

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)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение цеха металлоизделий машиностроительного завода

Обучающийся

К. К. Каримов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н, доцент, М. Н. Третьякова

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

Консультант

к.п.н, доцент, Т. С. Якушева

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

Тольятти 2023

Аннотация

В выпускной квалификационной работе проведена разработка проекта системы электроснабжения цеха металлоизделий машиностроительного завода, включающая выполнение следующих исследований: проанализированы электрические потребители цеха, все электроприёмники охарактеризовались по напряжению, режиму работы, роду тока, степени бесперебойности; изучена однолинейная электрическая схема; был произведён расчет электрических нагрузок, который произведён с целью выявления полной максимальной мощности цеха необходимой для последующего выбора трансформаторов; выбрано компенсирующее устройство, необходимое для снижения реактивной мощности и повышения коэффициента мощности; выбрана трансформаторная подстанция и основные компоненты питающей и распределительной сети напряжением до 1000 В; выбраны распределительные пункты, щиты освещения, разработана защита от токов короткого замыкания и перегрузок; выполнен расчет и выбор проводов и кабелей.

Рассмотрен комплекс мероприятий по технике безопасности и охране труда при выполнении работ, экологическая безопасность, расчет заземления ТП.

Работа состоит из 52 страниц, 6 чертежей формата А1.

Abstract

In the final qualifying work, the development of a project for a power supply system for a mechanical shop of a machine-building plant was carried out, including the following studies: electrical consumers of the shop were analyzed, all power receivers were characterized by voltage, mode of operation, type of current, degree of uninterrupted operation; a single-line electrical circuit has been studied; a calculation of electrical loads was made, which was made in order to identify the total maximum power of the workshop necessary for the subsequent selection of transformers; a compensating device is selected, necessary to reduce reactive power and increase the power factor; a transformer substation and the main components of the supply and distribution network with voltage up to 1000 V were selected; selected distribution points, lighting panels, protection against short circuit currents and overloads; calculation and selection of wires and cables.

A set of measures for safety and labor protection during the performance of work, environmental safety, calculation of grounding of the transformer substation are considered.

The work consists of 52 pages, 6 drawings of A1 format.

Содержание

Введение.....	6
1 Анализ электрооборудования цеха металлоизделий машиностроительного завода.....	7
1.1 Характеристика потребителей электроэнергии.....	7
1.2 Схема электроснабжения цеха металлоизделий.....	8
2 Разработка системы электроснабжения цеха металлоизделий машиностроительного завода.....	10
2.1 Расчет электрического освещения.....	10
2.2 Расчет электрических нагрузок и устройств компенсации реактивной мощности.....	13
2.3 Выбор электрооборудования трансформаторной подстанции.....	23
3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда.....	36
3.1 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ.....	36
3.2 Расчёт контура заземления цеховой ТП.....	40
4 Расчет затрат на электроснабжение цеха металлоизделий.....	44
Заключение.....	48
Список используемых источников.....	50

Введение

Электрическая энергия широко используется во всех отраслях народного хозяйства и в быту. Этому способствуют такие ее свойства, как возможность производства в больших количествах индустриальным способом и подача ее отдаленным пользователям [26], [30].

«В современном производстве индустриальных предприятий велико использование электрооборудования, т. е. совокупности электротехнологических установок, аппаратов, приборов и устройств, при работе которых происходит преобразование одних видов энергии в другую, а также обеспечивается автоматизация производства» [25].

«Из различных металлов и их сплавов производятся составные части промышленного оборудования, а электрическая энергия приводит в движение эти механизмы. Главное достоинство электрической энергии – относительная дешевизна, простота передачи и получения. Металлические изделия также обладают множеством различных свойств: хорошая теплопроводность, механическая, термическая, химическая стойкости. Металлы благодаря своим свойствам получили широкое применение в медицине, военной и гражданской промышленности, добыче природных ископаемых и в современности практически не возможно представить жизнь человека без металлических изделий и электрической энергии» [13]. Цеха и заводы, выпускающие металлоизделия всегда играли важную роль в народном хозяйстве. Именно поэтому тема выпускной квалификационной работы является важной и актуальной на сегодняшний день. Бесперебойное обеспечение данного цеха электрической энергией повышает эффективность его работы [29].

Целью выпускной квалификационной работы является разработка надежной системы электроснабжения цеха металлоизделий машиностроительного завода.

1 Анализ электрооборудования цеха металлоизделий машиностроительного завода

1.1 Характеристика потребителей электроэнергии

Электрические приемники – совокупность машин, агрегатов, линий электропередачи и вспомогательных устройств, выполняющие роль потребителей электроэнергии. К ним относятся все электротехническое оборудование, через которое электрическая энергия доставляется до конечного потребителя [27].

В цехе металлоизделий технологические электроприёмники работают от сети переменного тока нормальной частоты 50 Гц.

«По мощности электроприёмники бывают:

- малой мощности – до 10 кВт;
- средней мощности – до 100 кВт.

Электроприемники работают в трех режимах:

- продолжительный режим – длительная работа без перегрева. В цехе металлоизделий в данном режиме работают станки, камера нагрева, вентиляторы, прессы, ультразвуковые ванны и др.;
- повторно-кратковременный режим – работа в цикле, не превышающем десяти минут. В цехе в этом режиме эксплуатируются различные краны;
- кратковременный режим – когда за время работы агрегат не нагревается до критической температуры» [8]. В рассматриваемом цехе таких потребителей нет.

С точки зрения организации технологического процесса, электрооборудование цеха металлоизделий можно разделить:

- «на производственные механизмы (станки, обрабатывающие центры);
- общепромышленные установки (вентиляторы, компрессоры, насосы);
- подъемно-транспортное оборудование (лифт, кран);

- преобразовательные установки (шкафы управления);
- электросварочное оборудование;
- электронагревательные приборы;
- электролизные установки» [1].

«Надёжность электроснабжения – это обеспечение цеха электроэнергией хорошего качества и ее непрерывность подачи, что в свою очередь позволяет выпускать продукцию по производственному плану и без аварийных остановов.

Электроприемники цеха металлоизделий относятся ко второй категории потребителей, так как перерыв в их электроснабжении приводит к массовому недоотпуску продукции, простоя рабочих мест и механизмов» [22].

1.2 Схема электроснабжения цеха металлоизделий

Электроснабжение цеха металлоизделий производится по двум независимым сетям с РП 10 кВ ячейки 3 и 14 (см. чертеж графической части ВКР №1).

Напряжение 10 кВ подается в шкаф подачи высокого напряжения, содержащий выключатели нагрузки QW1 и QW2, для отключения цеха от трансформатора, и предохранители FU1 и FU2 для защиты от токов короткого замыкания.

В цехе расположена комплектная трансформаторная подстанция, с понижающими трансформаторами 10/04 кВ, обозначенными на схеме Т1 и Т2.

Низковольтное распределительное устройство содержит защитные автоматы QF1 и QF2 на входе, и QF4...QF21 на выходе. От каждого названного автоматического выключателя запитывается определенная группа электроприемников. Например, от QF15 питается распределительный пункт РП-4, от QF22 расположенного в РП4 питается аварийный щит освещения и т.п.

Секционный автомат QF3 служит для переключения секций шин.

Для снижения реактивной мощности служат конденсаторные установки СВ1 и СВ2, защищаемые от КЗ автоматами QF4 и QF5.

От воздушных автоматов QF8, QF9, QF10 питаются ШС-1, ШС-2, ШС-3, с которых в свою очередь запитываются силовые электроприёмники.

Измерительные приборы представлены:

- амперметрами PA1 и PA2;
- вольтметры PV1 и PV2;
- трансформаторами тока ТА1 и ТА2;
- счетчиками электрической энергии.

Приборы и агрегаты системы вентиляции запитаны от собственных станций управления ЩСУ-1 и ЩСУ-2.

Между собой распределительные пункты, шинопроводы и электроприемники связаны кабелями марки АВВГ сечением от 2,5 до 150 мм² и проводами марки ПВЗ сечением от 2,5 до 6 мм².

Выводы.

В связи с модернизацией и развитием производства в цехе металлоизделий появились новые станки и технологическое оборудование, использующие в качестве потребляемой энергии электрическую энергию. В результате роста нагрузки существующих мощностей силового электрооборудования стало недостаточно. Поэтому требуется разработать новую, современную систему электроснабжения с высокими показателями надежности.

2 Разработка системы электроснабжения цеха металлоизделий машиностроительного завода

2.1 Расчет электрического освещения

В цехе металлоизделий согласно СНИП 2-4-79 используется «следующие системы освещения:

- общее освещение;
- местное;
- комбинированное» [2].

Расчет выполним методом светового потока (коэффициента использования) [4]. Для общего освещения используем светодиодное освещение.

Высота подвеса светильника H_{Π} , м, определяется по формуле [4]:

$$H_{\Pi} = h - (h_c + h_p), \quad (1)$$

где h – расстояние от пола до потолка, м (6 м. общее и 4 м. в отдельных помещениях);

h_c – свес светильников, м (1,5 м. общее и 0,3 м. в отдельных помещениях);

h_p – высота рабочего стола от пола, м (650 мм).

Индекс помещения определяется по формуле [20]:

$$i_{\Pi} = \frac{S}{H_{\Pi}(a+b)}, \quad (2)$$

где S – занимаемая площадь, m^2 ;

a и b – габаритные размеры помещения, м.

Зная i_{Π} определяются средние «значения коэффициента отражения: стен $q_c = 0,5$; потолка $q_{\Pi} = 0,7$ и рабочей поверхности $q_p = 0,3$ » [4]. Задаемся:

- КСС светильников: Д – косинусная;
- коэффициентом использования $U=0,84$;
- коэффициентом запаса $K_3=1,5$;
- коэффициентом минимальной освещённости $Z=1,1$;
- нормативной освещенностью производственных и бытовых помещений.

Световой поток лампы в точке установки светильника [14]:

$$\Phi_p = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot U}, \quad (3)$$

где E – нормативная освещенность, лк.

n – количество светильников, задействованных в освещении данного помещения, шт.

Результат расчета сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета светильников

Название	S, м ²	E, лк	Тип светильника	n, шт	P, Вт
Участок шлифовальных станков	114	400	С360 1x32	20	640
Участок механика	25,9	30	НСП03-20-01	4	80
Базовая инструментальная Кладовая 1,2	31,2	30	НСП03-20-01	3	60
	34,4	30		4	80
Инструментальная комната	57	200	Varton ДПО-80 Вт	4	320
КПП	57	500	Varton ДПО-80 Вт	12	960

Продолжение таблицы 1

Наименование помещения	S, м ²	E, лк	Тип светильника	n, шт	P, Вт
Слесарное помещение	57	500	Varton ДПО-80 Вт	12	960
Измерительная лаборатория	57	500	Varton ДПО-80 Вт	12	960
Участок доводки	57	500	Varton ДПО-80 Вт	12	960
Участок приточки	57	500	Varton ДПО-80 Вт	12	960
Участок мехобработки корпусных деталей	111,7	400	C360 1x32	20	640
Участок виброиспытаний	57	500	Varton ДПО-80 Вт	12	960
КТП	84	200	C360 1x32	12	384
Кладовая заготовок 1, 2	36	30	НСП03-20-01	4	80
	36	30		4	80
Комната механика	17,2	20	НСП03-20-01	2	40
Коридор №1	170,5	100	C360 1x32	8	256
Коридор №2	62,1	100	C360 1x32	4	138
Коридор №3	10,8	100	C360 1x32	2	64
Тамбур №1	12,9	30	C360 1x32	1	32
Тамбур №2	4,7	30	C360 1x32	1	32
Тамбур №3	6,7	30	НСП03-20-01	1	20
Табельная	10,8	200	Varton ДПО-80 Вт	1	80
Мужской гардероб	81,9	150	C360 1x32	5	160
Женский гардероб	89,3	150	C360 1x32	5	160
Хранение абразивных кругов	6,2	30	Varton ДПО-80 Вт	1	80
Изолятор брака	5,5	20	НСП03-60-01	1	60

Продолжение таблицы 1

Наименование помещения	S, м ²	E, лк	Тип светильника	n, шт	P, Вт
МСУ	9,75	20	НСП03-20-01	4	80
ЖСУ	6,6	20	НСП03-20-01	2	40
Лестничная клетка №1 и 2	23,5	20	НБО07-20	2	40
	13	20		2	40
Комната отдыха	57,6	150	С360 1x32	3	96
ЛЖГ	15	20	НСП03-20-01	3	60
Душ 1	15,6	20	НСП03-20-01	3	60
Душ 2	12	20	НСП03-20-01	2	40
Кладовая 3	7,8	20	НСП03-20-01	1	20
Тамбур 4	57,4	30	С360 1x32	2	64
Тамбур 5	54,5	30	С360 1x32	2	64
Общее освещение	-	-	-	-	13146
Аварийное освещение на участке мех. обработки	420	400	НСП05-100	6	600
Аварийное освещение в коридоре №1	170,5	100	С360 1x32	4	128
Итого: по цеху					47700

2.2 Расчет электрических нагрузок и устройств компенсации реактивной мощности

«При расчете силовых нагрузок важное значение имеет правильное определение величины электрической нагрузки во всех элементах силовой сети. Завышение нагрузки может привести к перерасходу материала, удорожанию строительства; занижение нагрузки – к уменьшению пропускной способности

электрической сети и невозможности обеспечения нормальной работы силовых электроприемников» [18].

Электрооборудование, расположенное в цехе металлоизделий и его потребляемые мощности показаны в графической части проекта на чертеже №3.

Для расчета применим метод упорядочных диаграмм. Электроприемники объединим по величине коэффициента использования $k_{и}$. Например, к ШС №1 подключены 16 металлообрабатывающих станков (токарно-винторезные станки небольшой мощности), объединенных в одну группу. Из справочника [21] возьмем значения $k_{и}$ и $\cos\varphi$. Для маломощных станков $k_{и} = 0,16$, а $\cos\varphi=0,5$. Через $\cos\varphi$ определяется $\operatorname{tg}\varphi=1,73$. Суммарно электропотребление данной группы станков [15]:

$$\sum P_{\text{ном}} = \sum_{i=1}^{27} P_i, \quad (4)$$

$$\sum P_{\text{ном}} = 3,24 \cdot 11 + 5,3 + 2,35 + 1,75 \cdot 2 + 3 = 49,8 \text{ кВт.}$$

Сменная активная мощность за наиболее загруженную смену $P_{\text{см}}$, кВт, определяется по формуле:

$$P_{\text{см}} = K_{и} \cdot \sum_1^n P_{\text{ном}}, \quad (5)$$

$$P_{\text{см}} = 0,16 \cdot 49,8 = 7,97 \text{ кВт.}$$

Аналогично сменная мощность рассчитывается и для других групп станков. Результаты сводятся в таблицу 2, из которой видно, на какую смену приходится максимальная загруженность.

Определяется суммарная нагрузка по шинам. Например к ШС №1 подключена следующая активная нагрузка:

$$\sum P_{\text{ном.ШС}} = \sum_{i=1}^n P_{i.\text{гр}}, \quad (6)$$

$$\sum P_{\text{ном.ШС1}} = 49,8 + 18 + 3,24 + 0,55 + 44 + 5 + 13 + 5,42 + 2,2 = 129,5 \text{ кВт.}$$

Общие мощности ШС №1:

$$\sum P_{\text{СМ}} = 8 + 2,88 + 0,5 + 0,3 + 7,04 + 0,8 + 0,2 + 2,71 + 1,1 = 23,53 \text{ кВт,}$$

$$\sum Q_{\text{СМ}} = 13,8 + 5 + 0,86 + 0,5 + 12,2 + 1,4 + 0,34 + 4,7 + 1,9 = 40,7 \text{ кВт.}$$

Средний коэффициент использования электроприемников ШС №1:

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{\sum P_{\text{СМ}}}{\sum P_{\text{ном}}}, \quad (7)$$

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{23,53}{129,51} = 0,182.$$

Показатель силовой сборки:

$$m = \frac{P_{\text{ном.макс}}}{P_{\text{ном.мин}}}, \quad (8)$$

где $P_{\text{ном.макс}}$ - номинальная мощность электроприемника максимального электропотребления, кВт;

$P_{\text{ном.мин}}$ - номинальная мощность электроприемника минимального электропотребления, кВт.

$$m = \frac{22}{0,55} = 40.$$

Эффективное число электроприемников по формуле:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \sum P_{\text{ном}}}{P_{\text{ном.мин}}}, \quad (9)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 129,51}{22} = 11,7.$$

По таблице или графику [21] определяется коэффициент максимума $k_{\text{макс}} = f(n_{\text{э}}, k_{\text{и}}) = 1,75$.

Активная максимальная мощность:

$$P_{\text{макс}} = k_{\text{макс}} \cdot \sum P_{\text{СМ}}, \quad (10)$$
$$P_{\text{макс}} = 1,75 \cdot 23,53 = 41,2 \text{ кВт.}$$

Реактивная максимальная мощность при $n_{\text{э}} > 10$ по формуле:

$$Q_{\text{макс}} = \text{tg}\varphi \cdot P_{\text{макс}}, \quad (11)$$
$$Q_{\text{макс}} = 1,73 \cdot 41,2 = 71,27 \text{ квар.}$$

Полная максимальная мощность на ШС №1:

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}, \quad (14)$$
$$S_{\text{макс}} = \sqrt{41,2^2 + 71,3^2} = 82,35 \text{ кВА}$$

Максимальный ток потребления шинпровода ШС №1 по формуле:

$$I_P = \frac{S_{\text{макс}}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (15)$$
$$I_P = \frac{82,35}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 125,1 \text{ А}$$

Результат расчета остальных ШС и РП сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок

Наименование электро-приемников	n, шт	P _{ном} , кВт	$\sum P_{ном}$	m	K _и	cosφ tgφ	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	п _э	K _{макс}	P _{макс} кВт	Q _{макс} квар	S _{макс} кВА	I _{макс} А
ШС №1														
Токарно-винторезные станки	16	1,75-3,24	49,8		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	8	13,8						
Вертикально-фрезерный станок	1	18	18		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	2,88	5						
Универсально-фрезерный станок	1	3,24	3,24		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,5	0,86						
Вертикально-сверлильный станок	1	0,55	0,55		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,3	0,5						
Токарный станок с ЧПУ	2	22	44		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	7,04	12,2						
Кран-балка с ПВ=40%	1	5	5		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,8	1,4						
Точильно-шлифовальный станок	1	1,3	1,3		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,2	0,34						
Универсально-заточные станки	3	1,57-2,2	5,42		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	2,71	4,7						
Плоско-шлифовальный станок	1	2,2	2,2		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	1,1	1,9						
Итого по ШС №1	27	0,55-22	129,51	>3	0,18 2		23,53	40,7	11,7	1,75	41,2	71,3	82,35	125,1

Продолжение таблицы 2

Наименование электро-приемников	n, шт	P _{ном} , кВт	$\sum P_{ном}$	m	k _и	cosφ tgφ	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	η _э	k _{макс}	P _{макс} кВт	Q _{макс} квар	S _{макс} кВА	I _{макс} А
ШС №2														
Ультразвуковые ванны	2	5,5	11		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	1,76	3						
Генератор к ванне	1	4,5	4,5		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,72	1,24						
Электроэрозионные станки	3	1,2-4,5	10,2		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	1,6	2,8						
Генераторы к станкам	3	3	9		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	1,44	2,5						
Дефектоскоп с пультом управления	1	3	3		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,48	0,83						
Токарно-револьверные станки	4	14	56		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	8,96	15,5						
Токарно-винторезные станки	12	2,35-3,24	36,7		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	5,87	10,2						
Вертикально-фрезерный станок	1	18	18		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	2,88	5						
Координатно-расточные	2	1,62	3,24		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,5	0,86						
Универсально-фрезерные станки	3	2,2-3	8,2		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	1,3	2,2						

Продолжение таблицы 2

Наименование электро-приемников	n, шт	P _{ном} , кВт	$\sum P_{ном}$	m	k _и	cosφ tgφ	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	n _э	k _{макс}	P _{макс} кВт	Q _{макс} квар	S _{макс} кВА	I _{макс} А
Кран-балка с ПВ=40%	1	5	5		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,8	1,4						
Итого по ШС №2	33	1,2-18	164,8	>3	0,16		26,4	45,7	18,3	1,7	44,9	77,7	89,7	136,3
ШС №3														
Токарно-винторезный	11	2,7-10	62		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	9,9	17,1						
Кран-балка с ПВ=40%	1	3	3		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,48	0,83						
Вертикально-фрезерный станок	2	2,2-18	20,2		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	3,2	5,5						
Настольно-сверлильный станок	1	0,5	0,5		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,08	0,14						
Вертикально-сверлильные станки	2	2,32	4,64		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,74	1,3						
Трансформаторы к поз.96,97	2	10	20		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	3,2	5,5						
Стенд вибро-испытаний	1	3,5	3,5		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,56	0,97						
Стенд ударный	1	1,5	1,5		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,24	0,4						

Продолжение таблицы 2

Наименование электро-приемников	n, шт	P _{ном} , кВт	$\sum P_{ном}$	m	k _и	cosφ tgφ	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	п _э	k _{макс}	P _{макс} кВт	Q _{макс} квар	S _{макс} кВА	I _{макс} А
Стенды для обкатки	2	1,5	3		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,48	0,83						
Блок питания к вибростенду	1	3	3		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,48	0,83						
Блок питания к ударному стенду	1	3	3		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,48	0,83						
Пресс 63 т.с.	1	4	4		0,16	$\frac{0,5}{1,73}$	0,64	1,1						
Итого по ШС №3	26	0,5-18	128,34	>3	0,16		20,5	35,5	14,3	1,8	36,9	63,8	73,7	112
РП №2														
Настольно-сверлильный станок	1	0,5	0,5		0,12	$\frac{0,4}{2,29}$	0,06	0,14						
Настольно-токарный станок	1	0,25	0,25		0,12	$\frac{0,4}{2,29}$	0,03	0,07						
Камера нагрева	1	20	20		0,12	$\frac{0,4}{2,29}$	2,4	5,5						
Доводочные установки	8	0,37-3,24	10,75		0,12	$\frac{0,4}{2,29}$	1,3	3						
Плоскодоводочный станок	1	2,2	2,2		0,12	$\frac{0,4}{2,29}$	0,3	0,7						

Продолжение таблицы 2

Наименование электро-приемников	n, шт	P _{ном} , кВт	$\sum P_{ном}$	m	k _и	cosφ tgφ	P _{см} , кВт	Q _{см} , квар	п _э	k _{макс}	P _{макс} кВт	Q _{макс} квар	S _{макс} кВА	I _{макс} А
Токарно-винторезный станок	1	3	3		0,12	$\frac{0,4}{2,29}$	0,36	0,8						
Итого по РП №2	13	0,25-20	36,7	>3	0,12		4,45	10,2	3,67	3,2	14,2	32,5	35,5	54
РП №3														
Внутришлифовальные станки	2	7,2-12,8	20		0,2	$\frac{0,65}{1,17}$	4	4,68						
Круглошлифовальные станки	3	3,4-10,5	22,4		0,2	$\frac{0,65}{1,17}$	4,48	5,2						
Плоскошлифовальные станки	2	4,5-6,2	10,7		0,2	$\frac{0,65}{1,17}$	2,14	2,5						
Настольно-сверлильный	1	0,5	0,5		0,2	$\frac{0,65}{1,17}$	0,1	0,12						
Бесцентровошлифовальный станок	1	2,95	2,95		0,2	$\frac{0,65}{1,17}$	0,6	0,7						
Итого по РП №3	9	0,5-12,8	56,6	>3	0,2		11,3	13,2	8,8	1,9	21,5	25,2	33,1	50,3
Освещение			61,3		0,8	1	49				49			
Вентиляция	11	7,5-22	159,6		0,6	$\frac{0,8}{0,75}$	95,8	71,85	14,5	1,2	115	86,25		
Итого по всему цеху											322,7	356,75	481,1	730,8

Далее проведем расчет устройств компенсации реактивной мощности.

«Компенсация реактивной мощности и повышение коэффициента мощности, имеет большое значение и является частью общей проблемы повышения КПД работы систем электроснабжения и улучшения качества отпускаемой потребителю электрической энергии.

Повысить коэффициент мощности можно с помощью компенсирующих устройств, которые генерируют реактивную мощность [28].

Компенсации реактивной мощности и количества компенсирующих устройств определяется расчетным методом» [7] Для этого используются данные таблицы 2. Необходимо поднять $\cos\varphi$ до величины не ниже 0,92.

Значение коэффициента $\cos\varphi$ до компенсации:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}, \quad (16)$$

$$\cos\varphi = \frac{322,7}{481,1} = 0,67.$$

Коэффициент заполнения по активной нагрузке за одну смену:

$$k_{з.а} = \frac{\sum P_i \cdot t_i}{P_{max} \cdot T}, \quad (17)$$

где P_i – активная нагрузка за i -ый интервал рабочего времени, %;

t_i – продолжительность i -ого интервала рабочего времени, ч;

P_{max} – максимальная мощность за рабочий день, %;

T – полное сменное время, ч.

$$k_{з.а} = \frac{100 \cdot 3 + 95 \cdot 2 + 90 \cdot 2 + 85 \cdot 2 + 80 \cdot 3 + 75 + 70 + 50 \cdot 2 + 35 \cdot 7}{100 \cdot 24} = 0,65$$

Мощность, которую требуется скомпенсировать:

$$Q_{ком} = P_{ср.год} \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (18)$$

где $P_{\text{ср.год}}$ – среднегодовая, кВт (19);

$\text{tg}\varphi_1, \text{tg}\varphi_2$ – значение тангенса угла до и после компенсации.

$$P_{\text{ср.год}} = \kappa_{\text{з.а}} \cdot P, \quad (19)$$
$$P_{\text{ср.год}} = 0,65 \cdot 322,7 = 209,7 \text{ кВт},$$
$$Q_{\text{ном}} = 209,7 \cdot (1,1 - 0,426) = 141,3 \text{ квар.}$$

Принимаем к расчету КУ типа УК-0,38-110Н, n=2 шт.

Общая реактивная мощность КУ:

$$Q_{\text{к.у}} = Q_{\text{ном}} \cdot n, \quad (20)$$
$$Q_{\text{к.у}} = 110 \cdot 2 = 220 \text{ квар.}$$

Реактивная мощность после компенсации:

$$Q' = Q_{\text{макс}} - Q_{\text{к.у}}, \quad (21)$$
$$Q' = 356,75 - 220 = 136,75 \text{ квар.}$$

Добавочная активная мощность:

$$P_{\text{доб}} = Q_{\text{к.у}} \cdot \text{tg}\delta, \quad (22)$$

где $\text{tg}\delta$ – тангенс угла потерь.

$$P_{\text{доб}} = 220 \cdot 0,003 = 0,66 \text{ кВт.}$$

Активная мощность после компенсации:

$$P' = P_{\text{макс}} + P_{\text{доб}}, \quad (23)$$
$$P' = 322,7 + 0,66 = 323,4 \text{ кВт.}$$

Полная мощность с учетом КУ:

$$S' = \sqrt{(P')^2 + (Q')^2}, \quad (24)$$
$$S_{\text{макс}} = \sqrt{323,4^2 + 136,75^2} = 351,1 \text{ кВА}.$$

Коэффициент мощности после компенсации:

$$\cos\varphi = \frac{P'}{Q'}, \quad (25)$$
$$\cos\varphi = \frac{323,4}{351,1} = 0,921.$$

Полученное значение $\cos \varphi$ удовлетворяет заявленным значениям.

2.3 Выбор электрооборудования трансформаторной подстанции

«Основным электрооборудованием на подстанции являются трансформаторы и распределительные устройства, содержащие коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы, сборные и соединительные шины и другие вспомогательные устройства» [10]. Для выбора количества трансформаторов на подстанции и их параметров используются справочные данные и ранее рассчитанные величины:

- $S_{\text{макс}} = 351,1 \text{ кВА}$;
- годовой фонд времени работы трансформаторов $T=7000 \text{ ч}$;
- условная стоимость электроэнергии $c=1,3 \text{ руб}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$;
- отношение активной к реактивной энергии $K_{\text{ип}}=0,05$;
- $k_{з.а} = 0,65$;
- число трансформаторов на подстанции $n=2$.

Средняя мощность нагрузки:

$$S_{\text{cp}} = k_{\text{з.а}} \cdot S_{\text{max}}, \quad (26)$$

$$S_{\text{cp}} = 0.65 \cdot 351.1 = 228.2 \text{ кВА.}$$

Намечаемая мощность трансформатора:

$$S_{\text{нам}} = \frac{S_{\text{cp}}}{n}, \quad (27)$$

$$S_{\text{нам}} = \frac{228,2}{2} = 114,1 \text{ кВА.}$$

Предварительно выбираем комплектную КТП-10/0,4-2-400 стоимостью $K_1=285950$ руб.

Максимальный коэффициент загрузки:

$$K_{\text{з.макс}} = \frac{S_{\text{макс}}}{n \cdot S_{\text{тр}}}, \quad (28)$$

$$K_{\text{з.макс}} = \frac{351,1}{2 \cdot 400} = 0,4.$$

Средний коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_{\text{з.ср}} = \frac{S_{\text{cp}}}{n \cdot S_{\text{тр}}}, \quad (29)$$

$$K_{\text{з.ср}} = \frac{228,2}{2 \cdot 400} = 0,3.$$

Проверяем условие: $K_{\text{з.макс}} \leq K_{\text{доп}}$. Для этого принимаем значение эквивалентной охлаждающей температуры $t_{\text{эkv.охл}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ [6]. По таблице «Указания к пользованию графиками зависимости» определяется номер кривой зависимости коэффициента допустимой перегрузки. По графику №5

принимая для $K_{з.ср} = 0,3 \rightarrow K_{доп} = 1,46$. Таким образом $K_{з.макс} = 0,4 \leq K_{доп} = 1,46$. Условие выполняется.

Аварийная перегрузка трансформатора в случае выхода из строя другого

$$S_{ав} = k_{доп} \cdot S_{мр}, \quad (30)$$

$$S_{ср} = 1,46 \cdot 400 = 584 \text{ кВА.}$$

Принимаем для размещения на КТП трансформатор ТМ-400/10 со следующими параметрами [17]:

- $\Delta P_{xx} = 1,08$ кВт;

- $\Delta P_{кз} = 5,9$ кВт;

- $i_0 = 3\%$;

- $u_k = 4.5\%$.

Потери активной мощности в трансформаторах:

$$\Delta P = \left(\Delta P_{xx} + k_{ип} \cdot S_{мр} \cdot \frac{i_0}{100} \right) + K_{з.макс}^2 \cdot \left(\Delta P_{кз} + k_{ип} \cdot S_{мр} \cdot \frac{u_k}{100} \right), \quad (31)$$

$$\Delta P = \left(1,08 + 0,05 \cdot 400 \cdot \frac{3}{100} \right) + 0,6^2 \cdot \left(5,9 + 0,05 \cdot 400 \cdot \frac{4,5}{100} \right) = 4,1 \text{ кВт.}$$

Годовые потери энергии в трансформаторах:

$$\Delta W = \Delta P \cdot n \cdot T, \quad (32)$$

$$\Delta W = 4,1 \cdot 2 \cdot 7000 = 57400 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Стоимость потерь:

$$C = \Delta W \cdot c, \quad (33)$$

$$C = 57400 \cdot 1,3 = 74620 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости:

$$T = \frac{K}{C}, \quad (34)$$
$$T = \frac{285950}{74620} = 3,83 \text{ лет.}$$

Расчётный срок окупаемости ниже нормативного ($T_{\text{норм}}=8,5$ лет), значит, данный трансформатор можно использовать в КТП.

Ниже проведем выбо электрооборудования для системы электроснабжения.

«Электрические сети служат для передачи и распределения электрической энергии к цеховым потребителям промышленных предприятий.

Все шинопроводы, провода и кабели выбираются с учётом характера окружающей среды, размещением технологического оборудования, протекающим по ним токов и напряжению» [24].

Трансформаторы ТМ 400/10 на КТП комплектуются с вводным устройством ВПП-17 и предохранителями ПК-6 100А.

«Автоматические выключатели обеспечивают одновременно функции коммутации силовых цепей и защиту электроприемников, а также защиту сетей от перегрузки и коротких замыканий. Аппараты имеют тепловой расцепитель и электромагнитный. Автоматы снабжаются дугогасящими устройствами в виде фибровых пластин либо дугогасящих камер» [19].

Выбор автомата QF1.

Номинальный ток трансформатора:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_2}, \quad (35)$$

где « $S_{\text{тр}}$ – полная мощность трансформатора, кВА;

U_2 – напряжение трансформатора на низкой стороне, кВ» [23].

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 608,4 \text{ А.}$$

«Номинальный ток автоматического выключателя должен быть больше или равен расчетному номинальному току трансформатора» [23]: $I_{\text{НОМ.А}} \geq I_{\text{НОМ}} \geq 608,4 \text{ А.}$

Уставка комбинированного расцепителя:

$$I_{\text{ср.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (36)$$

$$I_{\text{ср.р}} \geq 1,25 \cdot 608,4 \geq 760,5 \text{ А.}$$

Принимаем к использованию ВА 55-41 с $I_{\text{НОМ.А}} = 1000 \text{ А.}$

Данные по другим автоматам в таблице 3.

Таблица 3 – Данные автоматических выключателей

Обозначение	Тип	Номинальный ток выключателя, А	Номинальный ток расцепителя, А	Количество
QF1, QF2, QF3	ВА 55-41	1000	1000	3
QF4, QF5, QF8, QF9, QF10, QF11, QF12, QF14	A3794	250	200 250 160	8
QF6, QF7, QF13,	A3716	160	80 160	3

Все автоматические выключатели на КТП выдвижного исполнения.

«Распределительные шинопроводы ШС предназначены для передачи и распределения электроэнергии напряжением 380/220 В при возможности непосредственного присоединения к ним электроприёмников в системах с глухозаземленной нейтралью. Распределительные шинопроводы крепят, так же как и магистральные на стойках, кронштейнах, подвесах» [19].

Выбирается распределительный шинопровод ШС-1 по максимальному рабочему току, который определяется по формуле:

$$I_{\text{макс.р}} = R_c \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{ср}}}, \quad (37)$$
$$I_{\text{макс.р}} = 0,65 \frac{129,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 150,5 \text{ А.}$$

где « R_c – коэффициент спроса, учитывающий одновременное включение электроприемников $R_c = 0,65$;

$P_{\text{ном}}$ – номинальная установленная мощность электроприемников, кВт;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение электроприемников, кВ;

$\cos \varphi_{\text{ср}}$ – средний коэффициент мощности для цеха» [11].

«Номинальный ток шинопровода ШС-1 должен быть больше или равен рабочему максимальному току» [11]: $I_{\text{ном.ш}} \geq I_{\text{макс.р}} \geq 150,5 \text{ А.}$

Применили ШРА 73УЗ $I_{\text{ном.ш}} = 250 \text{ А}$, и вводной автоматический выключатель А3794 $I_n = 250 \text{ А}$, $I_p = 250 \text{ А}$.

Выбираются отходящие автоматические выключатели от шинопровода ШС-1, для этого определяется номинальный ток наибольшего электроприемника ШС-1:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{наиб}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \quad (38)$$
$$I_{\text{ном}} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 39,3 \text{ А.}$$

где $P_{\text{наиб}}$ – мощность наибольшего электроприемника, подключенного к ШС-1, кВт;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электроприемника.

Определяется ток уставки срабатывания расцепителя для отходящих выключателей по формуле:

$$I_{\text{ср.р}} = 1,25 \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (39)$$

$$I_{\text{ср.р}} = 1,25 \cdot 39,3 = 49,1 \text{ А.}$$

Таким образом, выбирается автоматический выключатель АЕ 2056 $I_{\text{н}} = 100 \text{ А}$, $I_{\text{р}} = 50 \text{ А}$.

Аналогично выбираются шинопроводы ШС-2 и ШС-3 и защитная аппаратура к ним, данные сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Данные шинопроводов и защитной аппаратуры к ним

Шинопровод			Аппарат на вводе			Отходящие выключатели			
Обозначение	Тип	$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	Обозначение	Тип	$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	Обозначение	Тип	$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	Кол-во
ШС-1	Ш РА 73 УЗ	250	QF16	А37 94	250	QF24, QF38, QF39, QF45, QF25- QF50	АЕ 2056	100	4
							АЕ2046	63	23
ШС-2	Ш РА 73 УЗ	250	QF17	А37 94	250	QF51- QF54, QF67, QF73- QF77, QF81, QF55- QF83	АЕ 2056	100	10
							АЕ 2046	63	23
ШС-3	Ш РА 73 УЗ	250	QF18	А37 94	250	QF84, QF85, QF87, QF91- QF94, QF96, QF97, QF101, QF102, QF86- QF109	АЕ2056	100	11
							АЕ2046	63	15

«Щитки групповые осветительные предназначены для распределения электрической энергии, защиты от перегрузок и токов короткого замыкания

осветительных и силовых сетей переменного тока с глухозаземленной нейтралью напряжение до 380 В, частоты 50Гц и для нечастых оперативных включений и отключений цепей» [11].

Выбирается осветительный щиток ЩО-1 с автоматическими выключателями в количестве 12 штук.

Определяется ток отходящего автоматического выключателя.

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{н}}}{U_{\text{н}} \cdot \cos\varphi}, \quad (40)$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{1,6}{0,22 \cdot 0,85} = 8,55 \text{ А.}$$

где $P_{\text{н}}$ – номинальная мощность освещения, кВт;

$U_{\text{н}}$ – напряжение сети, кВ;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности ламп.

Таким образом, выбирается осветительный щиток типа ПР8501-1005-1УЗ. Аналогично выбираются осветительные щиты ЩО-2, АЩО-1 и АЩО-2 данные осветительных щитков сводятся в таблицу 5.

Таблица 5 – Данные осветительных щитков

Обозначение	Тип щитка	Номинальный ток, А	Кол-во отход. однополюсных автом. выкл.
ЩО-1	ПР8501-1005-1УЗ	25	12
ЩО-2	ПР8501-1005-1УЗ	25	12
АЩО-1	ПР8501-1001-1УЗ	10	3
АЩО-2	ПР8501-1001-1УЗ	10	3

«Силовые распределительные пункты предназначены для распределения электрической энергии и защиты электрических установок при перегрузках и коротких замыканиях. Пункты изготавливают в виде шкафов, собираемых из отдельных стандартных элементов: ящиков с

соединительными шинами и ящиков с разными аппаратами. Преимущество этого устройства заключается в возможности получения разных схем из небольшого набора стандартных ящиков» [19].

Выбор РП-1.

Ток вводного выключателя:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi_{\text{ср}}}, \quad (41)$$

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{57,66}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 103 \text{ А.}$$

Ток уставки:

$$I_{\text{ср.р}} = 1,25 \cdot I_{\text{НОМ}}, \quad (42)$$

$$I_{\text{ср.р}} = 1,25 \cdot 103 = 128,75 \text{ А.}$$

Выбираем ПР11-3053-31УЗ. Аналогично выбираются распределительные пункты РП-2 – РП-4. Данные по РП-2 – РП-4 сводятся в таблицу 6.

Таблица 6 – Данные распределительных пунктов

Обозначение	Тип распределительного пункта	Наличие вводного выключателя	Номинальный ток шкафа, А	Количество автоматических выключателей		Кол-во
				Однополюсных	Трехполюсных	
РП-1	ПР11-3053-31УЗ	1	250	-	4	1
РП-2	ПР11-7078-31УЗ	1	250	-	10	1
РП-3	ПР11-7078-31УЗ	1	250	-	10	1
РП-4	ПР11-3048-31УЗ	1	100	-	2	1

Силовые ящики предназначены для защиты от токов короткого замыкания и нечастых включений и отключений под нагрузкой электрических цепей трёхфазного тока. Ввод и вывод проводов осуществляется через верхнюю и нижнюю съемные крышки. Комплекуются ящики выключателем с предохранителями.

Выбирается силовой ящик Q1, для этого определяется установленная мощность крана, питающегося через ящик по формуле:

$$P_{уст} = P_{ном} \sqrt{\frac{ПВ\%}{100}}, \quad (43)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность крана, кВт.

$$P_{уст} = 5 \sqrt{\frac{40}{100}} = 3,2 \text{ кВт.}$$

Определяется номинальный ток для силового ящика Q1 по формуле:

$$I_{ном} = \frac{P_{уст}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}, \quad (44)$$

где $\cos\varphi$ – коэффициент мощности крана.

$$I_{ном} = \frac{3,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5} = 9,7 \text{ А.}$$

Определяется ток плавкой вставки предохранителя силового ящика Q1 по формуле:

$$I_{плав} = 2,5 \cdot I_{ном}, \quad (45)$$

$$I_{плав} = 2,5 \cdot 9,7 = 24,25 \text{ А.}$$

Таким образом, выбирается силовой ящик БПВ-1УЗ.

Аналогично выбираются силовые ящики Q2 и Q3, данные которых сводятся в таблицу 7.

Выбираются измерительные приборы, сведения о которых сводятся в таблицу 7. Сведения об измерительных приборах представляются в виде таблицы 8.

Таблица 7 – Данные силовых ящиков

Обозначение	Тип ящика	Номинальный ток, А	Номинальный ток плавких вставок, А	Количество
Q1	БПВ-1УЗ	100	25	1
Q2	БПВ-1УЗ	100	25	1
Q3	БПВ-1УЗ	100	15	1

Таблица 8 – Данные измерительных приборов

Данные измерительных приборов	
Вольтметр электромагнитный	
Э378	
$U_{ном} = 380 В$	$U_{ном} = 380 В$ $U_{пред} = 600 В$ Класс точности 1,5
Амперметр электромагнитный	
Э378	
$I_{ном1} = 5 А$	Класс точности 1,5
Счётчик трёхфазный трансформаторный универсальный	
ЦЭ-6850	
$U_{ном} = 380 В$	$U_{ном} = 380 В$ Пределы измерения: $I = 1;5 А$ $U = 380 В$ Класс точности 1,0
Трансформатор тока	
ТНЦЛ – 1000/5	
$U_{ном} = 380 В$	$U_{ном} = 380 В$ $I_{ном1} = 1000 А$ $I_{ном2} = 5 А$

Теперь осуществим выбор проводов и кабелей.

«Кабели подразделяют по материалу, из которого изготовлены их токопроводящие жилы (медь, алюминий), изоляции и материалам, из которых она изготовлена, а также степени герметичности и защищенности кабелей от механических повреждений» [11].

Расчетный ток кабеля, питающего ШС-1:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi}, \quad (46)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная активная мощность ШС-1, кВт;

$U_{\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение электроприемников ШС-1, кВт;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности ШС-1» [11].

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{129,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 231,5 \text{ А}$$

Выбираем кабель «АВВГ – кабель с алюминиевыми жилами, с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой, не бронированный» [22].

Данные по другим кабелям сведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Данные кабелей

Маркировка	Трасса	$P_{\text{н}}$, кВт	$I_{\text{р}}$, А	$I_{\text{доп}}$, А	S , мм ²	Марка кабеля	l, м
К109	от КТП - ШС-1	129,51	231,5	235	4 × 150	АВВГ	15,64
К110	от КТП - ШС-2	164,8	294,5	306	2(4 × 95)	АВВГ	6,08
К111	от КТП - ШС-3	128,34	229,4	235	4 × 150	АВВГ	5,7
К112	от КТП - РП-1	57,66	103	110	4 × 50	АВВГ	4,6
К113	от КТП - РП-2	36,7	65,9	75	4 × 25	АВВГ	15,4
К114	от КТП - РП-3	56,6	101,2	110	4 × 50	АВВГ	53,5
К115	от КТП - РП-4	3,64	6,47	19	4 × 2,5	АВВГ	4,6
К116	от КТП - ЩСУ-1	82,9	148,3	170	4 × 95	АВВГ	20
К117	от КТП - ЩСУ-2	76,7	137	140	4 × 70	АВВГ	25
К118	от КТП - УК-1	Q=110кВА	167	170	4 × 95	АВВГ	10
К119	от КТП - УК-2	Q=110кВА	167	170	4 × 95	АВВГ	8

Выводы.

В результате проведенных расчетов были получены следующие результаты. Активная мощность системы освещения по цеху металлоизделий составила 13600 Вт при общем количестве светильников 258 шт. Активная мощность всех электропотребителей цеха 322,7 кВт, реактивная мощность 356,75 квар, полная мощность 481 кВА. Для компенсации реактивной мощности выбрали два компенсирующих устройств УК-0,38-110Н суммарной мощностью 220 квар. Выбрали комплектную трансформаторную подстанцию КТП-10/0,4-2-400 с двумя силовыми трансформаторами типа ТМ-400/10. Срок окупаемости нового трансформатора 3,83 лет. Трансформаторы на КТП комплектуются вводным устройством ВНП-17 и предохранителями ПК-6 100А. Подобраны и проверены по критериям соответствия автоматические выключатели. На входе установлен автоматический выключатель ВА55-41 с $I_{\text{ном.А}} = 1000 \text{ А}$. Выбрали распределительный шинопровод ШРА73УЗ $I_{\text{ном.ш}} = 250 \text{ А}$, и вводной автоматический выключатель А3794 $I_{\text{н}} = 250 \text{ А}$, распределительный пункт ПР11-3053-31УЗ, осветительный щиток типа ПР8501-1005-1УЗ, силовой ящик БПВ-1УЗ. Выбраны и проверены на работоспособность вольтметр Э378, амперметр Э378, счетчик электроэнергии ЦЭ-6850, трансформатор тока ТНШЛ-1000/5.

3 Мероприятия по технике безопасности и охране труда

3.1 Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ

При подготовке рабочего места со снятием напряжения должны быть в указанном порядке выполнены следующие технические мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие подаче напряжения на место работы вследствие ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов;
- на приводах ручного и на ключах дистанционного управления коммутационных аппаратов должны быть вывешены запрещающие плакаты;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях, которые должны быть заземлены для защиты людей от поражения электрическим током;
- наложено заземление (включены заземляющие ножи, а там где они отсутствуют, установлены переносные заземления);
- вывешены указательные плакаты «Заземлено», ограждены при необходимости рабочие места и оставшиеся под напряжением токоведущие части, вывешены предупреждающие и предписывающие плакаты.

При подготовке рабочего места должны быть отключены:

- токоведущие части, на которых будут производиться работы;
- не огражденные токоведущие части, к которым возможно случайное приближение людей, механизмов и грузоподъемных машин;
- цепи управления и питания проводов, закрыт воздух в системах управления коммутационными аппаратами, снят завод с пружин и грузов у приводов выключателей и разъединителей.

В электроустановках напряжением выше 1000В с каждой стороны, с которой коммутационным аппаратом на рабочее место может быть подано напряжение, должен быть видимый разрыв. Видимый разрыв может быть создан отключением разъединителей, снятием предохранителей, отключением отделителей и выключателей нагрузки, отсоединением или снятием шин и проводов.

В электроустановках напряжением выше 1000В для предотвращения ошибочного или самопроизвольного включения коммутационных аппаратов, которыми может быть подано напряжение к месту работы, должны быть приняты следующие меры:

- у разъединителей, отделителей, выключателей нагрузки ручные приводы в отключенном положении должны быть заперты на механический замок;
- у приводов коммутационных аппаратов, имеющих дистанционное управление, должны быть отключены силовые цепи и цепи управления, а у пневматических приводов, кроме того, на подводящем трубопроводе сжатого воздуха должна быть закрыта и заперта на механический замок, задвижка и выпущен сжатый воздух, при этом отпусковые клапаны должны быть оставлены в открытом положении;
- у грузовых и пружинных приводов включающий груз или включающие пружины должны быть приведены в нерабочее положение.

В электроустановках до 1000В со всех токоведущих частей, на которых будет проводиться работа, напряжение должно быть снято отключением коммутационных аппаратов с ручным приводом, а при наличии в схеме предохранителей – снятием последних. При отсутствии в схеме предохранителей предотвращение ошибочного включения коммутационных аппаратов должно быть обеспечено такими мерами, как запирающие ручки или дверцы шкафа, закрытие кнопок, установка между контактами коммутационного аппарата изолирующих прокладок и другие.

Вывешивание запрещающих плакатов [3].

На приводах (рукоятках приводов) коммутационных аппаратов с ручным управлением (выключателей, отделителей, разъединителей, рубильников, автоматов) во избежание подачи напряжения на рабочее место, должны быть вывешены плакаты «Не включать! Работают люди».

У однополюсных разъединителей плакаты вывешиваются на приводе каждого полюса, у разъединителей, управляемых оперативной штангой, – на ограждениях. На задвижках, закрывающих доступ воздуха в пневматические приводы разъединителей, вывешиваются плакаты «Не открывать! Работают люди» должен быть вывешен у снятых предохранителей.

Плакаты должны быть вывешены на ключах и кнопках дистанционного и местного управления, а также на автоматах или у места снятых предохранителей цепей управления и силовых цепей питания приводов коммутационных аппаратов.

Проверка отсутствия напряжения.

Проверять отсутствие напряжения необходимо указателем напряжения, исправность которого перед применением должна быть установлена с помощью предназначенных для этой цели специальных приборов или приближением к токоведущим частям, заведомо находящимися под напряжением.

В электроустановках напряжением выше 1000В пользоваться указателем напряжения необходимо в диэлектрических перчатках.

В электроустановках напряжением 35кВ и выше для проверки отсутствия напряжения можно пользоваться изолирующей штангой, прикасаясь ею несколько раз к токоведущим частям [5]. Признаком отсутствия напряжения является отсутствие искрения и потрескивания. На одно-цепных ВЛ напряжением 330кВ и выше достаточным признаком отсутствия напряжения является отсутствие коронирования.

В РУ проверять отсутствие напряжения разрешается одному работнику из числа оперативного персонала, имеющему группу 4 – в электроустановках

напряжением выше 1000В и имеющему группу 3 – в электроустановках напряжением до 1000В.

В электроустановках напряжением до 1000В с заземленной нейтралью при применении двухполюсного указателя проверять отсутствие напряжения нужно как между фазами, так и между каждой фазой и заземленным корпусом оборудования или защитным проводником. Допускается применять предварительно проверенный вольтметр. Запрещается пользоваться контрольными лампами.

Установка заземления.

Устанавливать заземления на токоведущие части необходимо непосредственно после проверки отсутствия напряжения.

Переносное заземление сначала нужно присоединить к заземляющему устройству, а затем, после проверки отсутствия напряжения, установить на токоведущие части, снимать переносное заземление необходимо в обратной последовательности.

Установка и снятие переносных заземлений должны выполняться в диэлектрических перчатках с применением в электроустановках напряжением выше 1000В.

Установка заземлений в распределительных устройствах.

В электроустановках напряжением выше 1000В заземляться должны токоведущие части всех фаз (полюсов) отключенных для работ участка и всех сторон, откуда может быть подано напряжение, за исключением отключенных для работ сборных шин.

В электроустановках напряжением до 1000В операции по установке и снятию заземлений разрешается выполнять одному работнику, имеющему группу 3, из числа оперативного персонала.

В электроустановках напряжением выше 1000В устанавливать переносные заземления должны два работника: один имеющий группу 4, другой имеющий группу 3.

Установка заземлений на ВЛ.

ВЛ напряжением выше 1000В должны быть заземлены во всех РУ и у секционирующих коммутационных аппаратов, где отключена линия.

На ВЛ с расщепленными проводами допускается в каждой фазе заземлять только один провод; при наличии изолирующих распорок заземлять требуется все провода фазы.

Переносные заземления следует присоединять на металлических опорах – к их элементам, на железобетонных и деревянных опорах с заземляющими спусками-к этим спускам после проверки их целостности.

На ВЛ, отключенных для ремонта, устанавливать, а затем снимать переносные заземления и включать имеющиеся на опорах заземляющие ножи должны работники из числа оперативного персонала: один имеющий группу 4, второй имеющий группу 3.

Ограждение рабочего места, вывешивание плакатов.

В электроустановках должны быть вывешены плакаты «Заземлено» на приводах разъединителей, отделителей и выключателей нагрузки.

На ограждениях камер, шкафах и панелях, граничащих с рабочим местом, должны быть вывешены плакаты «Стой! Напряжение».

Для временного ограждения токоведущих частей, оставшихся под напряжением, могут применяться щиты, ширмы, экраны и т.п.

На подготовленных рабочих местах в электроустановках должен быть вывешен плакат «Работать здесь».

3.2 Расчёт контура заземления цеховой ТП

Рассчитать заземляющий цеховой контур если известно:

- «грунт-суглинок;
- вертикальный заземлитель – уголок с размерами $50 \times 50 \times 4$; $l = 3$ м;
- горизонтальный заземлитель - полоса 40×4 м;
- расстояние между вертикальными заземлителями – $a = 4,5$ м;

- заземляющий контур заглубляется в землю на глубину 0,7 м» [4] (см. рисунок 1);

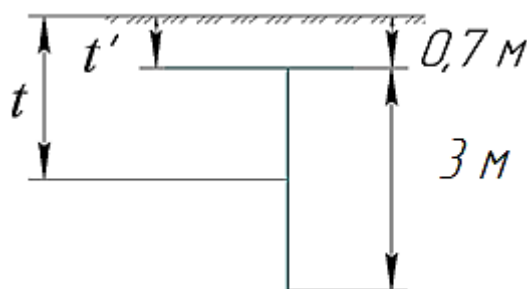


Рисунок 1 – Схема расположения заземлителя

Принимаем $R_{\text{н}} = 4 \text{ Ом}$, $k_{\text{в}} = 1,8$, $\rho_{\text{ср}} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ [16]. Определяем среднее удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{\text{ср}} = k_{\text{в}} \cdot \rho, \quad (47)$$

$$\rho_{\text{ср}} = 1,8 \cdot 100 = 180 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Определяется сопротивление растеканию одного вертикального электрода:

$$R_{\text{в.о}} = \frac{\rho_{\text{э.г}}}{2\pi L_{\text{в.з}}} \left(\ln \frac{2L_{\text{в.з}}}{d_{\text{в.з}}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{\text{в.з}} + L_{\text{в.з}}}{4 \cdot T_{\text{в.з}} - L_{\text{в.з}}} \right), \quad (48)$$

где « $L_{\text{в.з}}$ – длина вертикального электрода, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины электрода, м;

d – диаметр забиваемых электродов, м» [12].

$$R_{\text{в.о}} = \frac{180}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,048} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,2 + 1}{4 \cdot 2,2 - 1} \right) = 47,2 \text{ Ом}.$$

Определяется «примерное число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования» [16]:

$$n_{\text{уточн}} = \frac{R_{\text{В.О}}}{\eta_{\text{В}} \cdot R_{\text{н}}}, \quad (49)$$

где « $\eta_{\text{В}}=0,7$, так как $a/l=4.5/3=1,5$ – коэффициент использования» [16].

$$n_{\text{уточн}} = \frac{47,2}{0,7 \cdot 4} = 16,9 \approx 17 \text{ шт.}$$

Определение «сопротивления растеканию горизонтальных электродов» [16]:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{н}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\Gamma}} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l_{\Gamma}^2}{b \cdot t'} \right), \quad (50)$$

где « b – длина соединительной полосы, м;

$t'=0,72$ м – расстояние от поверхности земли до середины высоты соединительной полосы» [16]:

$$R_{\Gamma} = \frac{450}{2 \cdot 3,14 \cdot 80,3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 80,3^2}{0,04 \cdot 0,72} \right) = 11,6 \text{ Ом.}$$

«Длина соединительной полосы:

$$l_{\Gamma} = 1,05 \cdot n \cdot a, \quad (51)$$

где a – расстояние между забиваемыми электродами, м» [16].

$$l_{\Gamma} = 1,05 \cdot 17 \cdot 4,5 = 80,3 \text{ м.}$$

«Удельное сопротивление для горизонтальных электродов» [16]:

$$\rho = \kappa_{\Gamma} \cdot \rho, \quad (52)$$

$$\rho = 4,5 \cdot 100 = 450 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Уточняется «необходимое сопротивление вертикальных электродов с учетом сопротивления горизонтальной полосы» [16]:

$$R'_B = \frac{R_\Gamma \cdot R_{и}}{R_\Gamma - R_{и}}, \quad (53)$$

$$R'_B = \frac{11,6 \cdot 4}{11,6 - 4} = 6,1 \text{ Ом.}$$

Уточняется «число вертикальных электродов с учетом сопротивления коэффициента использования» [16]:

$$n = \frac{R_{В0}}{\eta_B \cdot R'_B}, \quad (54)$$

$$n = \frac{47,2}{0,7 \cdot 6,1} = 12 \text{ шт.}$$

Определяется «сопротивление выбранного заземляющего контура» [16]:

$$R_3 = \frac{R_\Gamma \cdot R'_B}{R_\Gamma + R'_B}, \quad (53)$$

$$R_3 = \frac{11,6 \cdot 6,1}{11,6 + 6,1} = 3,997 \text{ Ом.}$$

Выводы.

Сопротивление заземляющего устройства соответствует требованиям ПУЭ, не превышает 4 Ом, следовательно, выбор заземлителей произведен, верно. Устройство контура заземления показано в графической части проекта.

4 Расчет затрат на электроснабжение цеха металлоизделий

Составляется таблица 10 затрат на покупку необходимого электрооборудования [9].

Таблица 10 – Смета затрат на покупку электрооборудования

Наименование	Тип	Единицы измерения	Кол-во	Стоимость	
				за единицу	с учетом кол-ва
Автоматические выключатели	А 3794	шт.	3	21409-50	64228-50
	АЕ 2056	шт.	26	649-00	16874-00
	АЕ 2046	шт.	60	552-62	33157-20
Распределительный шинопровод: секции прямые I=3000мм	ШРА73 У3	шт.	21	140-00	2940-00
			21		2940-00
			27		3780-00
КТП	КТП 10/0,4 2×400	шт.	1	285950	285950
Распределительные пункты	ПР11-7078-31У3	шт.	2	4500-00	9000-00
	ПР11-3053-31У3	шт.	1	4059-00	4059-00
	ПР11-3048-31У3	шт.	1	3553-00	3553-00
Щитки осветительные	ПР8501-1005-1У3	шт.	2	2594-00	5188-00
	ПР8501-1001-1У3	шт.	2	1628-00	3256-00
Светильники	РСП 05	шт.	24	420-85	10100-40
	ЛВО 03	шт.	69	736-25	50801-25
	ЛВО 31	шт.	25	688-75	17218-75
	ЛВП 04	шт.	84	1263-50	106134-00
	ЛПО 01	шт.	4	131-25	525-00
	НБО 07	шт.	4	50-40	201-60
	НСП 05	шт.	6	255-20	1531-20
	НСП 03	шт.	38	79-20	3009-60
Лампы	ДРЛ 400	шт.	24	298-97	7175-28
	ЛД 20	шт.	8	25-00	200-00
	ЛД 40	шт.	60	30-00	1800-00
	ЛД 65	шт.	196	42-90	8408-40
	ЛД 80	шт.	396	65-40	25898-40
	Г 60	шт.	42	23-70	995-40
	Г 500	шт.	6	50-30	301-80

Продолжение таблицы 10

Наименование	Тип	Единицы измерения	Кол-во	Стоимость	
				за единицу	с учетом кол-ва
Компенсирующие устройства	УК-0,38-110Н	шт.	2	46381-00	92762-00
Силовые ящики	БПВ-1У3	шт.	3	1321-00	3963-00
Кабель АВВГ	4×150 мм ²	м	21,34	240-35	5131-47
	4×95 мм ²	м	50,16	180-50	9053-88
	4×70 мм ²	м	25	135-00	3375-00
	4×50 мм ²	м	58,1	98-00	5693-80
	4×25 мм ²	м	15,4	52-00	800-80
	4×16 мм ²	м	48,5	32-00	1552-00
	4×2,5 мм ²	м	53,1	8-50	451-35
Провод ПВЗ	4×2,5 мм ²	м	1504,8	7-35	11060-28
	4×4 мм ²	м	59	11-80	696-20
	4×6 мм ²	м	33,4	18-15	606-21
Всего:					804372,8

Рассчитываются затраты на монтаж оборудования и заносятся в таблицу

11.

Таблица 11 - Затраты на монтаж электрооборудования

Наименование	Тип	Кол-во шт., м.	Кол-во часов	Заработная плата	
				за единицу	с учетом кол-ва
Автоматические выключатели	А 3794	3	0,3	11-03	33-10
	АЕ 2056	26	0,3		286-78
	АЕ 2046	60	0,3		661-80
Распределительный шинопровод: секции прямые l=3000мм	ШРА73 У3	21	0,25	9-20	193-20
		21	0,25		193-20
		27	0,25		248-40
КТП	КТП 10/0,4 2×400	1	8	294-24	294-24
Распределительные пункты	ПР11-7078-31У3	2	4	147-12	294-24
	ПР11-3053-31У3	1			147-12
	ПР11-3048-31У3	1			147-12
Щитки осветительные	ПР8501-1005-1У3	2	3,5	128-73	257-46
	ПР8501-1001-1У3	2			257-46
Светильники	РСП 05	24	0,5	18-39	441-36
	ЛВО 03	69			1268-91
	ЛВО 31	25			459-75

Продолжение таблицы 11

Наименование	Тип	Кол-во шт., м.	Кол-во часов	Заработная плата	
				за единицу	с учетом кол-ва
	ЛВП 04	84			1544-76
	ЛПО 01	4			73-56
	НБО 07	4			73-56
	НСП 05	6			110-34
	НСП 03	38			698-82
Лампы	ДРЛ 400	24	0,2	7-36	176-64
	ЛД 20	8	0,05	1-84	14-72
	ЛД 40	60	0,05	1-84	110-40
	ЛД 65	196	0,05	1-84	360-64
	ЛД 80	396	0,05	1-84	724-64
	Г 60	42	0,15	5-52	231-84
	Г 500	6	0,15	5-52	33-12
КУ	УК-0,38-110Н	2	1,5	55-17	110-34
Силовые ящики	БПВ-1У3	3	1,2	44-13	132-39
Кабель АВВГ	4x150 мм ²	21,34	0,2	7-36	156-98
	4x95 мм ²	50,16			369-18
	4x70 мм ²	25			184-00
	4x50 мм ²	58,1			427-62
	4x25 мм ²	15,4			113-34
	4x16 мм ²	48,5			356-96
		53,1			390-82
Провод ПВ3	4x2,5 мм ²	1504,8	0,15	5-52	8306-50
	4x4 мм ²	59			325-68
	4x6 мм ²	33,4			184-37
Всего:					20395-36

По [20] определяются экономические показатели проекта электроснабжения и сводятся в таблицу 12.

Таблица 12 - Расчет экономических показателей

Статьи затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты	804372,8
Транспортные расходы	107785,9
Прямая заработная плата	20395,36
Премия	6118,6
Районный коэффициент	3977,1
Дополнительная заработная плата	4573,6

Продолжение таблицы 12

Статьи затрат	Сумма, руб.
Выслуга лет	6738,5
ЕСН	9679,7
Цеховые расходы	65673
Общезаводские расходы	40790,7
Итого: Заводские расходы	1070105,3
Затраты на тару	26752,6
Прибыль	117789,12
Оптовая цена	1214647
НДС	218636,5
Отпускная цена	1433283,5

Выводы.

Полная стоимость на покупку и монтаж системы электроснабжения цеха металлоизделий составила 1433283,5 рублей, в том числе материальные затраты на закупку необходимого электрооборудования в сумме 804372,8 руб.

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована система электроснабжения цеха металлоизделий машиностроительного завода. Для проектирования требовалось выполнить: описательную часть проекта, расчетную часть проекта, экономическую часть проекта, рассмотреть мероприятия по технике безопасности и графическую часть.

В описательной части проекта была рассмотрена характеристика потребителей цеха, то есть все электроприёмники характеризовались по напряжению, по режиму работы, по роду тока, по степени бесперебойности. Также была описана однолинейная электрическая схема.

В расчетной части был произведен расчет электрического освещения. Он произведен с целью выявления необходимой мощности, расходуемой на освещение цеха, а также необходимое количество светильников. Был произведён расчет электрических нагрузок, который произведён с целью выявления полной максимальной мощности цеха необходимой для последующего выбора трансформаторов. Выбрано компенсирующее устройство, необходимое для снижения потребления реактивной мощности и повышения коэффициента мощности сети. Выбрана трансформаторная подстанция. Так как цех металлоизделий относится к потребителю второй категории по надежности электроснабжения, то на подстанции должно быть установлено два трансформатора. Были выбраны питающие и распределительные сети напряжением до 1000 В. В качестве распределительного шинпровода был выбран ШРА-73 с допустимой нагрузкой 250 А, а также были выбраны распределительные пункты и щиты освещения. Также к ним была выбрана защита от токов короткого замыкания и перегрузок. Для выполнения защитных функций были выбраны автоматические выключатели с комбинированным расцепителем. Для защиты рабочего персонала был произведен расчет заземляющих устройств. В цехе

металлоизделий электроснабжение выполнено по схеме блок «трансформатор-магистраль». К достоинствам этой схемы можно отнести то, что перемещение технологического оборудования не вызывает переделок сети.

В экономической части был произведен расчет затрат на электроснабжение цеха металлоизделий.

В ходе выполнения ВКР спроектирована однолинейная схема цеха металлоизделий и разработан план подключения оборудования цеха к распределительным сетям. К этой схеме был сделан перечень оборудования, находящегося в цехе, а также разработаны план подключения электрического освещения, план и разрез КТП, контур заземления. Электроснабжение цеха металлоизделий было спроектировано с учетом всех условий, необходимых для его надежной и безопасной работы.

Список используемых источников

1. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М. 2018. 416 с.
2. Баранов Л. А. Светотехника и электротехнология. М.: Колос. 2018. 343с.
3. Безопасность жизнедеятельности в энергетике : учебник для студ. высш. учеб. Заведений - М. : Издательский центр «Академия». 2018. 400 с. [Электронный ресурс] : URL: https://academia-moscow.ru/ftp_share/_books/fragments/fragment_17032.pdf (дата обращения: 10.02.2023)
4. Газалов В. С. Светотехника и электротехнология. Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА. 2018. 268 с.
5. Группы допуска по электробезопасности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «U-hold.ru». URL: <https://www.u-hold.ru/stati/gruppy-dopuska-elektrikov-i-osobennosti-ikh-polucheniya/> (дата обращения: 12.02.2023)
6. Капитальный ремонт трансформаторов [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Forca.ru». URL: <https://forca.ru/instrukcii-po-ekspluatacii/podstancii/kapitalnyy-remont-transformatorov.html> (дата обращения: 10.02.2023)
7. Коэффициент мощности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Хомов Электро». URL: <https://khomovelectro.ru/articles/koeffitsient-moshchnosti-osnovnye-ponyatiya.html> (дата обращения: 04.03.2022)
8. Кудрин Б. И. Электроснабжение. М.: Academia. 2018. 352 с.
9. Курдюмов В. И., Зотов Б. И. Энергетика и экономика. М.: Колос. 2019. 247 с.
10. Подстанции промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Forca.ru». URL: <https://forca.ru/knigi/arhivy/montazh-podstanciy-promyshlennyh-predpriyatiy-5.html> (дата обращения: 14.02.2023)
11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : 7-е изд-е. М.: Альвис.

2018. 632 с.

12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей: 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат. 2019. 174 с.

13. Производственный процесс. Автомобилестроение. [Электронный ресурс] : URL: https://www.cfin.ru/management/manufact/product_process.shtml. (дата обращения: 05.03.2023)

14. Расчет освещенности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Световые технологии». URL: <https://www.ltcompany.com/ru/solutions/illumination-calculator/>. (дата обращения: 01.02.2023)

15. Расчет вентиляции [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «AboutDC.ru». URL: <https://aboutdc.ru/page/1728.php> (дата обращения: 04.02.2023)

16. Расчет заземления [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Zandz.com». URL: https://zandz.com/ru/raschet_zazemleniya/ (дата обращения: 12.02.2023)

17. Ремонт силовых трансформаторов [Электронный ресурс] : URL: https://studme.org/240005/tehnika/remont_silovyh_transformatorov (дата обращения: 11.03.2023)

18. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия. 2019. 328 с.

19. Сибикин Ю. Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия. 2019. 464 с.

20. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).

21. Справочник по проектированию электрических сетей : под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС. 2018. 312 с.

22. Справочник по проектированию электроснабжения : под ред. Ю.Г. Барыбина и др. М.: Энергоатомиздат. 2019. 576 с.

23. Техническое обслуживание силовых трансформаторов [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «ЕНТО.ру». URL: <https://ehto.ru/spravochnik-ehektrika/tehnicheskoe-obslyzhivanie-silovyh-transformatorov> (дата обращения: 10.02.2023)
24. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. М.: Лань. 2019. 480 с.
25. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра-М. 2018. 136 с.
26. Kolleen Kessler. Electricity and magnetism. See all formats and editions. Paperback, September 12. 2018.
27. Howard C. Hayden. Energy: a textbook. See all formats and editions. Perfect Paperback, June 2\., 2018.
28. Stephen P. Mayfield. Our Energy Future: Introduction to renewable energy and biofuels. Paperback – Illustrated, 18 Mart. 2019.
29. Robert L. Jaffe. The physics of energy. MIT Energy Initiative from the S. D. Bechtel, Jr. Foundation. Publication is planned for March 2018
30. David MacKay's. Understanding energy use and technology. By Bill Gates. January 15. 2020.