

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 производства металлоизделий»

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

## Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе расписан выбор и расчет необходимого оборудования в виде силовых трансформаторов, КУ, шинопроводов, распределительных пунктов, выключателей, кабелей, трансформаторов тока, а также схемы систем электроснабжения для электроснабжения электрооборудования и электрохозяйства производства металлоизделий.

Данная работа состоит из записки и шести чертежей А1.

Записка же написана на 44 страницах, которые имеют 10 таблиц и 3 рисунка.

Записка состоит из таких разделов и подразделов, как:

- Введение,
- Данные по производству металлоизделий,
- Расчет нагрузки цеха,
- Выбор КУ и трансформаторов с учетом компенсации,
- Выбор системы и схемы электроснабжения внутри цеха,
- Расчет распределенной нагрузки ЭП по щитам и шинам,
- Расчет нагрузки освещения,
- Выбор необходимых кабелей, выключателей и трансформаторов тока,
- Расчет номинального тока каждого оборудования и силового трансформатора,
- Расчет и выбор выключателей,
- Расчет и выбор кабелей, шинопроводов,
- Расчет токов коротких замыканий,
- Заключение,
- Список используемых источников.

## **Abstract**

The title of the senior thesis is «Electrical equipment and electrical equipment for metal production».

The work touches upon: how best to design the power supply considering the load distribution so that this system is the most economical, safe and reliable.

The object of the senior thesis is the metal shop, which has only the parameters of height, length and width, as well as the proposed list of equipment with its load.

The senior thesis consists of an explanatory note on 44 pages, introduction, including 3 figures, 11 tables, the list of 20 references including 5 foreign sources and 1 appendices, and the graphic part on 6 A1 sheets.

Much attention is given to paid to the load distribution, in particular single-phase, and to the power supply scheme, since it is necessary to choose the best way to power the equipment so that it is reliable, economical and aesthetic, while choosing the necessary busbars and distribution points.

It can be concluded that the calculated and selected system of internal shop power supply is fully suitable and meets the basic requirements for a power supply system.

This means that there is a safe and reliable power supply for the entire workshop as a whole, including basic equipment and lighting.

## Содержание

Введение.....	5
1 Данные по производству металлоизделий.....	6
2 Расчет нагрузки цеха.....	8
3 Выбор КУ и трансформаторов с учетом компенсации.....	17
4 Выбор системы и схемы электропитания внутри цеха.....	24
4.1 Расчет распределенной нагрузки ЭП по щитам и шинам.....	24
4.2 Расчет нагрузки освещения.....	27
5. Выбор необходимых кабелей, выключателей и трансформаторов тока.....	28
5.1 Расчет номинального тока каждого оборудования и силового трансформатора.....	28
5.2 Расчет и выбор выключателей.....	31
5.3 Расчет и выбор кабелей, шинопроводов.....	33
6 Расчет токов коротких замыканий.....	37
Заключение.....	42
Список используемой литературы.....	43
Приложение А.....	45

## Введение

Современный мир невозможно представить без электроэнергии. И самым главным потребителем в нем являются заводы и промышленные предприятия.

А с учетом того, что сейчас технологический процесс идет намного быстрее чем в 20 веке, можно прийти к выводу, что потребление будет только возрастать все больше и больше.

Поэтому одной из главных задач является спроектировать хорошую систему внутризаводского и внутрицехового электроснабжения.

В результате выдвигаются следующие требования:

- Безопасное электроснабжение,
- Надежное электроснабжение,
- Экологичное электроснабжение,
- Удобное электроснабжение,
- Не дорогое электроснабжение.

То есть при проектировании системы электроснабжения руководствуются данными требованиями, но при этом необходимо провести следующие расчеты, чтобы выполнить эти требования и спроектировать хорошую систему:

- Расчет нагрузки оборудования цеха,
- Расчет освещения цеха,
- Выбор мощности и количества силовых трансформаторов с КУ для компенсации паразитной реактивной мощности,
- Выбор основной схемы электроснабжения,
- Выбор оборудования для электроснабжения,
- Расчет токов короткого замыкания для проверки оборудования.

В связи с этим темой бакалаврской работы стало провести электроснабжение к электрооборудованию и электрохозяйству ремонтно-механического производства.

## 1 Данные по производству металлоизделий

Цех металлоизделий является одним из цехов завода тяжелого машиностроения. В цехе предусмотрены следующие помещения и отделения:

- Термическое отделение,
- Станочное отделение,
- Комната отдыха,
- Инструментальная,
- Вентиляционная,
- Щитовая,
- ТП,
- Склад,
- Бытовка.

Электроснабжение происходит от цеховой трансформаторной подстанции, являющаяся частью цеха. Цех расположен на расстоянии 1,6 км от подстанции глубокого ввода, которая питает весь завод.

Напряжение со стороны энергосистемы 35 кВ, а питание цеховых ТП происходит при напряжении 10 кВ. От энергосистемы до ПГВ - 15 км.

Количество рабочих смен - 2.

Потребители ЦМ по надежности электроснабжения - 2 и 3 категории.

Все помещения, кроме отделений, двухэтажные высотой 4 м.

Перечисли оборудование цеха:

- Кран мостовой (№ 1, 31, 42),  $P_{\text{пасп}} = 25$  кВт, ПВ = 25%,
- Продольно-строгальные станки (№ 2, 3, 14),  $P_{\text{пасп}} = 12,2$  кВт,
- Плоскошлифовальные станки (№ 15...17),  $P_{\text{пасп}} = 3$  кВт, 1-фазные,
- Токарно-револьверные станки (№ 4...8, 32...35, 39...41),  $P_{\text{пасп}} = 15$  кВт,
- Токарные станки (№ 9...13),  $P_{\text{пасп}} = 15$  кВт,
- Вертикально-сверлильные станки (№ 18, 19),  $P_{\text{пасп}} = 25$  кВт, 1-фазные,
- Расточный станок (№ 20),  $P_{\text{пасп}} = 13$  кВт,

- Фрезерные станки (№ 2021, 22),  $P_{\text{пасп}} = 8 \text{ кВт}$ ,
- Радиально-сверлильные станки (№ 23, 24),  $P_{\text{пасп}} = 9,5 \text{ кВт}$ ,
- Электрическая печь сопротивления (№ 25),  $P_{\text{пасп}} = 60 \text{ кВт}$ ,
- Электрические печи индукционные (№ 26, 27),  $P_{\text{пасп}} = 24 \text{ кВт}$ ,
- Электродуговые печи (№ 28...30),  $P_{\text{пасп}} = 50 \text{ кВт}$ ,
- Вентиляторы (№ 36...38),  $P_{\text{пасп}} = 15 \text{ кВт}$ .

Расположение основного оборудования показано на плане (рисунок 1.1).

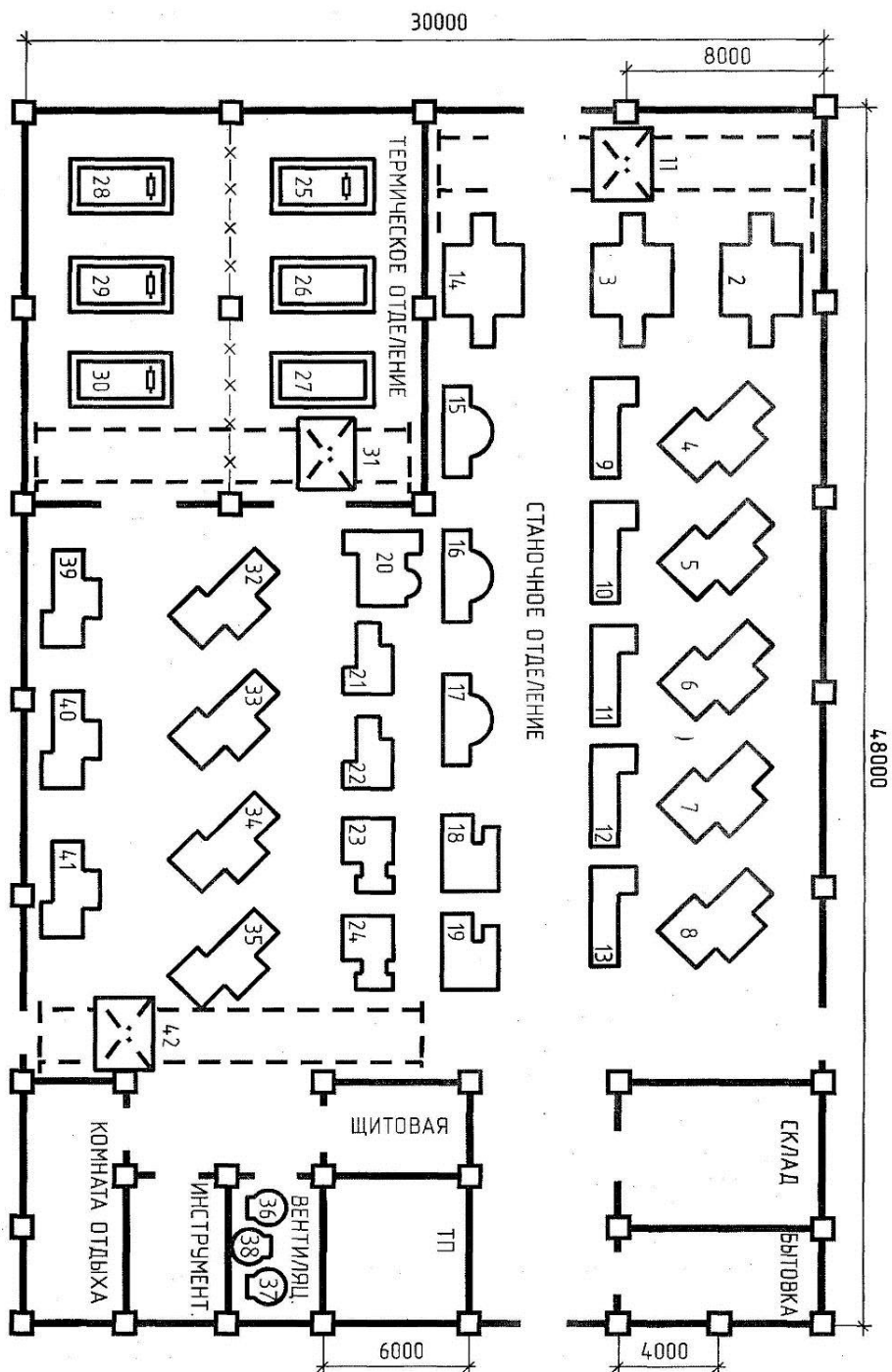


Рисунок 1.1 – Генеральный план цеха



## 2 Расчет нагрузки цеха

Для начала необходимо рассчитать освещение цеха.

Цех состоит из основных помещений и вспомогательных, которые выходят прямо к основным. Коридоров, как правило, не имеется.

Освещение есть основное и аварийное. Так как не имеется коридоров, а основные помещения достаточно большие и открытые, то аварийное освещение может состоять лишь из табличек с обозначением выхода.

При расчете необходимо использовать литературу [1-5]

На данный момент самым экономичным вариантом являются светодиодные светильники, так как они потребляют мало, но при этом позволяют хорошо освещать помещения.

Так как имеются помещения различных размеров, то рационально выбрать разных размеров и мощностей, что подобрать идеальное освещение для каждого помещения.

Светильник будет выбран с сайта по продаже [6].

Данные по светильникам занесем в таблицу 2.1, а данные по помещениям в таблицу 2.2.

Таблица 2.1 – Параметры светодиодного светильника

Наименование	HB LED 152 D100 5000K
Мощность, кВт	0,153
Напряжение, кВ	0,23
Световой поток, лм	15510
Длина, мм	463
Ширина, мм	220

Таблица 2.2 – Данные по помещениям

Помещение	Этаж	Высота, м	Длина, м	Ширина, м
Станочное отделение	1	8	32	40
Термическое отделение	1	8	16	16
Склад	1	4	8	6
Склад	2	4	8	6
Бытовка	1	4	8	4
Бытовка	2	4	8	4
Щитовая	1	4	6	4
Щитовая	2	4	6	4
ТП	1	4	6	6
ТП	2	4	6	6
Комната отдыха	1	4	4	10
Комната отдыха	2	4	4	10
Инструментальная	1	4	4	6
Инструментальная	2	4	4	6
Вентиляционная	1	4	4	6
Вентиляционная	2	4	4	6

Теперь необходимо провести расчеты освещения.

Провести расчет можно при помощи формул или при помощи программы DIALux 4.12 Light. Более точное значение можно получить при помощи программы, так как будут учитываться больше коэффициентов, включая кривую силу света.

Крепится светильнику будет напрямую к потолку. Коэффициенты отражения для всех помещений будут по стандарту:

- Для потолков 70%,

- Для стен 50%,

- Для пола 20%.

Помещения будут считать просто чистым с 3-летним циклом техобслуживания.

Составим таблицу 2.3 с нормативной освещенности для помещений, полученным освещением и количество светильников.

Таблица 2.3 – Результаты расчетов

Помещение	Количество	Необходимая освещённость, лк	Средняя расчетная освещённость, лк
Станочное отделение	34	300	301
Термическое отделение	12	300	336
Склад (1 этаж)	1	50	182
Склад (2 этаж)	1	50	182
Бытовка (1 этаж)	2	300	405
Бытовка (2 этаж)	2	300	405
Щитовая (1 этаж)	1	50	268
Щитовая (2 этаж)	1	50	268
ТП (1 этаж)	1	50	219
ТП (2 этаж)	1	50	219
Комната отдыха (1 этаж)	2	300	340
Комната отдыха (2 этаж)	2	300	340
Инструментальная (1 этаж)	2	300	493
Инструментальная (2 этаж)	2	300	493
Вентиляционная (1 этаж)	1	50	267
Вентиляционная (2 этаж)	1	50	267
Суммарное значение	66		

Теперь необходимо распределить светильники по трём фазам, но так как имеется однофазное оборудование, то его тоже нужно распределить.

Тогда нагрузка на фазу будет определяться по формуле:

$$P_i = P_{\text{осв}} \cdot n_{\text{осв}} + P_{15...17} \cdot n_{15...17} + P_{18,19} \cdot n_{18,19}, \quad (2.1)$$

$$P_A = 0,153 \cdot 66 + 3 \cdot 3 = 19,098 \text{ кВт},$$

$$P_B = 25 \cdot 1 = 25 \text{ кВт},$$

$$P_C = 25 \cdot 1 = 25 \text{ кВт}.$$

Проверим равномерность нагрузки по фазам по формуле:

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нм}}} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

$$H = \frac{25 - 19,098}{19,098} \cdot 100\% = 30,9 \%$$

Нагрузка неравномерна, так как неравномерность между наиболее нагруженной и менее нагруженной фазами больше 15%.

Поэтому определим трёхфазную нагрузку по формуле:

$$P = P_B \cdot 3 = P_C \cdot 3, \quad (2.3)$$

$$P = 25 \cdot 3 = 75 \text{ кВт}.$$

Резюме с расчетом освещения будет приложено в приложении А (рисунок А.1, А.2, А.3, А.4, А.5, А.6, А.7, А.8, А.9).

Теперь необходимо привести нагрузку с ПКР режимом работы в ДР режим. Это мостовые краны, которые необходимы для более легкого перемещения оборудования в цехе.

Определим мощность ДР по формуле:

$$P_H = P_{\text{пасп}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (2.4)$$

$$P_H = 25 \cdot \sqrt{0,25} = 12,5 \text{ кВт}.$$

После всех этих расчетов можно найти всю нагрузку производства.

Необходимо рассчитать расчетную нагрузку каждого оборудования и в общем по цеху.

Проведем пример расчета крана мостового, а потом проведем аналогичные расчеты для остального оборудования.

Определим суммарная нагрузку мостовых кранов по формуле:

$$\begin{aligned}\sum P_H &= P_H \cdot n, \\ \sum P_H &= 12,5 \cdot 3 = 37,5 \text{ кВт.}\end{aligned}\tag{2.5}$$

Определим среднесменную активную нагрузку по формуле:

$$\begin{aligned}P_C &= \sum P_H \cdot K_{И}, \\ P_C &= 37,5 \cdot 0,2 = 7,5 \text{ кВт.}\end{aligned}\tag{2.6}$$

Определим среднесменную реактивную нагрузку по формуле:

$$\begin{aligned}Q_C &= P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi, \\ Q_C &= 7,5 \cdot 1,17 = 8,78 \text{ квар.}\end{aligned}\tag{2.7}$$

После расчетов всего оборудования необходимо найти общую нагрузку.

Для этого в начале необходимо найти коэффициент использования оборудования по всему цеху по формуле:

$$\begin{aligned}\sum K_{И} &= \frac{\sum P_C}{\sum P_H}, \\ \sum K_{И} &= \frac{360,48}{755,1} = 0,48.\end{aligned}\tag{2.8}$$

Также находим  $\operatorname{tg} \varphi$  чтобы понять, насколько реактивная мощность

преобладает над активной по всему цеху по формуле:

$$\sum \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}, \quad (2.9)$$

$$\sum \operatorname{tg} \varphi = \frac{386,93}{360,48} = 1,07.$$

Определим эффективное количество ЭП:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{\text{Н.итог}}}{P_{\text{Н.макс}}}, \quad (2.10)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 755,1}{60} = 25,17.$$

Определим расчетный коэффициент (коэффициент максимума) зная эффективное количество ЭП и коэффициент использования по цеху по формуле:

$$K_p = f(K_{\text{И}}; n_{\text{э}}), \quad (2.11)$$

$$K_p = f(0,48; 25) = 0,85.$$

Определим расчетную активную мощность по формуле:

$$P_p = P_c \cdot K_p, \quad (2.12)$$

$$P_p = 360,48 \cdot 0,85 = 306,41 \text{ кВт.}$$

Определим расчетную реактивную мощность по формулам:

$$Q_p = 1,1 \cdot Q_c \text{ при } n_{\text{э}} \leq 10, \quad (2.13)$$

$$Q_p = 1,0 \cdot Q_c \text{ при } n_{\text{э}} > 10, \quad (2.14)$$

$$Q_p = 1,0 \cdot 386,93 = 386,93 \text{ квар.}$$

Определим расчетную полную мощность по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.15)$$

$$S_p = \sqrt{306,41^2 + 386,93^2} = 493,56 \text{ кВА.}$$

В конце рассчитывается расчетный ток по формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.16)$$

$$I_p = \frac{493,56}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 712,4 \text{ А.}$$

Таблица 2.4 - Сводная ведомость всей нагрузки

Наименование	n	$P_H$ , кВт	$\sum P_H$ , кВт	$K_{и}$	cos $\varphi$	tg $\varphi$	$P_{CP}$ , кВт	$Q_{CP}$ , квар	$n_{Э}$	$K_P$	$P_P$ , кВт	$Q_P$ , квар	$S_P$ , кВА	$I_P$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Кран мостовой	3	12,5	37,5	0,2	0,65	1,17	7,5	8,78	-	-	-	-	-	-
Продольно-строгальные станки	3	12,2	36,6	0,3	0,65	1,17	10,98	12,85	-	-	-	-	-	-
Токарно-револьверные станки	12	15	180	0,3	0,65	1,17	54	63,18	-	-	-	-	-	-
Токарные станки	5	15	75	0,3	0,65	1,17	22,5	26,33	-	-	-	-	-	-
Расточный станок	1	13	13	0,3	0,65	1,17	3,9	4,56	-	-	-	-	-	-
Фрезерные станки	2	8	16	0,3	0,65	1,17	4,8	5,62	-	-	-	-	-	-
Радиально-сверлильные станки	2	9,5	19	0,3	0,65	1,17	5,7	6,67	-	-	-	-	-	-
Электрическая печь сопротивления	1	60	60	0,7	0,65	1,17	42	49,14	-	-	-	-	-	-
Электрические печи индукционные	2	24	48	0,7	0,65	1,17	33,6	39,31	-	-	-	-	-	-
Электродуговые печи	3	50	150	0,7	0,65	1,17	105	122,85	-	-	-	-	-	-
Вентиляторы	3	15	45	0,9	0,9	0,48	40,5	19,44	-	-	-	-	-	-
Плоскошлифовальные станки	3	3	75	0,4	0,73	0,94	30	28,2	-	-	-	-	-	-
Вертикально-сверлильные станки	2	25							-	-	-	-	-	-



Продолжение таблицы 2.4

Освещение	66	0,153	75	0,4	0,73	0,94	30	28,2	-	-	-	-	-	-
<b>Итого</b>	108	0,153 / 60	755,1	0,48	0,68	1,07	360,48	386,93	25	0,85	306,41	386,93	493,56	712,4

### 3 Выбор КУ и трансформаторов с учетом компенсации

Расчет будет производиться, используя методические указания [7].

Как правило, в цеховых трансформаторных подстанция может ставить:

- Два трансформатора с АРВ,
- Два трансформатора без АРВ,
- Один трансформатор с резервным питанием,
- Один трансформатор.

Категория надежности цеха:

- 2 категория надежности,
- 3 категория надежности.

При данных условиях обязательно должно быть 2 независимых источника питания.

Составим таблицу 3.1 с данным по каждому варианту установки трансформаторов.

Таблица 3.1 – Данные по вариантам цеховой трансформаторной подстанции

Количество трансформаторов	1	2
Резервный кабель	Присутствует	Отсутствует
АРВ	Отсутствует	Отсутствует
Коэффициент загрузки	0,9	0,8

Для начала рассчитаем мощность трансформаторов по формуле:

$$S_T \geq \frac{P_p}{K_3 \cdot n_T}, \quad (3.1)$$
$$S_{T.1} \geq \frac{306,41}{0,9 \cdot 1} = 340,46 \text{ кВА},$$
$$S_{T.2} \geq \frac{306,41}{0,8 \cdot 2} = 191,51 \text{ кВА}.$$

Необходимо установить:

- Либо один трансформатор мощностью 400 кВА,
- Либо два трансформатора мощностью 250 кВА,
- Либо два трансформатора мощностью 160 кВА.

Подходящими являются ТМГ 400-10/0,4, ТМГ 250-10/0,4 и ТМГ 160-10/0,4, которые выбраны с сайта производителя [8].

Данные по трансформаторам запишем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Данные по трансформаторам

$n$	$S_H$ , кВА	$U_{BH}$ , кВ	$U_{HH}$ , кВ	$P_K$ , кВт	$P_{xx}$ , кВт	$u_K$ , %	$i_0$ , %
1	400	10	0,4	5,9	0,78	4,5	0,014
2	250	10	0,4	4,2	0,61	4,5	0,019
2	160	10	0,4	3,1	0,45	4,5	0,019

Определим активные потери по формуле:

$$\Delta P_T = n \cdot (\Delta P_{xx} + K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}), \quad (3.2)$$

$$\Delta P_{T.400} = 1 \cdot (1,07 + 0,9^2 \cdot 8,5) = 5,56 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{T.250} = 2 \cdot (0,61 + 0,8^2 \cdot 4,2) = 6,6 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_{T.160} = 2 \cdot (0,45 + 0,8^2 \cdot 3,1) = 4,87 \text{ кВт}.$$

Определим реактивные потери по формуле:

$$\Delta Q_T = n \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_{HT}}{100}, \quad (3.3)$$

$$\Delta Q_{T.400} = 1 \cdot (0,014 + 0,9^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{400}{100} = 14,64 \text{ квар},$$

$$\Delta Q_{T.250} = 2 \cdot (0,019 + 0,8^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{250}{100} = 14,5 \text{ квар},$$

$$\Delta Q_{T.160} = 2 \cdot (0,019 + 0,8^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{160}{100} = 9,28 \text{ квар.}$$

Определим активную нагрузку с учетом потерь по формуле:

$$P_{P,i} = P_P + \Delta P_T, \quad (3.4)$$

$$P_{P.400} = 306,41 + 5,56 = 311,97 \text{ кВт,}$$

$$P_{P.250} = 306,41 + 6,6 = 313,01 \text{ кВт,}$$

$$P_{P.160} = 306,41 + 4,87 = 311,28 \text{ кВт.}$$

Определим реактивную нагрузку с учетом потерь по формуле:

$$Q_P = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_T, \quad (3.5)$$

$$Q_{P.400} = 386,93 + 14,64 = 401,57 \text{ квар,}$$

$$Q_{P.250} = 386,93 + 14,5 = 401,43 \text{ квар,}$$

$$Q_{P.160} = 386,93 + 9,28 = 396,21 \text{ квар.}$$

Определим значение реактивной мощности в часы минимума нагрузки по формуле:

$$Q_{min} = \alpha_{Qmin} \cdot Q_P, \quad (3.6)$$

$$Q_{min.400} = 0,5 \cdot 401,57 = 200,79 \text{ квар,}$$

$$Q_{min.250} = 0,5 \cdot 401,43 = 200,72 \text{ квар,}$$

$$Q_{min.160} = 0,5 \cdot 396,21 = 198,11 \text{ квар.}$$

Определим значение входных реактивных мощностей по формулам:

$$Q'_{\Sigma 1} = Q_P - 0,7Q_{CD}, \quad (3.7)$$

$$Q'_{\Sigma 1.400} = 401,57 - 0,7 \cdot 0 = 401,57 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\Sigma 1.250} = 401,43 - 0,7 \cdot 0 = 401,43 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\text{Э1.160}} = 396,21 - 0,7 \cdot 0 = 396,21 \text{ квар.}$$

$$Q''_{\text{Э1}} = \alpha \cdot P_p, \quad (3.8)$$

$$Q''_{\text{Э1.400}} = 0,23 \cdot 311,97 = 71,75 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{Э1.250}} = 0,23 \cdot 313,01 = 71,99 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{Э1.160}} = 0,23 \cdot 311,28 = 71,59 \text{ квар.}$$

Выбираем наименьшее значение  $Q_{\text{Э1.400}} = 71,75$  квар,  $Q_{\text{Э1.250}} = 71,99$  квар  
и  $Q_{\text{Э1.160}} = 71,59$  квар.

$$Q''_{\text{Э2}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\text{Э1}}), \quad (3.9)$$

$$Q''_{\text{Э2.400}} = 200,79 - (401,57 - 71,75) = -129,03 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{Э2.250}} = 200,72 - (401,43 - 71,99) = -128,72 \text{ квар,}$$

$$Q''_{\text{Э2.160}} = 198,11 - (396,21 - 71,59) = -126,51 \text{ квар.}$$

$$Q'_{\text{Э2}} = Q_{\min} + Q_k, \quad (3.10)$$

$$Q'_{\text{Э2.400}} = 200,79 + 0 = 200,79 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\text{Э2.250}} = 200,72 + 0 = 200,72 \text{ квар,}$$

$$Q'_{\text{Э2.160}} = 198,11 + 0 = 198,11 \text{ квар.}$$

Выбираем наибольшее значение  $Q_{\text{Э2.400}} = 200,79$  квар,  $Q_{\text{Э2.250}} = 200,72$   
квар и  $Q_{\text{Э2.160}} = 198,11$  квар.

Определим максимальную мощность для компенсации по формуле:

$$Q_{\text{КУ.МАХ}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\text{Э1}}, \quad (3.11)$$

$$Q_{\text{КУ.МАХ.400}} = 1,1 \cdot 401,57 - 71,75 = 369,98 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУ.МАХ.250}} = 1,1 \cdot 401,43 - 71,99 = 369,58 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУ.МАХ.160}} = 1,1 \cdot 396,21 - 71,59 = 364,24 \text{ квар.}$$

Определим минимальную мощность для компенсации по формуле:

$$Q_{\text{КУ.МИН}} = Q_{\min} - Q_{\text{Э2}}, \quad (3.12)$$

$$Q_{\text{КУ.МІН.400}} = 200,79 - 200,79 = 0 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУ.МІН.250}} = 200,72 - 200,72 = 0 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУ.МІН.160}} = 198,11 - 198,11 = 0 \text{ квар.}$$

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

$$Q_{\text{ЭН}} = Q_{\text{Э1}} - (Q_{\text{P}} - Q_{\text{P}\Sigma}), \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{ЭН.400}} = 71,75 - (401,57 - 386,93) = 57,11 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{ЭН.250}} = 71,99 - (401,43 - 386,93) = 57,49 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{ЭН.160}} = 71,59 - (396,21 - 386,93) = 62,31 \text{ квар.}$$

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

$$Q_{\text{T}} = \sqrt{(N_{\text{T}} \cdot K_{\text{З}} \cdot S_{\text{НТ}})^2 - P_{\text{P}\Sigma}^2}, \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{T.400}} = \sqrt{(1 \cdot 0,9 \cdot 400)^2 - 306,41^2} = 188,98 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{T.250}} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 250)^2 - 306,41^2} = 257,12 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{T.160}} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 160)^2 - 306,41^2} = \sqrt{-28351,09} \text{ квар.}$$

Вариант с двумя трансформаторами ТМГ 160/10 отпадает.

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

$$Q_{\text{КУ.НН}} = Q_{\text{P}\Sigma} - Q_{\text{T}}, \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{КУ.НН.400}} = 386,93 - 188,98 = 197,95 \text{ квар,}$$

$$Q_{\text{КУ.НН.250}} = 386,93 - 257,12 = 129,81 \text{ квар.}$$

Определим мощность КУ, которая может быть установлена на стороне 10 кВ по формуле:

$$Q_{\text{КУ.ВН}} = Q_{\text{КУ.МАХ}} - Q_{\text{КУ.НН}}, \quad (3.16)$$

$$Q_{\text{КУ.ВН.400}} = 369,98 - 197,95 = 172,03 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{КУ.ВН.250}} = 369,58 - 129,81 = 239,77 \text{ квар}.$$

На высокой стороне КУ не ставится ни в одном из вариантов, а ставится только на низкой стороне.

Компенсирующие установки берутся с сайта по продаже различного оборудования [19].

Для варианта с одним трансформатором ТМГ 400/10 берется один АУКРМ-200-0,4.

Для варианта с двумя трансформаторами ТМГ 250/10 берутся два АУКРМ-65-0,4.

Определим приведенные потери за год по формулам:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_p, \quad (3.17)$$

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

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau, \quad (3.18)$$

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

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_p, \quad (3.19)$$

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

Определим годовые потери по формуле:

$$C \cdot \Delta P_T = n \cdot (C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}), \quad (3.20)$$

$$C \cdot \Delta P_T (400) = 1 \cdot (36130 \cdot 0,78 + 11904 \cdot 0,9^2 \cdot 5,9) = 85070,62 \frac{\text{руб}}{\text{год}},$$

$$C \cdot \Delta P_T (250) = 2 \cdot (36130 \cdot 0,61 + 11904 \cdot 0,8^2 \cdot 4,2) = 108074,5 \frac{\text{руб}}{\text{год}}.$$

Определим затраты на покупку трансформаторов и КУ по формуле:

$$K_{\text{КТП}} = K_T \cdot n + K_{\text{КУ}} \cdot n, \quad (3.21)$$

$$K_{\text{КТП.400}} = 230500 \cdot 1 + 80100 \cdot 1 = 310,6 \text{ тыс. руб.},$$

$$K_{\text{КТП.250}} = 168500 \cdot 2 + 38400 \cdot 2 = 413,8 \text{ тыс. руб.}$$

Определим годовые затраты на КТП по формуле:

$$Z_{\text{КТП}} = E \cdot K_{\text{КТП}} + \frac{C \cdot \Delta P_T}{1000}, \quad (3.22)$$

$$Z_{\text{КТП.400}} = 0,223 \cdot 310,6 + \frac{85070,62}{1000} = 154,33 \text{ тыс. руб.},$$

$$Z_{\text{КТП.250}} = 0,223 \cdot 413,8 + \frac{108074,5}{1000} = 200,35 \text{ тыс. руб.}$$

Согласно расчетам наиболее выгодный вариант это установка одного трансформатора в цеховую ТП и подключение к шине кабеля через выключатель с резервным питанием от другой цеховой ТП.



## 4 Выбор системы и схемы электроснабжения внутри цеха

### 4.1 Расчет распределенной нагрузки ЭП по щитам и шинам

Выберем схему внутрицехового электроснабжения, опираясь на соответствующую литературу [1, 4, 11-16].

Основным оборудованием будут шинопровода, а именно:

- Троллейные,
- Распределительные,
- Магистральные.

Также будет один распределительный пункт для вентиляторов и один щит освещения на весь цех возле хода.

Также нужно пересчитать однофазную нагрузку, но при этом учитывать, как она была распределена в пункте с расчетом всей нагрузки.

Тогда нагрузка на каждую фазу на ШРА-2 будет определяться по формуле 2.1:

$$P_A = 3 \cdot 3 = 9 \text{ кВт},$$
$$P_B = P_C = 25 \cdot 1 = 25 \text{ кВт},$$

Проверим равномерность однофазной нагрузки по фазам на ШРА-2 по формуле 2.2:

$$H = \frac{25 - 9}{9} \cdot 100\% = 177 \text{ \%}.$$

Однофазная нагрузка на ШРА-2 неравномерна, поэтому определим трёхфазную нагрузку по формуле 2.3:

$$P = 25 \cdot 3 = 75 \text{ кВт}.$$

Таблица 4.1 – Распределенная нагрузка по цеху

Наименование	n	$P_H$ , кВт	$\sum P_H$ , кВт	$K_{и}$	cos $\varphi$	tg $\varphi$	$P_{ср}$ , кВт	$Q_{ср}$ , квар	$n_{э}$	$K_p$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА	$I_p$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Кран мостовой (ШТА-1)	1	12,5	12,5	0,2	0,65	1,17	2,5	2,93	1	4	10	3,22	10,51	15,17
Токарно-револьверные станки	7	15	105	0,3	0,65	1,17	31,5	36,86	-	-	-	-	-	-
Электрическая печь сопротивления	1	60	60	0,7	0,65	1,17	42	49,14	-	-	-	-	-	-
Электрические печи индукционные	2	24	48	0,7	0,65	1,17	33,6	39,31	-	-	-	-	-	-
Электродуговые печи	3	50	150	0,7	0,65	1,17	105	122,85	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА-1	14	12,5 / 60	375,5	0,57	0,65	1,17	214,6	251,09	12	1	214,6	251,09	330,30	476,75
Кран мостовой (ШТА-2)	1	12,5	12,5	0,2	0,65	1,17	2,5	2,93	1	4	10	3,22	10,51	15,17
Кран мостовой (ШТА-3)	1	12,5	12,5	0,2	0,65	1,17	2,5	2,93	1	4	10	3,22	10,51	15,17
Продольно-строгальные станки	1	12,2	12,2	0,3	0,65	1,17	3,66	4,28	-	-	-	-	-	-
Плоскошлифовальные станки	3	3	75	0,3	0,65	1,17	22,5	26,33	-	-	-	-	-	-
Вертикально-сверлильные станки	2	25							-	-	-	-	-	-
Расточный станок	1	13	13	0,3	0,65	1,17	3,9	4,56	-	-	-	-	-	-
Фрезерные станки	2	8	16	0,3	0,65	1,17	4,8	5,62	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 4.1

Радиально-сверлильные станки	2	9,5	19	0,3	0,65	1,17	5,7	6,67	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА-2	13	3 / 25	160,2	0,28	0,65	1,17	45,56	53,32	12	1,13	51,48	53,32	74,12	106,98
Продольно-строгальные станки	2	12,2	24,4	0,3	0,65	1,17	7,32	8,56	-	-	-	-	-	-
Токарно-револьверные станки	5	15	75	0,3	0,65	1,17	22,5	26,33	-	-	-	-	-	-
Токарные станки	5	15	75	0,3	0,65	1,17	22,5	26,33	-	-	-	-	-	-
Итого по ШРА-3	12	12,2 / 15	174,4	0,3	0,65	1,17	52,32	61,22	23	1	52,32	61,22	80,53	116,24

## 4.2 Расчет нагрузки освещения

Рассчитаем расчетный ток одного светильника по формуле:

$$I_{P.i} = \frac{P_{н.i}}{U_n \cdot \cos \varphi_i \cdot \eta_i}, \quad (4.1)$$
$$I_{P.свeтильник} = \frac{0,153}{0,23 \cdot 0,96 \cdot 0,9} = 0,77 \text{ A.}$$

Теперь определим нагрузку освещения по каждому помещению и в общем по формуле:

$$I_{P\Sigma} = I_P \cdot n, \quad (4.2)$$
$$I_{P\Sigma.Бытовка} = 0,77 \cdot 2 = 1,54 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Вентиляционная} = 0,77 \cdot 1 = 0,77 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Инструментальная} = 0,77 \cdot 2 = 1,54 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Комната отдыха} = 0,77 \cdot 2 = 1,54 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Склад} = 0,77 \cdot 1 = 0,77 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Станочное отделение} = 0,77 \cdot 34 = 26,18 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Термическое отделение} = 0,77 \cdot 12 = 9,24 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.ТП} = 0,77 \cdot 1 = 0,77 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Щитовая} = 0,77 \cdot 1 = 0,77 \text{ A,}$$
$$I_{P\Sigma.Цех} = 0,77 \cdot 66 = 50,82 \text{ A.}$$

## 5. Выбор необходимых кабелей, выключателей и трансформаторов тока

При выборе необходимого оборудования нужно руководствоваться следующей литературой [11-16].

### 5.1 Расчет номинального тока каждого оборудования и силового трансформатора

Определим расчётный номинальный ток каждого трёхфазного ЭП по формуле:

$$I_{P.i} = \frac{P_{H.i}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_i \cdot \eta_i}, \quad (5.1)$$
$$I_{P.1,31,42} = \frac{12,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 34,7 \text{ A},$$
$$I_{P.4...8,32..35,39...41} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 41,64 \text{ A},$$
$$I_{P.2,3,14} = \frac{12,2}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 33,9 \text{ A},$$
$$I_{P.20} = \frac{13}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 36,1 \text{ A},$$
$$I_{P.9...13} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 41,64 \text{ A},$$
$$I_{P.23,24} = \frac{9,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 26,37 \text{ A},$$
$$I_{P.21,22} = \frac{8}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 22,2 \text{ A},$$
$$I_{P.26,27} = \frac{24}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 66,62 \text{ A},$$
$$I_{P.25} = \frac{60}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 166,54 \text{ A},$$

$$I_{P.28...30} = \frac{50}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 138,79 \text{ A},$$

$$I_{P.36...38} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 30,1 \text{ A}.$$

Определим расчётный номинальный ток каждого однофазного ЭП по формуле 4.1:

$$I_{P.15...17} = \frac{3}{0,23 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 25,08 \text{ A},$$

$$I_{P.18,19} = \frac{25}{0,23 \cdot 0,65 \cdot 0,8} = 209,03 \text{ A}.$$

Определим номинальный ток трансформатора на обеих сторонах по формуле:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (5.2)$$

$$I_{T.ВН} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,1 \text{ A},$$

$$I_{T.ВН} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10,4} = 577,4 \text{ A}.$$

Полученные расчетные токи по оборудованию и освещению запишем в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Расчетные токи электроприемников и светильников

Наименование ЭП	Количество ЭП, штук	Расчетные ток, А
Трёхфазные ЭП		
Кран мостовой	3	34,7

Продолжение таблицы 5.1

Продольно-строгальные станки	3	33,9
Электрические печи индукционные	2	66,62
Токарно-револьверные станки	12	41,64
Радиально-сверлильные станки	2	26,37
Токарные станки	5	41,64
Электрическая печь сопротивления	1	166,54
Расточный станок	1	36,1
Электродуговые печи	3	138,79
Фрезерные станки	2	22,2
Вентиляторы	3	30,1
Однофазные ЭП		
Вертикально-сверлильные станки	2	209,03
Плоскошлифовальные станки	3	25,08
Освещение помещений		
Бытовка	2	1,54
Вентиляционная	1	0,77
Инструментальная	2	1,54
Комната отдыха	2	1,54
Склад	1	0,77
Станочное отделение	34	26,18
Термическое отделение	12	9,24
ТП	1	0,77
Щитовая	1	0,77
В общем по цеху	66	50,82

## 5.2 Расчет и выбор выключателей

Теперь необходимо выбрать выключатели для кабельных линий в качестве защиты и коммутационного оборудования. Необходимо определить ток расцепителя.

Для групповой линии ЭП определим ток по формуле:

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_p. \quad (5.3)$$

$$I_{н.р}(\text{ШРА} - 1) \geq 1,25 \cdot 476,75 = 595,94 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(\text{ШРА} - 2) \geq 1,25 \cdot 106,98 = 133,73 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(\text{ШРА} - 3) \geq 1,25 \cdot 116,24 = 145,3 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(\text{РП} - 1) \geq 1,25 \cdot 66,11 = 82,64 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(\text{ШНН}) \geq 1,25 \cdot 712,4 = 890,5 \text{ А}.$$

Для линии питания одного ЭП определим ток по формуле:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (5.4)$$

$$I_{н.р}(1, 31, 42) \geq 1,1 \cdot 34,7 = 38,7 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(28 \dots 30) \geq 1,1 \cdot 138,79 = 152,67 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(2, 3, 14) \geq 1,1 \cdot 33,9 = 37,9 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(26, 27) \geq 1,1 \cdot 66,62 = 73,3 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(4 \dots 8, 32 \dots 35, 39 \dots 41) \geq 1,1 \cdot 41,64 = 45,8 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(25) \geq 1,1 \cdot 166,54 = 183,2 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(9 \dots 13) \geq 1,1 \cdot 41,64 = 45,8 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(23, 24) \geq 1,1 \cdot 26,37 = 29 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(15 \dots 17) \geq 1,1 \cdot 25,08 = 27,59 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(21, 22) \geq 1,1 \cdot 22,2 = 24,42 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(18, 19) \geq 1,1 \cdot 209,03 = 229,93 \text{ А},$$



$$I_{н.р}(20) \geq 1,1 \cdot 36,1 = 43,32 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(36 \dots 38) \geq 1,1 \cdot 30,1 = 33,11 \text{ А}.$$

Для освещения расчетный ток не изменится.

Составим таблицу 5.2 с данные по расчетам тока расцепителя.

Таблица 5.2 – Выбор автоматический выключателей

Место установки (линия к данному оборудованию)	$I_{н.р}$ , А	Автомат	$I_{н.а}$ , А / $I_{н.р}$ , А	$I_{у}$ , А
Кран мостовой	38,7	ВА 52-31-3	100 / 40	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Продольно-строгальные станки	37,9	ВА 52-31-3	100 / 40	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Токарно-револьверные станки	45,8	ВА 52-31-3	100 / 50	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Токарные станки	45,8	ВА 52-31-3	100 / 50	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Расточный станок	43,32	ВА 52-31-3	100 / 50	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Фрезерные станки	24,42	ВА 52-31-3	100 / 25	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Радиально-сверлильные станки	29	ВА 52-31-3	100 / 31,5	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Электрическая печь сопротивления	183,2	ВА 52-35-3	250 / 200	$1,25 \cdot I_{н.р}$
Электрические печи индукционные	73,3	ВА 52-31-3	100 / 80	$1,25 \cdot I_{н.р}$
Электродуговые печи	152,67	ВА 52-33-3	160 / 160	$1,25 \cdot I_{н.р}$
Вентиляторы	33,11	ВА 52-31-3	100 / 31,5	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Плоскошлифовальные станки	27,59	ВА 52-31-2	100 / 31,5	$1,35 \cdot I_{н.р}$
Вертикально-сверлильные станки	229,93	ВА 52-35-2	250 / 200	$1,25 \cdot I_{н.р}$
ШРА-1	595,94	ВА 52-39-3	630 / 630	$1,25 \cdot I_{н.р}$
ШРА-2	133,73	ВА 52-33-3	160 / 160	$1,25 \cdot I_{н.р}$
ШРА-3	145,3	ВА 52-33-3	160 / 160	$1,25 \cdot I_{н.р}$
РП-1	82,64	ВА 52-31-3	100 / 100	$1,25 \cdot I_{н.р}$

Продолжение таблицы 5.2

ШНН	890,5	ВА 53-41-3	1000 / 1000	$1,25 \cdot I_{н.р}$
Бытовка	1,54	ВА-51-25-2	25 / 2,0	$1,2 \cdot I_{н.р}$
Вентиляционная	0,77	ВА-51-25-2	25 / 1,0	$1,2 \cdot I_{н.р}$
Инструментальная	1,54	ВА-51-25-2	25 / 2,0	$1,2 \cdot I_{н.р}$
Комната отдыха	1,54	ВА-51-25-2	25 / 2,0	$1,2 \cdot I_{н.р}$
Склад	0,77	ВА-51-25-2	25 / 1,0	$1,2 \cdot I_{н.р}$
Станочное отделение	26,18	ВА-51-25-2	25 / 25	$1,2 \cdot I_{н.р}$
Термическое отделение	9,24	ВА-51-25-2	25 / 10	$1,2 \cdot I_{н.р}$
ТП	0,77	ВА-51-25-2	25 / 1,0	$1,2 \cdot I_{н.р}$
Щитовая	0,77	ВА-51-25-2	25 / 1,0	$1,2 \cdot I_{н.р}$
В общем по цеху	50,82	ВА 52-31-2	100 / 50	$1,35 \cdot I_{н.р}$

Выключателем на 10 кВ необходимо взять ВВМ-СЭЦ-3-10-20/1000.

### 5.3 Расчет и выбор кабелей, шинопроводов

Теперь необходимо определить ток для нахождения кабелей и проверки по допустимому току:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{y(\text{п})} = K_{y(\text{п})} \cdot I_{\text{н.р}}, \quad (5.5)$$

$$I_{\text{н.р}}(1, 31, 42) \geq 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}}(36 \dots 38) \geq 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}}(2, 3, 14) \geq 1,35 \cdot 40 = 54 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}}(28 \dots 30) \geq 1,25 \cdot 160 = 200 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}}(4 \dots 8, 32, 35, 39 \dots 41) \geq 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}}(26, 27) \geq 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А},$$

$$I_{\text{н.р}}(9 \dots 13) \geq 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А},$$

$$I_{н.р}(25) \geq 1,25 \cdot 200 = 250 \text{ А,}$$

$$I_{н.р}(15 \dots 17) \geq 1,35 \cdot 31,5 = 42,53 \text{ А,}$$

$$I_{н.р}(23, 24) \geq 1,35 \cdot 31,5 = 42,53 \text{ А,}$$

$$I_{н.р}(21, 22) \geq 1,35 \cdot 25 = 33,75 \text{ А,}$$

$$I_{н.р}(18, 19) \geq 1,25 \cdot 250 = 312,5 \text{ А,}$$

$$I_{н.р}(20) \geq 1,35 \cdot 50 = 67,5 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(ШРА - 1) \geq 1,25 \cdot 630 = 787,5 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(ШРА - 2) \geq 1,25 \cdot 160 = 200 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(ШРА - 3) \geq 1,25 \cdot 160 = 200 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(РП - 1) \geq 1,25 \cdot 100 = 125 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(ШНН) \geq 1,25 \cdot 1000 = 1250 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Бытовка) \geq 1,2 \cdot 2,0 = 2,4 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Вентиляционная) \geq 1,2 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Инструментальная) \geq 1,2 \cdot 2,0 = 2,4 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Комната отдыха) \geq 1,2 \cdot 2,0 = 2,4 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Склад) \geq 1,2 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Станочное отделение) \geq 1,2 \cdot 25 = 30 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Термическое отделение) \geq 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(ТП) = 1,2 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Щитовая) \geq 1,2 \cdot 1,0 = 1,2 \text{ А,}$$

$$I_{доп}(Цех) \geq 1,2 \cdot 50 = 60 \text{ А.}$$

Запишем полученные токи в таблицу 5.3 и найдем кабели.

Таблица 5.3 – Выбор кабелей

Первое место присоединения	Второе место присоединения	$I_y$ , А	$I_{доп}$ , А	Кабели
Кран мостовой (ШТА-1/2/3)	ШРА-1/2	54	73	ВВГ 4x10

Продолжение таблицы 5.3

Продольно-строгальные станки	ШРА-2/3	54	73	ВВГ 4x10
Токарно-револьверные станки	ШРА-1/3	67,5	73	ВВГ 4x10
Токарные станки	ШРА-3	67,5	73	ВВГ 4x10
Расточный станок	ШРА-2	67,5	73	ВВГ 4x10
Фрезерные станки	ШРА-2	33,75	43	ВВГ 4x4
Радиально-сверлильные станки	ШРА-2	42,53	43	ВВГ 4x4
Электрическая печь сопротивления	ШРА-1	250	259	ВВГ 4x95
Электрические печи индукционные	ШРА-1	100	123	ВВГ 4x25
Электродуговые печи	ШРА-1	200	214	ВВГ 4x70
Вентиляторы	РП-1	54	73	ВВГ 4x10
Плоскошлифовальные станки	ШРА-2	42,53	47	ВВГ 3x4
Вертикально-сверлильные станки	ШРА-2	312,5	317	ВВГ 3x120
ШРА-1	ШНН	787,5	2x438	ВВГ 2x(4x240)
ШРА-2	ШНН	200	214	ВВГ 5x70
ШРА-3	ШНН	200	214	ВВГ 4x70
РП-1	ШНН	125	146	ВВГ 4x35
ШНН	Т1	1250	3x438	ВВГ 3x(5x240)
Бытовка	ЩО	2,4	27	ВВГ 3x1,5
Вентиляционная	ЩО	1,2	27	ВВГ 3x1,5
Инструментальная	ЩО	2,4	27	ВВГ 3x1,5
Комната отдыха	ЩО	2,4	27	ВВГ 3x1,5
Склад	ЩО	1,2	27	ВВГ 3x1,5
Станочное отделение	ЩО	30	36	3x2,5
Термическое отделение	ЩО	12	27	ВВГ 3x1,5
ТП	ЩО	1,2	27	ВВГ 3x1,5

Продолжение таблицы 5.3

Щитовая	ЩО	1,2	27	ВВГ 3x1,5
В общем по цеху (ЩО)	ШНН	60	79	ВВГ 3x10

Кабелем на 10 кВ будет трёхжильный ПвВнг, а его сечение находится по формуле:

$$F = \frac{I_{т.вн}}{j_{ЭК}}, \quad (5.6)$$
$$F = \frac{23,1}{2,5} = 9,24 \text{ мм}^2.$$

Берется ПвВнг 3x50.

Шинопроводы выбираются по номинальному току:

- ШРА-1: номинал 630 А,
- ШРА-2: номинал 160 А,
- ШРА-3: номинал 160 А,
- ШТА-1: номинал 100 А,
- ШТА-2: номинал 100 А,
- ШТА-3: номинал 100 А.

## 6 Расчет токов коротких замыканий

Расчет короткого замыкания проводится с использованием литературы [1, 4, 17-20].

Необходимо найти токи в узлах до самого мощного и дальнего ЭП.

Данным электроприемником является «Электрическая печь сопротивления».

Изобразим расчетную схему на рисунке 6.1 и схему замещения на рисунке 6.2.

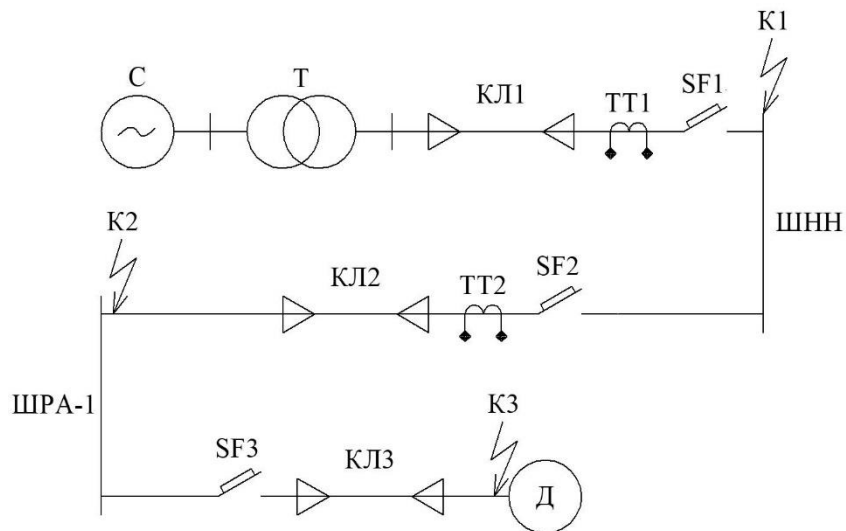


Рисунок 6.1 – Расчетная схема

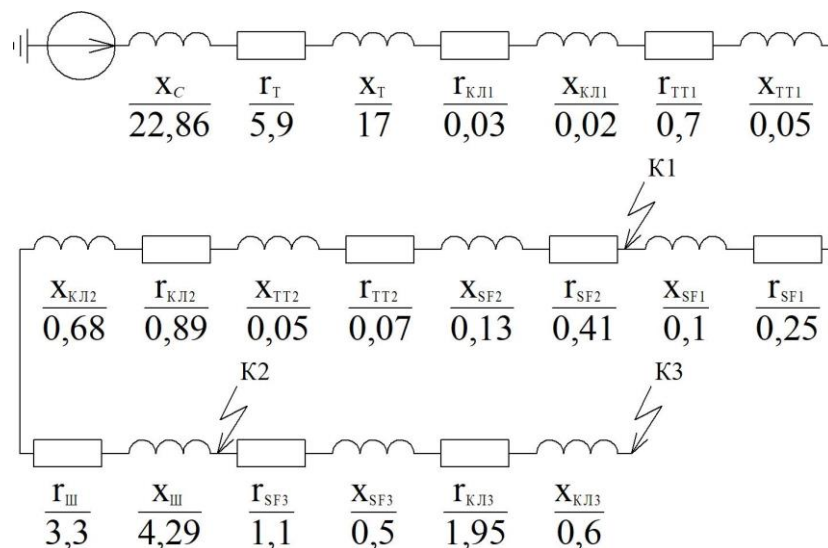


Рисунок 6.2 – Схема замещения

Необходимо определить параметры каждого оборудования и устройства.

Перечисли оборудование и его параметры для нахождения сопротивления, либо же уже с сопротивлением согласно справочным данным:

- Система (Кабель 10 кВ, ПГВ, энергосистема):  $S_K = 7$  МВА,
- Силовой трансформатор (ТМГ 400/10):  $S_H = 400$  кВА,  $U_{K3} = 4,5$  %,  $\Delta P_{K3} = 5,9$  кВт,
- Первая кабельная линия (ВВГ 3х(5х240)):  $r_{кл} = 0,077$  Ом/км,  $x_{кл} = 0,0587$  Ом/км,  $l_{кл} = 0,001...0,002$  км,
- Вторая кабельная линия (ВВГ 2х(4х240)):  $r_{кл} = 0,077$  Ом/км,  $x_{кл} = 0,0587$  Ом/км,  $l_{кл} = 0,023...0,024$  км,
- Третья кабельная линия (ВВГ 4х95):  $r_{кл} = 0,195$  Ом/км,  $x_{кл} = 0,0602$  Ом/км,  $l_{кл} = 0,01...0,011$  км,
- Шинопровод ШРА-1:  $r_{ш} = 0,1$  мОм/м,  $x_{ш} = 0,13$  мОм/м,  $l_{ш} = 33$  м,
- Выключатели SF1 (ВА 53-41-3):  $r_{кв} = 0,25$  мОм,  $x_{кв} = 0,1$  мОм,
- Выключатели SF2 (ВА 52-39-3):  $r_{кв} = 0,41$  мОм,  $x_{кв} = 0,13$  мОм,
- Выключатели SF3 (ВА 52-35-3):  $r_{кв} = 1,1$  мОм,  $x_{кв} = 0,5$  мОм,
- Первый трансформатор тока:  $r_{тт} = 0,07$  мОм,  $x_{тт} = 0,05$  мОм,
- Второй трансформатор тока:  $r_{тт} = 0,07$  мОм,  $x_{тт} = 0,05$  мОм.

Определим сопротивление системы по формуле:

$$x_C = \frac{U_6^2}{S_K} \cdot 10^3, \quad (6.1)$$

$$x_C = \frac{0,4^2}{7} \cdot 10^3 = 22,86 \text{ мОм.}$$

Определим сопротивление силового трансформатора по формулам:

$$z_T = \frac{U_{K3}}{100} \cdot \frac{U_6^2}{S_H} \cdot 10^3, \quad (6.2)$$

$$z_T = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{0,4^2}{0,4} \cdot 10^3 = 18 \text{ мОм},$$

$$r_T = \Delta P_{\text{кз}} \cdot \frac{U_6^2}{S_H^2} \cdot 10^3, \quad (6.3)$$

$$r_T = 0,0059 \cdot \frac{0,4^2}{0,4^2} \cdot 10^3 = 5,9 \text{ мОм},$$

$$x_T = \sqrt{z^2 - r^2}, \quad (6.4)$$

$$x_T = \sqrt{18^2 - 5,9^2} = 17 \text{ мОм}.$$

Определим сопротивление кабельных линий по формулам:

$$r_{\text{кл}} = \frac{1}{n} \cdot r_0 \cdot l, \quad (6.5)$$

$$r_{\text{кл}1} = \frac{1}{3} \cdot 0,077 \cdot 0,001 = 0,03 \text{ мОм},$$

$$r_{\text{кл}2} = \frac{1}{2} \cdot 0,077 \cdot 0,023 = 0,89 \text{ мОм},$$

$$r_{\text{кл}3} = \frac{1}{1} \cdot 0,195 \cdot 0,01 = 1,95 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{кл}} = \frac{1}{n} \cdot x_0 \cdot l, \quad (6.6)$$

$$x_{\text{кл}1} = \frac{1}{3} \cdot 0,0587 \cdot 0,001 = 0,02 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{кл}2} = \frac{1}{2} \cdot 0,0587 \cdot 0,023 = 0,68 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{кл}3} = \frac{1}{1} \cdot 0,0602 \cdot 0,01 = 0,6 \text{ мОм}.$$

Определим сопротивление шинпровода по формулам:

$$r_{\text{ш}} = r_0 \cdot l, \quad (6.7)$$

$$r_{\text{ш}} = 0,1 \cdot 33 = 3,3 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{ш}} = x_0 \cdot l, \quad (6.8)$$



$$x_{\text{Ш}} = 0,13 \cdot 33 = 4,29 \text{ мОм.}$$

Все сопротивления найдены, теперь необходимо найти сопротивление до каждой точки короткого замыкания.

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

$$r_1 = r_T + r_{\text{КЛ1}} + r_{\text{ТТ1}} + r_{\text{SF1}}, \quad (6.9)$$

$$r_1 = 5,9 + 0,03 + 0,07 + 0,25 = 6,25 \text{ мОм,}$$

$$x_1 = x_C + x_T + x_{\text{КЛ1}} + x_{\text{ТТ1}} + x_{\text{SF1}}, \quad (6.10)$$

$$x_1 = 22,86 + 17 + 0,02 + 0,05 + 0,1 = 40,03 \text{ мОм,}$$

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

$$r_2 = r_1 + r_{\text{SF2}} + r_{\text{ТТ2}} + r_{\text{КЛ2}} + r_{\text{Ш}}, \quad (6.11)$$

$$r_2 = 6,25 + 0,41 + 0,07 + 0,89 + 3,3 = 10,92 \text{ мОм,}$$

$$x_2 = x_1 + x_{\text{SF2}} + x_{\text{ТТ2}} + x_{\text{КЛ2}} + x_{\text{Ш}}, \quad (6.12)$$

$$x_2 = 40,03 + 0,13 + 0,05 + 0,68 + 4,29 = 45,18 \text{ мОм,}$$

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

$$r_3 = r_2 + r_{\text{SF3}} + r_{\text{КЛ3}}, \quad (6.13)$$

$$r_3 = 10,92 + 1,1 + 1,95 = 13,97 \text{ мОм,}$$

$$x_3 = x_2 + x_{\text{SF3}} + x_{\text{КЛ3}}, \quad (6.14)$$

$$x_3 = 45,18 + 0,5 + 0,6 = 46,28 \text{ мОм.}$$

Найдем полное сопротивление каждой точки по формуле:

$$z_i = \sqrt{r_i^2 + x_i^2}, \quad (6.15)$$

$$z_1 = \sqrt{6,25^2 + 40,03^2} = 40,51 \text{ мОм},$$

$$z_2 = \sqrt{10,92^2 + 45,18^2} = 46,48 \text{ мОм},$$

$$z_3 = \sqrt{13,97^2 + 46,28^2} = 48,34 \text{ мОм}.$$

Найдем ток 3-фазного КЗ по формуле:

$$I_{Ki} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot z_i}, \quad (6.16)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 40,51} = 5,7 \text{ кА},$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 46,48} = 4,97 \text{ кА},$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 48,34} = 4,78 \text{ кА}.$$

Проверим выключатели по формулам:

$$I_{\text{откл.}SF1} \geq I_{K1}^{(3)}, \quad (6.17)$$

$$I_{\text{откл.}SF1} = 25 \text{ кА} \geq I_{K1}^{(3)} = 5,7 \text{ кА},$$

$$I_{\text{откл.}SF2} \geq I_{K2}^{(3)}, \quad (6.17)$$

$$I_{\text{откл.}SF2} = 25 \text{ кА} \geq I_{K2}^{(3)} = 4,97 \text{ кА},$$

$$I_{\text{откл.}SF3} \geq I_{K3}^{(3)}, \quad (6.17)$$

$$I_{\text{откл.}SF3} = 30 \text{ кА} \geq I_{K3}^{(3)} = 4,78 \text{ кА}.$$

Проверка

пройдена.

## Заключение

Проведены необходимые расчеты в выпускной квалификационной работе для электроснабжения цеха металлоизделий и его оборудования.

Произведен отдельный и общий расчет освещения всего цеха и оборудования.

Выбран силовой трансформатор ТМГ-400/10 для установки в трансформаторную, который будет основным источником питания, при этом резервным источником будет кабель от другой цеховой ТП, который будет подключен к ШНН через выключатель.

Также выбрана компенсирующая установка АУКРМ-200-0,4 для установки на напряжение 0,4 кВ.

После этого выбрана схема внутреннего электроснабжения. Наилучшем вариантом стала установка распределительных и троллейных шинопроводов, а также использования распределительного пункта для вентиляции из-за ее удаленности от другого оборудования.

В конце проводятся расчеты для выбора выключателей, кабельных линий и шинопроводов.

Проверка кабельных линий проводится по допустимому току. При этом выключатели проверяются не все, а лишь те, которые идут по линии до самого мощного и дальнего оборудования. Проверка происходит за счет расчета короткого замыкания в трёх узлах данной линии.

К данной работе прилагаются шесть чертежей формата А1.

## Список используемой литературы

1. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения // Электронное учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>
2. Справочный источник. [Электронный ресурс]. URL: <https://mydocx.ru/11-73640.html> (дата обращения 6.02.2020)
3. Справочный источник. [Электронный ресурс]. URL: <https://online-electric.ru> (дата обращения 6.02.2020)
4. 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>
5. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. Введ. 1996-01-01. М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.
6. Продавец различного оборудования «ЛУИС+». [Электронный ресурс]. URL: <https://luis.ru> (дата обращения 26.03.2020)
7. Вахнина В. В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 67 с.
8. ООО «Тольяттинский трансформатор». [Электронный ресурс]. URL: <https://transformator.com.ru> (дата обращения 26.03.2020)
9. Торговая электротехническая компания «Энергозапад». [Электронный ресурс]. URL: <http://energozapad.ru> (дата обращения 12.04.2020)
10. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015. 330 с.
11. 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.

12. 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.
13. 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
14. Farhad Shahnia, Ali Arefi, Gerard Ledwich. Electric Distribution Network Planning. Springer Verlag, 2018. 1143 p.
15. Hao Zhou, Wenqian Qiu. Ultra-high Voltage AC/DC Power Transmission. Springer, 2018. 520 p.
16. Справочный источник по кабелям. [Электронный ресурс]. URL: <https://cable.ru> (дата обращения 25.04.2020)
17. Tyler G. Hicks. Handbook of Energy Engineering Calculations. McGraw-Hill Education, 2011. 743 p.
18. Hadi Saadat. Power System Analysis Third Edition. 2011. 452 p.
19. Donald Christiansen, Charles K. Alexander, Ronald Jurgen. Standard Handbook of Electronic Engineering. Kindle Edition. 2004. 316 p.
20. Справочник по кабелям и продавцам. [Электронный ресурс]. URL: <https://k-ps.ru> (дата обращения 28.04.2020)

# Приложение А

Производство металлоизделий

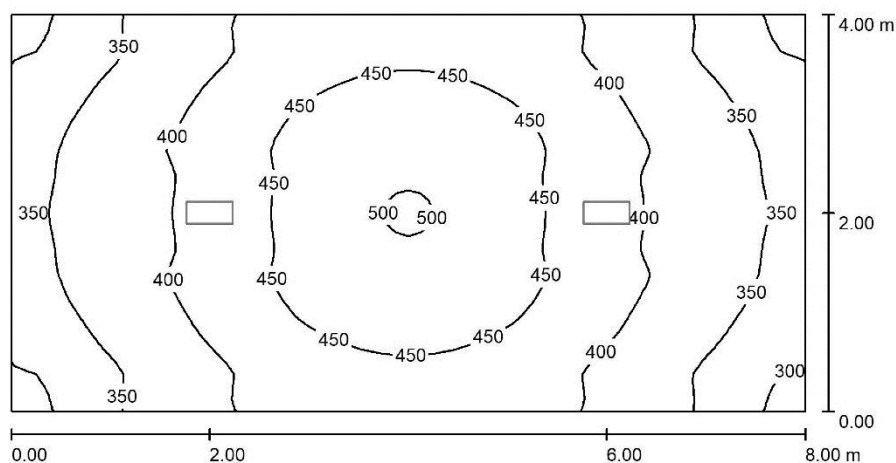


**DIALux**

30.05.2020

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Бытовка / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:58

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	405	289	503	0.715
Полы	20	328	252	388	0.767
Потолок	70	94	60	109	0.634
Стенки (4)	50	237	65	482	/

### Рабочая плоскость:

Высота: 0.800 m  
Растр: 64 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

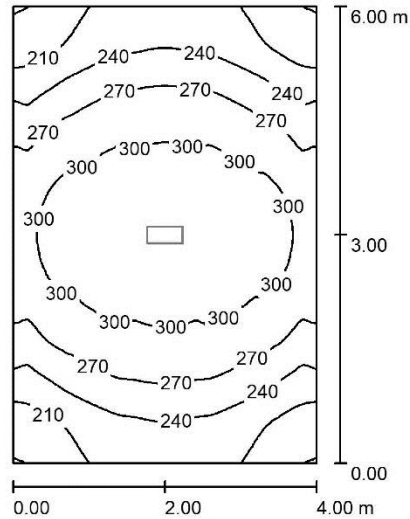
### Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 31020	Всего: 31020	306.0

Удельная подсоединенная мощность:  $9.56 \text{ W/m}^2 = 2.36 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $32.00 \text{ m}^2$ )

Рисунок А.1 – Резюме бытовки

**Вентиляционная / Резюме**



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{\text{cp}}$ [lx]	$E_{\text{min}}$ [lx]	$E_{\text{max}}$ [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	267	179	316	0.670
Полы	20	208	171	228	0.822
Потолок	70	59	39	74	0.660
Стенки (4)	50	149	41	446	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 64 x 64 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

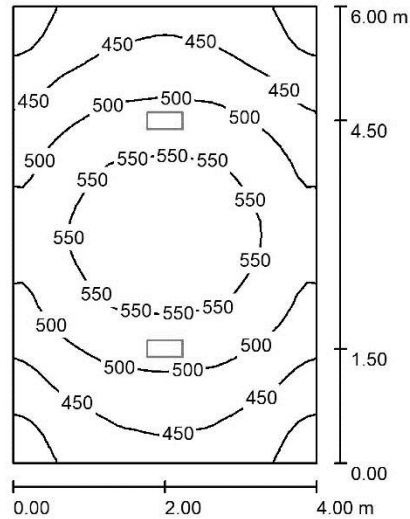
**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	1	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 15510	Всего: 15510	153.0

Удельная подсоединенная мощность: 6.38 W/m<sup>2</sup> = 2.39 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 24.00 m<sup>2</sup>)

**Рисунок А.2 – Резюме вентиляционной**

**Инструментальная / Резюме**



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{\text{cp}}$ [lx]	$E_{\text{min}}$ [lx]	$E_{\text{max}}$ [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	493	371	585	0.752
Полы	20	391	322	438	0.824
Потолок	70	124	83	145	0.668
Стенки (4)	50	309	88	778	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 32 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

**Ведомость светильников**

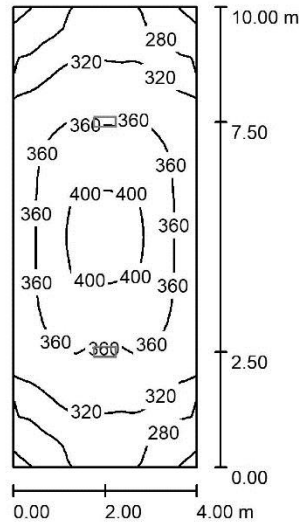
№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 31020	Всего: 31020	306.0

Удельная подсоединенная мощность:  $12.75 \text{ W/m}^2 = 2.59 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $24.00 \text{ m}^2$ )

**Рисунок А.3 – Резюме инструментальной**



**Комната отдыха / Резюме**



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:129

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{\text{cp}}$ [lx]	$E_{\text{min}}$ [lx]	$E_{\text{max}}$ [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	340	232	414	0.681
Полы	20	280	203	341	0.725
Потолок	70	77	49	91	0.642
Стенки (4)	50	194	53	465	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 32 x 64 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 31020	Всего: 31020	306.0

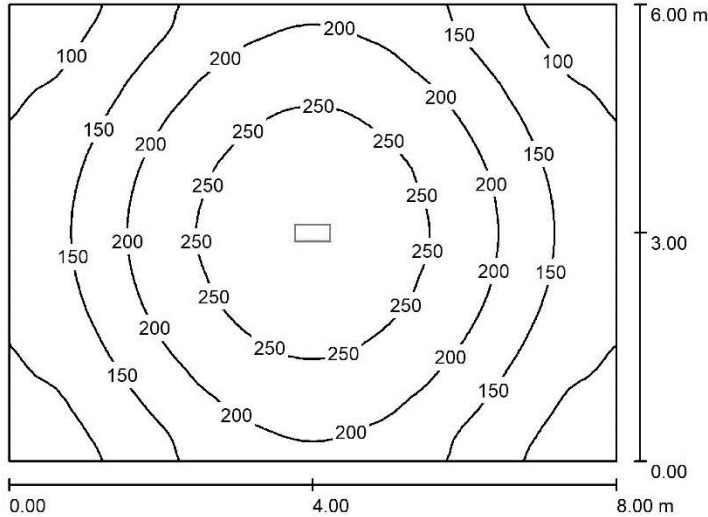
Удельная подсоединенная мощность:  $7.65 \text{ W/m}^2 = 2.25 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $40.00 \text{ m}^2$ )

**Рисунок А.4 – Резюме комнаты отдыха**



Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

**Склад / Резюме**



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	182	72	274	0.394
Полы	20	151	87	186	0.573
Потолок	70	31	21	38	0.667
Стенки (4)	50	74	22	196	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 64 x 64 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

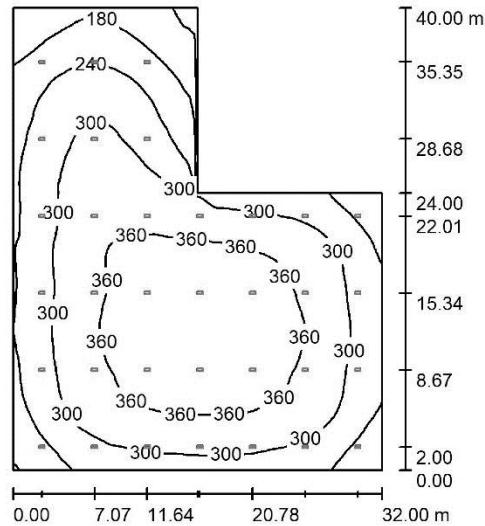
**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	1	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 15510	Всего: 15510	153.0

Удельная подсоединенная мощность:  $3.19 \text{ W/m}^2 = 1.75 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $48.00 \text{ m}^2$ )

**Рисунок А.5 – Резюме склада**

**Станочное отделение / Резюме**



Высота помещения: 8.000 m, Монтажная высота: 8.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:514

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	301	106	393	0.351
Полы	20	292	109	386	0.373
Потолок	70	67	33	88	0.497
Стенки (6)	50	159	39	443	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 128 x 128 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

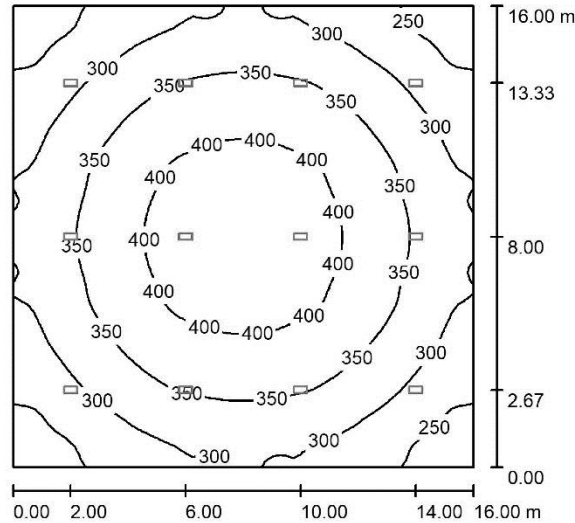
**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	34	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 527340	Всего: 527340	5202.0

Удельная подсоединенная мощность: 5.08 W/m<sup>2</sup> = 1.69 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 1024.00 m<sup>2</sup>)

**Рисунок А.6 – Резюме станочного отделения**

**Термическое отделение / Резюме**



Высота помещения: 8.000 m, Монтажная высота: 8.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:206

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{\text{cp}}$ [lx]	$E_{\text{min}}$ [lx]	$E_{\text{max}}$ [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	336	213	430	0.633
Полы	20	316	217	395	0.686
Потолок	70	85	59	93	0.698
Стенки (4)	50	207	66	464	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 64 x 64 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	12	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
Всего:			186120	186120	1836.0

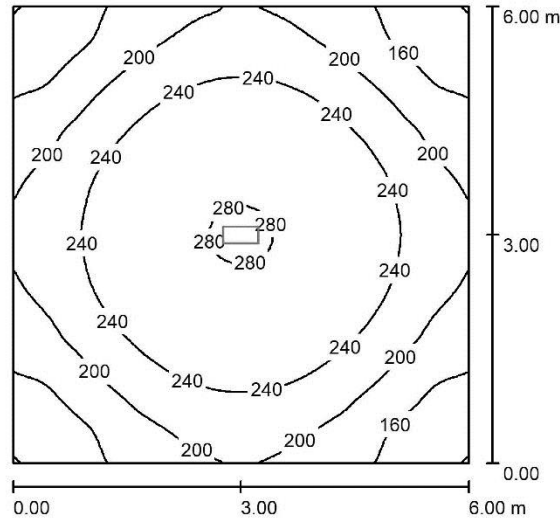
Удельная подсоединенная мощность:  $7.17 \text{ W/m}^2 = 2.13 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $256.00 \text{ m}^2$ )

**Рисунок А.7 – Резюме термического помещения**



Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

**ТП / Резюме**



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:78

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{\text{cp}}$ [lx]	$E_{\text{min}}$ [lx]	$E_{\text{max}}$ [lx]	$E_{\text{min}} / E_{\text{cp}}$
Рабочая плоскость	/	219	119	282	0.541
Полы	20	176	125	197	0.707
Потолок	70	40	27	48	0.662
Стенки (4)	50	102	29	213	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 64 x 64 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	Ф (Светильник) [lm]	Ф (Лампы) [lm]	P [W]
1	1	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 15510	Всего: 15510	153.0

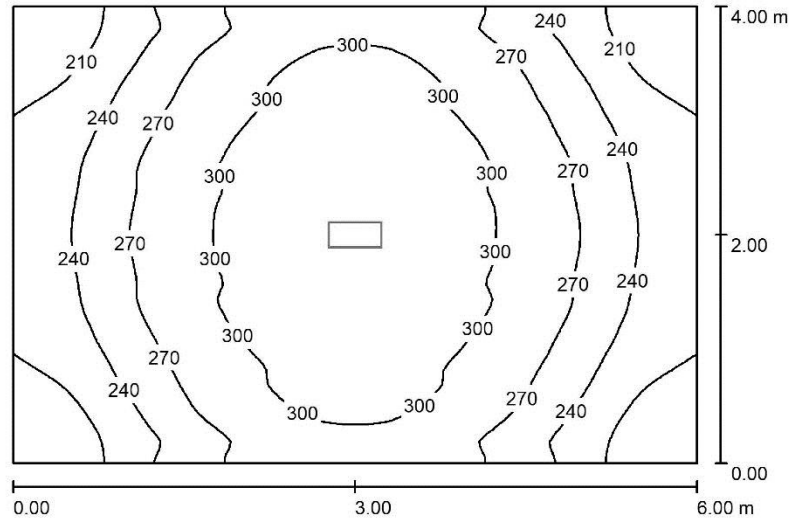
Удельная подсоединенная мощность: 4.25 W/m<sup>2</sup> = 1.94 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 36.00 m<sup>2</sup>)

**Рисунок А.8 – Резюме трансформаторной**



Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

**Щитовая / Резюме**



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.67

Значения в Lux, Масштаб 1:52

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	268	180	315	0.675
Полы	20	208	170	228	0.815
Потолок	70	58	39	73	0.665
Стенки (4)	50	149	41	429	/

**Рабочая плоскость:**

Высота: 0.800 m  
Растр: 64 x 64 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

**Ведомость светильников**

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	1	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1224000220 HB LED 152 D100 5000K (1.000)	15510	15510	153.0
			Всего: 15510	Всего: 15510	153.0

Удельная подсоединенная мощность:  $6.38 \text{ W/m}^2 = 2.38 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $24.00 \text{ m}^2$ )

**Рисунок А.9 – Резюме щитовой**