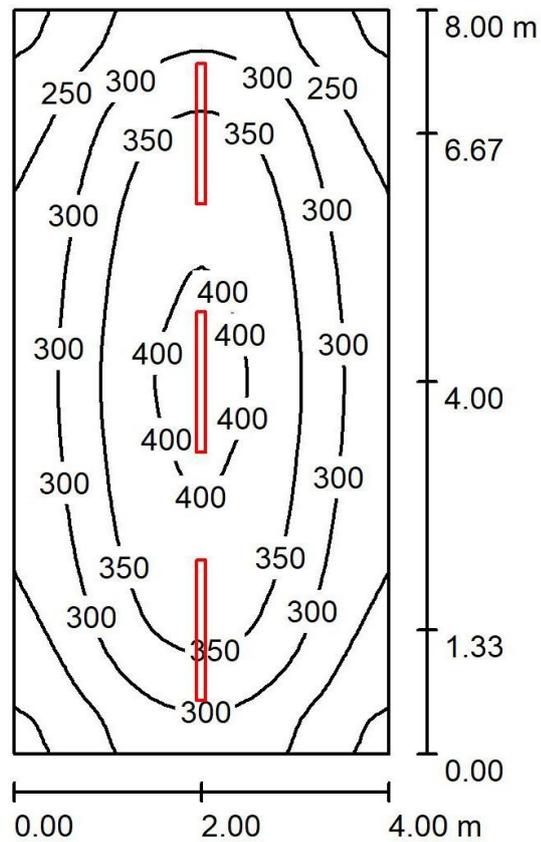


Рисунок А.2 – Бытовка 1

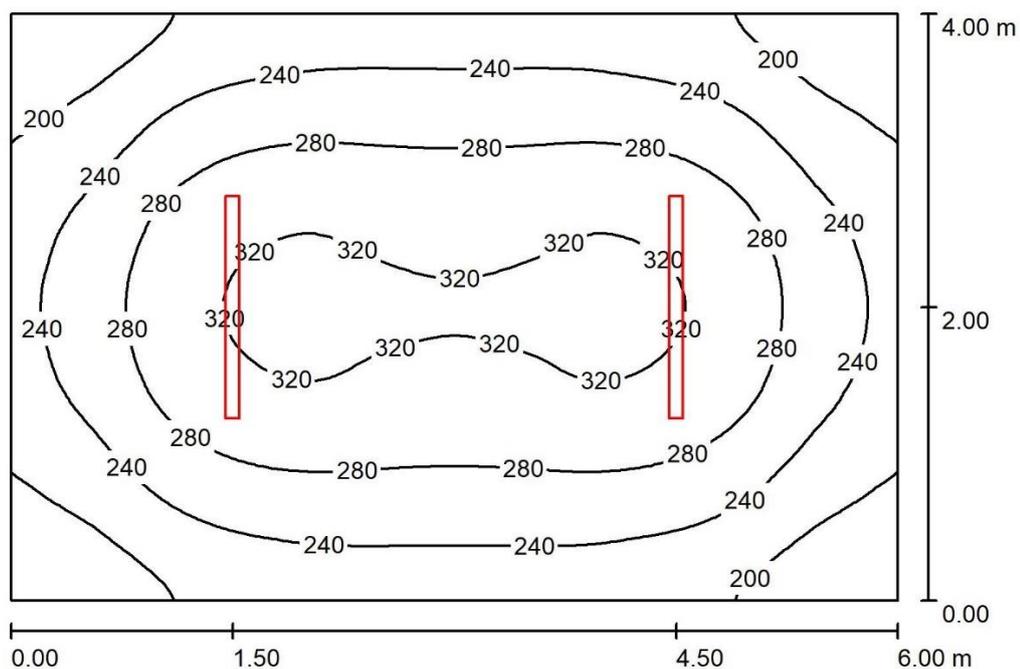


Рисунок А.3 – Бытовка 2

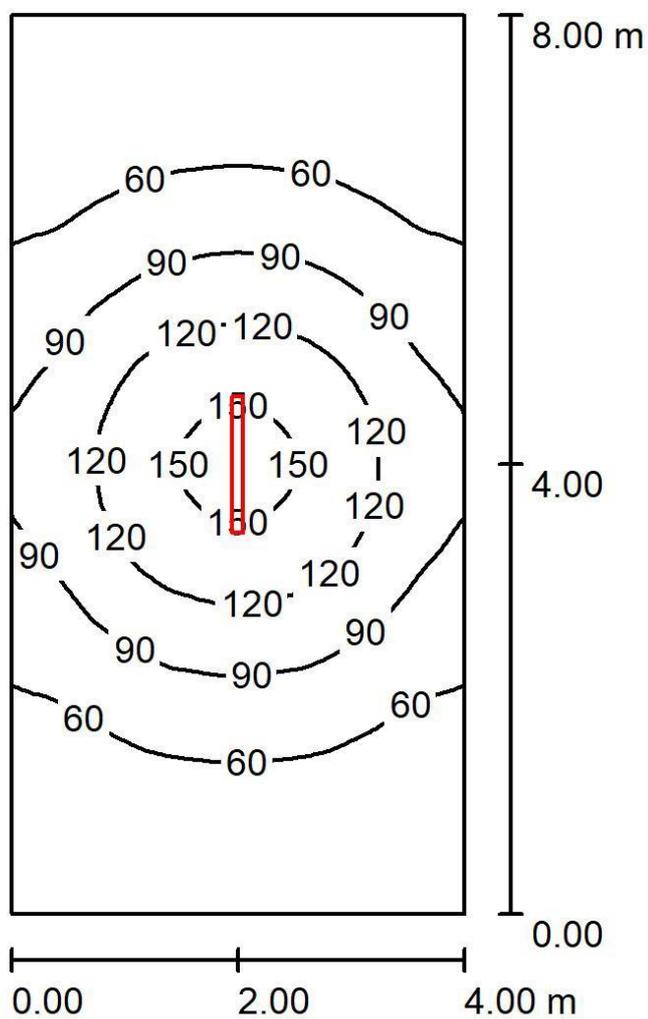


Рисунок А.4 – Вентиляционная

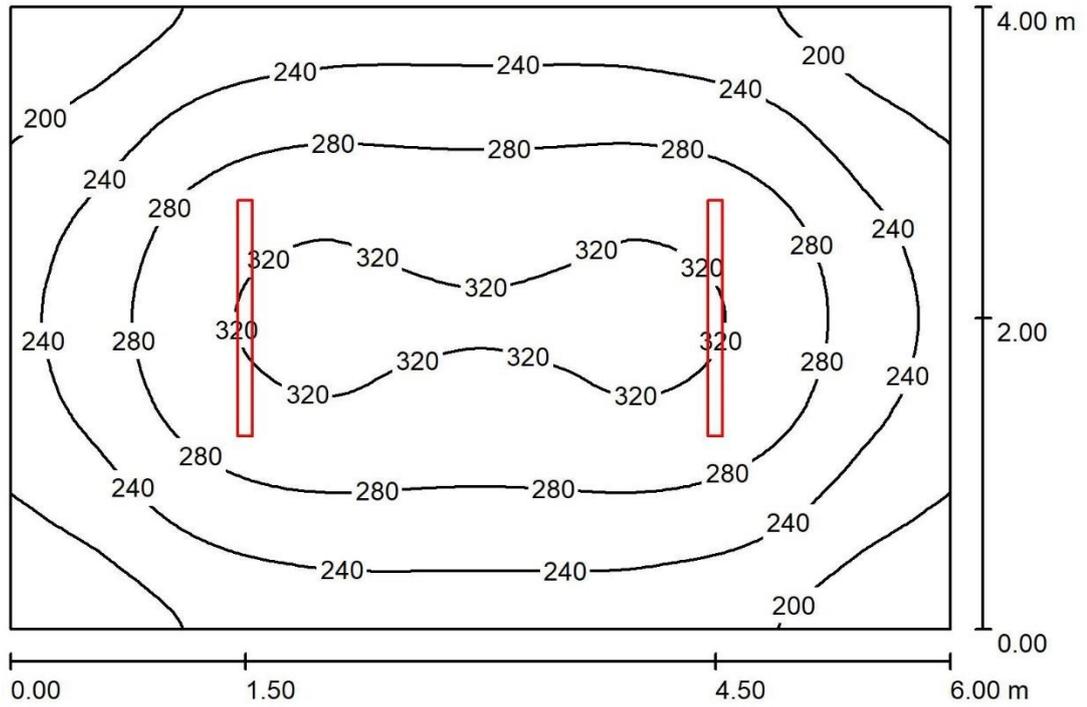


Рисунок А.5 – Инструментальная

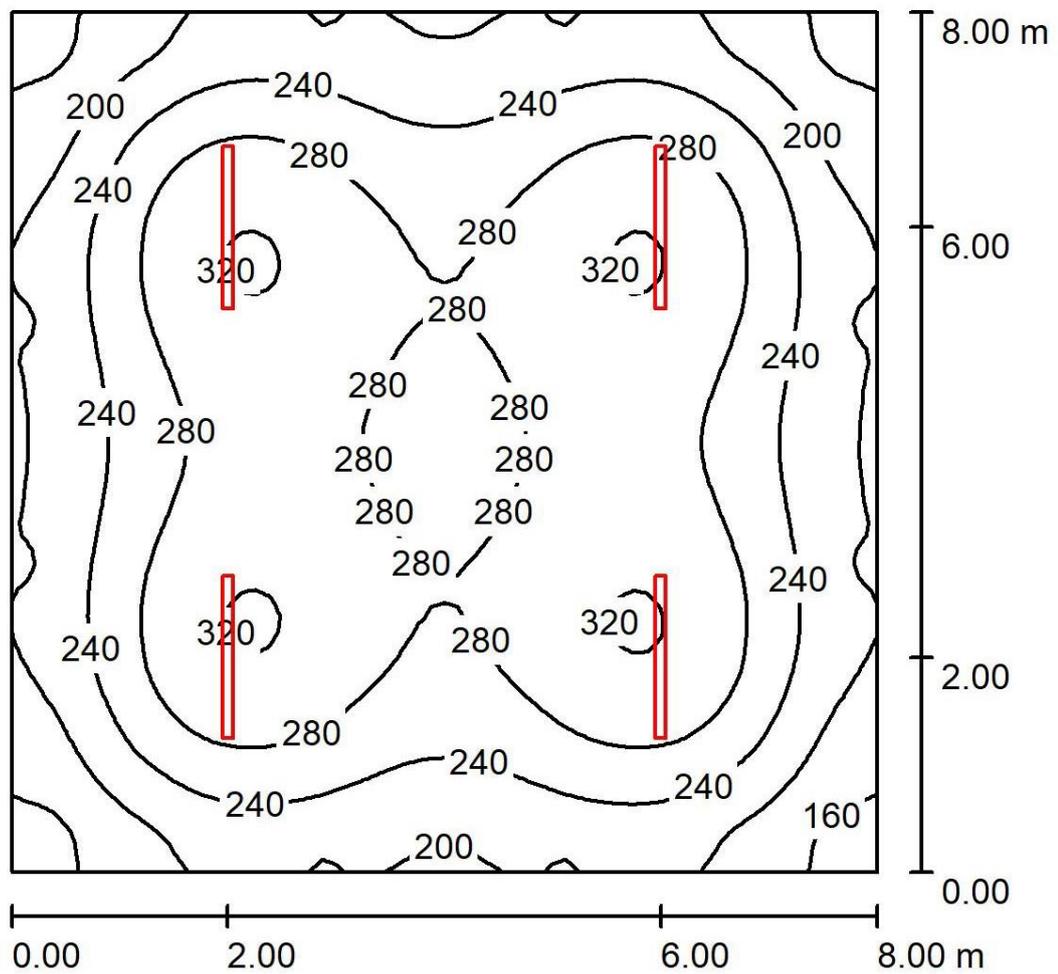


Рисунок А.6 – Сварочная

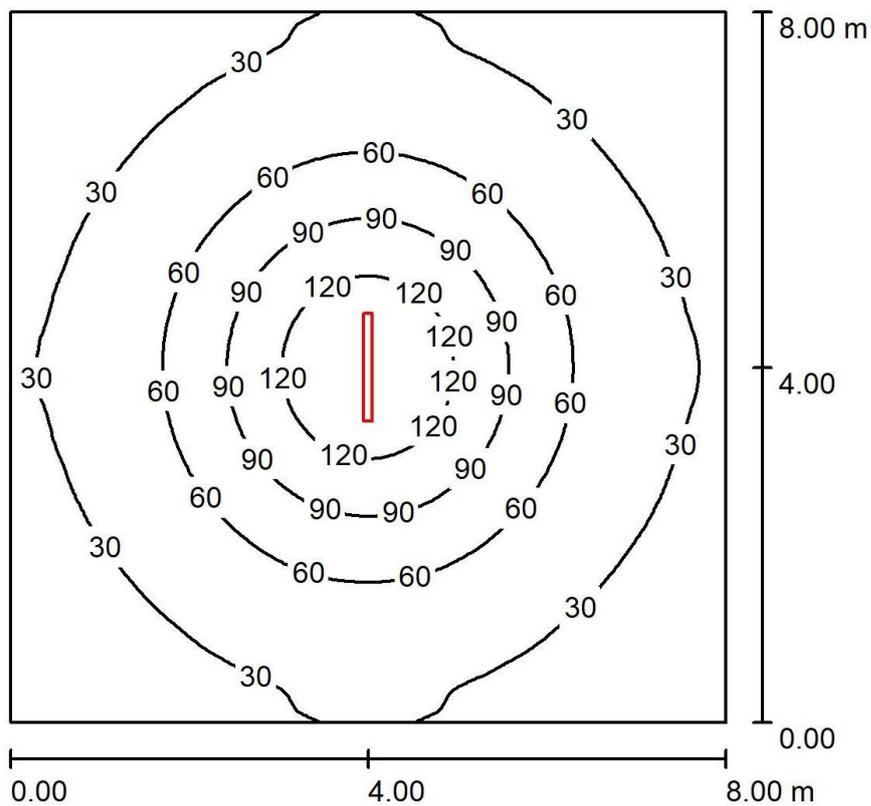


Рисунок А.7 – Склад

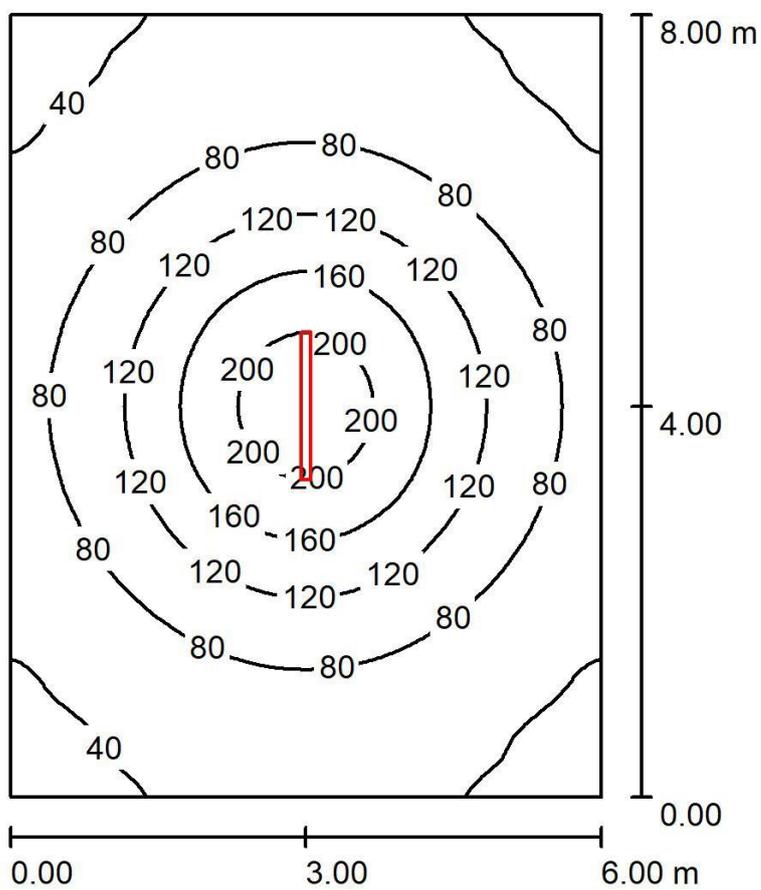


Рисунок А.8 – Трансформаторная

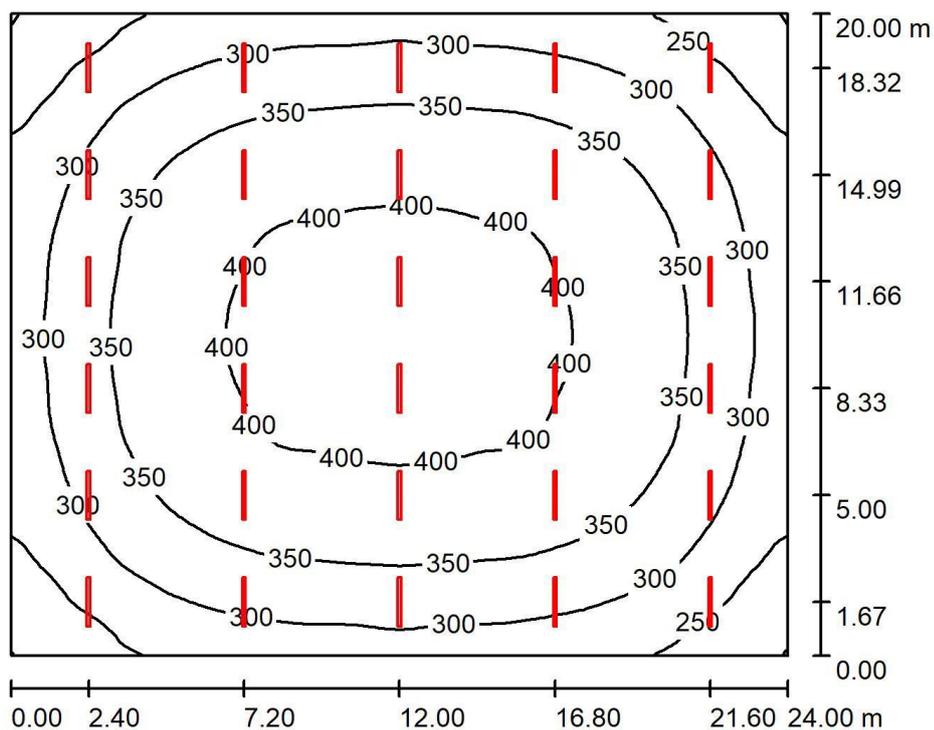


Рисунок А.9 – Станочное отделение 1

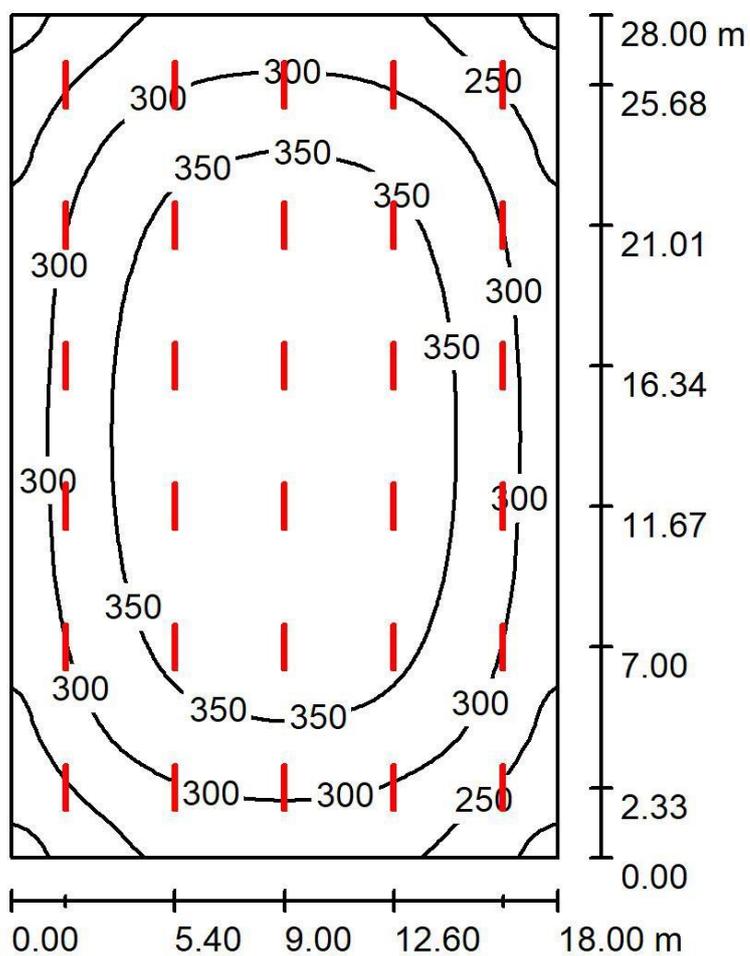


Рисунок А.10 – Станочное отделение 2