

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 Реконструкция системы электроснабжения ООО «Лифтремонт-Сервис»

Обучающийся

А.И. Демидов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.И. Платов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

В выпускной квалификационной работе рассмотрена реконструкция системы электроснабжения ООО «Лифтремонт-Сервис».

Основная цель реконструкции системы электроснабжения – уменьшение расходной части энергообеспечения и повышение надежности электроснабжения с целью недопущения простоев и брака продукции.

Для достижения главной цели необходимо решить ряд важных технико-экономических задач, а именно:

- перевод питающего напряжения цеха с 6 кВ на 10 кВ, в связи с переводом питающего центра 35 кВ ПС «Песочня» на напряжение 35/10 кВ;
- замена распределительной сети в части кабельных линий;
- пересчет уставок защит для от токов внешних коротких замыканий;
- расчет заземления и молниезащиты предприятия.

В разделе «Общая характеристика предприятия и постановка задачи реконструкции его системы электроснабжения» представлены сведения о предприятии, анализ существующей системы электроснабжения и определяется основная цель для реконструкции системы электроснабжения.

В разделе «Разработка проекта системы электроснабжения» выбирается тип и мощность асинхронных двигателей цеховых станков, определяются электрические нагрузки методом упорядоченных диаграмм, марка, сечение и электрических кабелей распределительной сети. Производится расчет токов коротких замыканий в системе именованных единиц, выбор защитных аппаратов. Производится расчет системы освещения.

В разделе «Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения» выбираются основные устройства защиты и автоматики. Производится расчет заземления и молниезащиты цеха. Выполняется экономический анализ предприятия и формулируется вывод.

Работа содержит: 64 страниц текста, 4 рисунка, 17 таблиц, 6 чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Общая характеристика ООО «Лифтремонт - Сервис» и постановка задачи реконструкции его системы электроснабжения.....	6
1.1 Общая характеристика ООО «Лифтремонт - Сервис».....	6
1.2 Анализ существующей системы электроснабжения предприятия.....	7
1.3 Цели и задачи реконструкции системы электроснабжения.....	8
2 Разработка проекта системы электроснабжения.....	9
ООО «Лифтремонт - Сервис».....	9
2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия.....	9
2.2 Расчет системы освещения.....	24
2.3 Выбор схемы электроснабжения и ее элементов.....	34
2.4 Расчет токов короткого замыкания.....	45
2.5 Выбор защитной и коммутационной аппаратуры.....	48
3 Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения.....	53
3.1 Релейная защита и автоматика.....	53
3.2 Молниезащита и заземление.....	55
3.3 Экономический анализ.....	58
Заключение.....	62
Список используемых источников.....	63

Введение

В настоящее время в связи с нестабильной экономической ситуацией как никогда остро встает вопрос оптимизации расходной части в балансе любого промышленного предприятия.

Для промышленных предприятий, имеющих энергоемкое или энергозависимое производство, характерны следующие расходы:

- потери электрической энергии (коммерческие и технические);
- расходы связанные с эксплуатацией электрооборудования (фонд оплаты труда, запасные части и материалы, обслуживание техники, ремонтная программа предприятия);
- неявные виды расходов, которые появляются при низкой энергоэффективности применяемого электрооборудования (низкий коэффициент полезного действия);

Вместе с ростом расходной части предприятий, которое следует за всеобщим увеличением цен в экономике страны, наблюдается отсутствие инвестиций в электросетевое хозяйство и высокий физический и моральный износ существующего оборудования.

Совокупность всех этих факторов приводит к тому, что осуществлять надежное, бесперебойное и качественное электроснабжение технологических процессов становится все сложнее.

В этой связи актуальным становится вопрос о проведении реконструкции существующей системы электроснабжения предприятия. Замена источников света позволит повысить эффективность затрат на освещение, модернизация устройств защиты и автоматики обеспечит надежное и качественное электроснабжение.

Замена устаревшего коммутационного и распределительного оборудования, переукладка кабельных линий уменьшит число отказов и технологических нарушений, что в конечном счете повлияет на снижение процента брака продукции в целом.

В настоящее время на предприятии ООО «Лифтремонт - Сервис» для электроснабжения и освещения используются:

- люминесцентные (в административных помещениях) и газоразрядные (в производственных помещениях) источники освещения;
- масляные трансформаторы 1981 года выпуска;
- распределительные устройства 10 кВ на сборных камерах типа КСО 1979 года выпуска;
- распределительные устройства 0,4 кВ на сборных камерах типа ЩО-70 1984 года выпуска;
- кабельные линии, проложены в техподполье, без доступа для осмотра, применены алюминиевые кабели типа АБЛ, АВГ.

Таким образом, существующее электрооборудование морально устарело, по некоторым параметрам не соответствует требованиям действующих нормативно-технических документов.

Предполагается что комплексный подход к вопросу реконструкции системы электроснабжения поможет снизить долю расходов на электроэнергию и сопутствующих с ней затрат, что в общем уменьшит себестоимость продукции и повысит доходность предприятия.

1 Общая характеристика ООО «Лифтремонт - Сервис» и постановка задачи реконструкции его системы электроснабжения

1.1 Общая характеристика ООО «Лифтремонт - Сервис»

Предприятие ООО «Лифтремонт - Сервис» расположено в Рязанской области, г. Рязань. Основной вид деятельности предприятия – производство строительно-монтажных и ремонтных работ.

Количество рабочих смен - 3.

Требуемая категория надежности электроснабжения - 2 и 3.

Категория взрывопожароопасности - В.

Предприятие занимается техническим обслуживанием, монтажом лифтового оборудования, производством комплектующих для лифтового оборудования.

На территории предприятия находятся производственный цех, складские навесы и административное помещение.

Цех металлообработки занимается производством противодымной вентиляции, элементов крепления для механической части лифтов, деталей монтажа лифтового оборудования в машинном помещении и в шахте здания.

В административном здании расположены инженерно-техническая служба, отдел обслуживания и ремонта электронных компонентов, который занимается пуско-наладочными работами и настройкой электрической части лифтового оборудования, аппарат управления.

Инженерно-техническая служба занимается ведением технической документации по каждому производственному объекту, осуществляет деятельность по поддержанию рабочего технологического цикла предприятия.

1.2 Анализ существующей системы электроснабжения предприятия

Электроснабжение предприятия осуществляется от КТП 6/0,4 кВ №267 мощностью 2х250 кВА.

Трансформаторы эксплуатируются на протяжении значительного срока, порядка 30 лет, однако их состояние можно назвать удовлетворительным, трансформаторы проходили два текущих ремонта.

Двухтрансформаторные подстанции снабжаются электроэнергией по двум независимым линиям (фидерам) от разных ячеек разных секций 6 кВ ПС 35/6 кВ, которые по сути являются независимыми источниками питания. Кабельные линии проложены кабелями с алюминиевыми жилами, с броней и металлической оболочкой. Марка кабелей – АБЛ 3х70. Степень износа кабельных линий можно определить как значительную в связи с длительным периодом эксплуатации, т.к. кабели проложены в траншее, они также испытывают воздействие агрессивных грунтов и блуждающих токов. Суммарно на двух кабельных линиях установлено 6 ремонтных муфт, что также свидетельствует о высокой степени износа кабельных линий. В качестве основных коммутационных аппаратов 0,38 кВ используемых в комплектной цеховой подстанции являются автоматические выключатели типа АЕ1031, АЕ20476М (расшифровывается как автоматический выключатель), со следующим номиналом токов до 400 А.

Схема РУ-10 кВ - построена по принципу «два блока трансформатор-разъединитель». Каждый из блоков питает независимая кабельная линия 6 кВ, к каждому блоку подключен свой силовой трансформатор.

На низшем напряжении в РУ-0,4 кВ имеется возможность перевода нагрузки между секциями шин при помощи секционного разъединителя. Параллельная работа обеих секций шин не допускается.

1.3 Цели и задачи реконструкции системы электроснабжения

Как было уже сказано выше, один из инструментов извлечения прибыли - сокращение или оптимизация издержек. Для рассматриваемого предприятия уменьшение потерь электроэнергии, рационализация энергопотребления - один из верных путей к увеличению прибыли, что является конечной целью любого ООО или АО.

Таким образом основная цель реконструкции СЭС - уменьшение расходной части энергообеспечения в балансе предприятия и повышение надежности и качества электроснабжения с целью недопущения простоев и брака продукции.

На пути к этой главной цели необходимо решить ряд важных технико-экономических задач, а именно:

- перевод питающего напряжения цеха с 6 кВ на 10 кВ, в связи с переводом питающего центра 35 кВ ПС «Песочня» на напряжение 35/10 кВ;
- замена распределительной сети в части кабельных линий, прокладка линий с использованием современных кабеленесущих систем;
- пересчет уставок защит для согласованной и селективной защиты от токов внешних коротких замыканий.

Благодаря решению всех вышеперечисленных задач, возможно добиться увеличения прибыли предприятия.

Вывод: Проанализировав первый раздел выпускной квалификационной работы и сформированы основные проектные цели, разумно сделать вывод, что существующая и уже устаревшая электрическая сеть предприятия требует реконструкции и замены основных частей электроснабжения.

2 Разработка проекта системы электроснабжения ООО «Лифтремонт - Сервис»

2.1 Расчет электрических нагрузок предприятия

Ведомость электрооборудования инструментального цеха предприятия приведена в таблице 1.

Таблица 1 - Сводная ведомость электрооборудования цеха

Наименование	Р _{уст} , кВт	Тип	Р _{ном} , кВт	η _{ном}	cosφ _{ном}	I _{ном} , А	I _п /I _н	I _п
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Токарно-револьверный станок	8	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
Токарно-револьверный станок	8	«АИР132S4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Токарно-револьверный станок	8	«АИР132S4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Токарный автомат	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2
Токарный автомат	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2
Горизонтально-фрезерный станок	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2
Алмазно-расточный станок	4,3	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0
Алмазно-расточный станок	4,3	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0
Токарный автомат	8	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Токарный автомат	8	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Наждачный станок	6	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
Наждачный станок	6	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
Токарно-револьверный ст.	8	«АИР132S4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Горизонтально-фрезерный станок	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2
Алмазно-расточный станок	10,6	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Алмазно-расточный станок	10,6	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Горизонтально-фрезерный станок	16	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2
Горизонтально-фрезерный станок	16	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2
Горизонтально-фрезерный станок	16	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
Заточный станок	2,5	«АИР90L2»[1]	3	0,845	0,88	6,13	7	42,9
Заточный станок	2,5	«АИР90L2»[1]	3	0,845	0,88	6,13	7	42,9
Токарно-револьверный станок	10	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Токарно-револьверный станок	10	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Токарно-револьверный станок	10	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Тельфер	20	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2
Тельфер	20	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2
Сварочный преобразователь	15	«ТДМ 305»[17]	19	-	-	-	-	-
Сварочный преобразователь	15	«ТДМ 305»[17]	19	-	-	-	-	-
Сварочный преобразователь	15	«ТДМ 305»[17]	19	-	-	-	-	-
Вентилятор вытяжной	17	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2
Вентилятор приточный	22	«АИР200L8»[1]	22	0,9	0,81	45,85	6	275,1
Вентилятор вытяжной	17	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2

Продолжение таблицы 1

2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вентилятор приточный	22	«АИР200L8»[1]	22	0,9	0,81	45,85	6	275,1
Наждачный станок	4,5	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0
Наждачный станок	4,5	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0
Наждачный станок	4,5	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
Алмазно-расточный станок	10,6	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
Горизонтально-фрезерный станок	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3

Установленная мощность указана в кВА, ПВ = 30%

Приведем пример расчета для электроприемника №1 строгальный станок: $P_{уст} = 9\text{кВт}$. Выбираем электродвигатель АИР132М4 с $P_{ном} = 11\text{кВт}$, коэффициент загрузки равняется:

$$K_3 = \frac{P_{\phi}}{P_{ном}} = \frac{9}{11} = 0,82 \quad (1)$$

где $P_{ном}$ -номинальная мощность двигателя, кВт.

Номинальный ток двигателя определяем:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном} \cdot \eta_{ном}} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 21,95 \quad (2)$$

Пусковой ток двигателя рассчитаем через кратность пускового тока:

$$I_{\Pi} = I_{\text{ном}} \cdot K_{\Pi} = 21,95 \cdot 7,5 = 164,6\text{А}, \quad (3)$$

где K_{Π} - коэффициент пуска.

Приведем пример расчета для электроприемника №34 тельфер. Т.к. для данного электроприемника характерен повторно-кратковременный режим работы:

$$P_{\text{э}} = P_{\text{уст}} \cdot \sqrt{ПВ} = 20 \cdot \sqrt{0,4} = 12,65\text{кВт} \quad (4)$$

Выбираем электродвигатель АИР160S4 с $P_{\text{ном}} = 15\text{кВт}$, коэффициент загрузки рассчитываем по формуле (1):

$$K_{\text{з}} = \frac{P_{\phi}}{P_{\text{ном}}} = \frac{12,65}{15} = 0,73$$

Номинальный ток двигателя определяем по формуле (2):

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\phi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 28,45$$

Пусковой ток двигателя рассчитаем через кратность пускового тока:

$$I_{\Pi} = I_{\text{ном}} \cdot K_{\Pi} = 28,45 \cdot 7 = 199,2\text{А}.$$

Коэффициенты пуска, мощности, КПД двигателя выбраны с соответствиями указанными в [17].

2.1.1 Выбор напряжения внутрицеховой сети

Решение этого вопроса относится к технико-экономическим задачам. При решении этой задачи воспользуемся рекомендациями данными в [11]:

- применять напряжение 660 В для вновь строящихся промышленных объектов следует, если большая часть в составе электроприемников занимают электродвигатели переменного тока мощностью выше 10 кВт, а протяженность кабельных линий распределительной и питающей сети низкого напряжения сравнительно большая;

- напряжение 660 В не подходит для освещения с применением лампами накаливания и люминесцентных светильников, поэтому для этих целей логичнее применять проектное напряжение 380/220 В;

- при проектировании необходимо учитывать, что цепи управления электродвигателями питаются на напряжении 220 В.

Из вышеизложенного следует что применение напряжения 660 В в цеховой сети не является предпочтительным и следует остановиться на варианте сети 380 В.

2.1.2 Расчет нагрузки I уровня электроснабжения

I уровень электроснабжения - это линии электрической сети, связывающие отдельные ЭП с РП, к которому они подключены.

Приведем пример расчета для электроприемника №1 строгальный станок:

$$P_{MI} = P_{\phi} = P_{ном} \cdot K_3 = 9 \text{ кВт}, \quad (5)$$

$$P_3 = P_{уст} \cdot \sqrt{PIB} = 20 \cdot \sqrt{0,4} = 12,65 \text{ кВт}, \quad (6)$$

$$Q_{MI} = P_{MI} \cdot \operatorname{tg} \phi_{ном} = 9 \cdot 0,57 = 5,13 \text{ квар}, \quad (7)$$

$$I_{MI} = \frac{\sqrt{P_{MI}^2 + Q_{MI}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta_{ном}} = \frac{\sqrt{9^2 + 5,13^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,875} = 17,99 \text{ А}. \quad (8)$$

где $P_{уст}$ - установленная мощность двигателя, кВт;

$P_{ном}$ - номинальная мощность двигателя, кВт;

Результаты расчетов электрооборудования внесены в таблицу 2.

Таблица 2 - Расчет нагрузки I уровня

Наименование	Руст, кВт	Тип	Рном, кВт	$\eta_{ном}$	$\cos\phi_{ном}$	Ином, А	Ip/In	Ip	Kз	tg ϕ	Pм1, кВт	Qм1, кВАр	Im1, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,82	0,57	9	5,13	17,99
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,82	0,57	9	5,13	17,99
Токарно-револьверный станок	8	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,73	0,57	8	4,56	15,99
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	1,00	0,57	7,5	4,28	14,99
Токарно-револьверный станок	8	«АИР132S4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,73	0,57	8	4,56	15,99
Токарно-револьверный станок	8	«АИР132S4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,73	0,57	8	4,56	15,99
Токарный автомат	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2	0,80	0,51	12	6,12	22,74
Токарный автомат	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2	0,80	0,51	12	6,12	22,74
Горизонтально-фрезерный станок	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2	0,80	0,51	12	6,12	22,74
Алмазно-расточный станок	4,3	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0	0,78	0,51	4,3	2,19	8,33
Вентилятор приточный	22	«АИР200L8»[1]	22	0,9	0,81	45,85	6	275,1	1,00	0,72	22	15,84	45,76
Вентилятор вытяжной	17	«АИР180M6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2	0,92	0,62	17	10,54	33,96
Вентилятор приточный	22	«АИР200L8»[1]	22	0,9	0,81	45,85	6	275,1	1,00	0,72	22	15,84	45,76
Наждачный станок	4,5	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0	0,82	0,51	4,5	2,30	8,73
Наждачный станок	4,5	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0	0,82	0,51	4,5	2,30	8,73
Наждачный станок	4,5	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0	0,82	0,51	4,5	2,30	8,73
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,82	0,57	9	5,13	17,99
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,82	0,57	9	5,13	17,99
Алмазно-расточный станок	10,6	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,96	0,57	10,6	6,04	21,18
Горизонтально-фрезерный станок	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2	0,80	0,51	12	6,12	22,74
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	1,00	0,57	7,5	4,28	14,99
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	1,00	0,57	7,5	4,28	14,99
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	1,00	0,57	7,5	4,28	14,99

Продолжение таблицы 2

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Алмазно-расточный станок	4,3	«АИР100L2»[1]	5,5	0,88	0,89	10,67	7,5	80,0	0,78	0,51	4,3	2,19	8,33
Токарный автомат	8	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,73	0,57	8	4,56	15,99
Токарный автомат	8	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,73	0,57	8	4,56	15,99
Наждачный станок	6	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	0,62	0,57	6	3,42	11,99
Наждачный станок	6	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	0,62	0,57	6	3,42	11,99
Токарно-револьверный станок	8	«АИР132S4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,56	0,57	8	4,56	15,99
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,82	0,57	9	5,13	17,99
Строгальный станок	9	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,82	0,57	9	5,13	17,99
Горизонтально-фрезерный станок	12	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2	0,80	0,51	12	6,12	22,74
Алмазно-расточный станок	10,6	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,96	0,57	10,6	6,04	21,18
Алмазно-расточный станок	10,6	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,96	0,57	10,6	6,04	21,18
Горизонтально-фрезерный станок	16	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2	0,86	0,62	16	9,92	31,96
Горизонтально-фрезерный станок	16	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2	0,86	0,62	16	9,92	31,96
Горизонтально-фрезерный станок	12	«АИР160S4»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2	0,86	0,62	16	9,92	31,96
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	1,00	0,57	7,5	4,28	14,99
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	1,00	0,57	7,5	4,28	14,99
1-шпиндельный автомат токарный	7,5	«АИР132S6»[1]	7,5	0,875	0,87	14,97	7,5	112,3	1,00	0,57	7,5	4,28	14,99
Заточный станок	2,5	«АИР90L2»[1]	3	0,845	0,88	6,13	7	42,9	0,83	0,54	2,5	1,35	5,11
Заточный станок	2,5	«АИР90L2»[1]	3	0,845	0,88	6,13	7	42,9	0,83	0,54	2,5	1,35	5,11
Токарно-револьверный станок	10	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,91	0,57	10	5,70	19,99
Токарно-револьверный станок	10	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,91	0,57	10	5,70	19,99
Токарно-револьверный станок	10	«АИР132М4»[1]	11	0,875	0,87	21,95	7,5	164,6	0,91	0,57	10	5,70	19,99
Тельфер	20	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2	0,84	0,51	12,649	6,45	23,97
Тельфер	20	«АИР160S4»[1]	15	0,9	0,89	28,45	7	199,2	0,84	0,51	12,649	6,45	23,97
Сварочный преобразователь	15	«ТДМ 305»[17]	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный преобразователь	15	«ТДМ 305»[17]	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Сварочный преобразователь	15	«ТДМ 305»[17]	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Вентилятор вытяжной	17	«АИР180М6»[1]	18,5	0,895	0,85	36,95	6,5	240,2	0,92	0,62	17	10,54	33,96

Расчет сварочной нагрузки производится в соответствии с методикой изложенной в [17], [9] и приведен ниже в соответствующем разделе данной бакалаврской работы.

2.1.3 Расчет нагрузки II уровня

II уровень электроснабжения - распределительная сеть, связующая РП, щитов, а также магистральные шинопроводы.

Для всех электроприемников, подключенных к РП производится расчет средних мощностей. В качестве примера произведем расчет для электроприемника №1 строгальный станок. Определяются значения коэффициента использования активной мощности одного ЭП и его коэффициент реактивной мощности в соответствии с [2], [17]. Для электроприемника №1 эти коэффициенты принимаются: $K_{и} = 0,16, \cos\phi_{см} = 0,65 \rightarrow \operatorname{tg}\phi_{см} = 1,169$.

Далее определяются средние активные и реактивные мощности электроприемника:

$$P_{см} = P_{уст} \cdot K_{и} = 9 \cdot 0,16 = 1,44 \text{ кВт}, \quad (9)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\phi_{см} = 1,44 \cdot 1,169 = 1,683 \text{ квар}. \quad (10)$$

Аналогичным образом определяются средние мощности для электроприемников № 2 - 11, подключенных к данному РП.

Для выбора питающего кабеля РП производится расчет средней мощности группы электрооборудования. Для этого определяем групповой коэффициент использования:

$$K_{иг} = \frac{\Sigma P_{см}}{\Sigma P_{уст}} = \frac{15,329}{94,1} = 0,163 \quad (11)$$

где $\Sigma P_{уст}$ - суммарная мощность электроприемников, кВт.

Определяем эффективное число электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\Sigma P_{\text{усм}})^2}{\Sigma P_{\text{усм}}^2} = \frac{8854}{507,74} = 10,071 \quad (12)$$

Исходя из «группового коэффициента использования и эффективного числа электроприемников определяем значение коэффициента максимума по активной мощности» [17]. Коэффициент максимума по реактивной мощности определяется исходя из значения $n_{\text{эф}}$:

$$n_{\text{эф}} \geq 10 \rightarrow K_M = 1; \quad n_{\text{эф}} < 10 \rightarrow K_M = 1,1. \quad \text{Для РП1 } K_M = 2,2.$$

Определим максимальные активную, реактивную и полные мощности (они также будут являться нагрузкой II уровня), а также ток нагрузки II уровня электроснабжения:

$$P_{\text{МII}} = \Sigma P_{\text{см}} \cdot K_M = 15,329 \cdot 2,2 = 33,724 \text{ кВт}, \quad (13)$$

$$Q_{\text{МII}} = \Sigma Q_{\text{см}} \cdot K_M = 27,035 \cdot 1 = 27,035 \text{ квар}, \quad (14)$$

$$S_{\text{МII}} = \sqrt{P_{\text{МII}}^2 + Q_{\text{МII}}^2} = \sqrt{33,724^2 + 27,035^2} = 43,223 \text{ кВА}, \quad (15)$$

$$I_{\text{МII}} = \frac{S_{\text{МII}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = \frac{43,223}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 65,671 \text{ А}, \quad (16)$$

где $\Sigma P_{\text{см}}$ - суммарная активная мощность, кВт;

$\Sigma Q_{\text{см}}$ - суммарная реактивная мощность, квар.

Таблица 3 - Расчет нагрузки II уровня

Узел нагрузки, оборудование	Уст. мощность P, кВт	Число электр. приемников, пэп	Коэффициент использования, Ки	cos φсм	tg φсм	Pсм, кВт	Qсм, кВАр	Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент максимума, Км	PмII, кВт	QмII, кВАр	SмII, кВА	IмII, А	Iпик, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП1														
1. Строгальные станки	9	2	0,16	0,65	1,169	1,44	1,683	-	-	-	-	-	-	-
2. Токарно-револьверные станки	8	3	0,15	0,42	2,161	1,2	2,593	-	-	-	-	-	-	-
3. 1-шпиндельный токарный автомат	7,5	1	0,13	0,4	2,291	0,975	2,234	-	-	-	-	-	-	-
4. Токарный автомат	12	2	0,17	0,48	1,828	2,04	3,729	-	-	-	-	-	-	-
5. Горизонтально-фрезерный станок	12	1	0,18	0,45	1,985	2,16	4,288	-	-	-	-	-	-	-
6. Алмазно-расточные станки	4,3	2	0,19	0,65	1,169	0,817	0,955	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП1	94,1	11	0,163	-	-	15,329	27,035	10,071	2,2	33,724	27,03	43,223	65,671	254,669
РП2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. Токарные автоматы	8	2	0,18	0,48	1,828	1,44	2,632	-	-	-	-	-	-	-
8. Наждачные станки	6	2	0,19	0,4	2,291	1,14	2,612	-	-	-	-	-	-	-
9. Токарно-револьверные станки	8	2	0,1	0,42	2,161	0,8	1,729	-	-	-	-	-	-	-
10. Строгальные станки	9	2	0,18	0,65	1,169	1,62	1,894	-	-	-	-	-	-	-
11. Горизонтально-фрезерный станок	12	1	0,15	0,45	1,985	1,8	3,573	-	-	-	-	-	-	-
12. Алмазно-расточные станки	10,6	2	0,14	0,65	1,169	1,484	1,735	-	-	-	-	-	-	-
13. Кран-балка	12,65	1	0,25	0,5	1,732	3,163	5,478	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП2	107,85	12	0,166	-	-	17,931	30,255	11,418	2,1	37,655	30,25	48,304	73,39	262,672
РП3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14. Горизонтально-фрезерные станки	16	3	0,13	0,45	1,985	1,611	2,477	-	-	-	-	-	-	-
15. Одношпиндельные автоматы токарные	7,5	3	0,12	0,4	2,291	0,697	1,237	-	-	-	-	-	-	-
16. Заточные станки	2,5	2	0,14	0,43	2,1	0,271	0,441	-	-	-	-	-	-	-
17. Токарно-револьверные станки	10	3	0,12	0,42	2,161	0,93	1,557	-	-	-	-	-	-	-
18. Кран-балка	12,65	1	0,25	0,5	1,732	3,163	5,478	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП3	118,15	12	0,114	-	-	13,419	22,173	9,905	2,5	33,548	24,39	41,477	63,018	292,687
РП4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19. Наждачные станки	4,5	3	0,12	0,4	2,291	0,54	1,237	-	-	-	-	-	-	-
20. Строгальные станки	9	2	0,17	0,65	1,169	1,53	1,789	-	-	-	-	-	-	-
21. Алмазно-расточный станок	10,6	1	0,2	0,65	1,169	2,12	2,478	-	-	-	-	-	-	-
22. Одношпиндельные автоматы токарные	7,5	4	0,11	0,4	2,291	0,825	1,89	-	-	-	-	-	-	-
23. Горизонтально-фрезерный станок	12	1	0,17	0,45	1,985	2,04	4,049	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП4	84,1	11	0,144	-	-	12,14	21,376	10,045	2,15	26,101	21,37	33,737	51,258	241,65
РП5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26. Вентилятор вытяжной	17	2	0,8	0,8	0,75	13,6	10,2	-	-	-	-	-	-	-
28. Вентилятор приточный	22	2	0,82	0,8	0,75	18,04	13,53	-	-	-	-	-	-	-
Итого по РП5	78	4	0,811	-	-	63,28	47,46	3,935	1,15	72,772	52,20	89,561	136,07	333,512
Итого по цеху	527,2	53	-	-	-	122,09	148,29	-	-	-	-	-	-	-

Для остальных РП производится аналогичный расчет и далее не приводится.

2.1.4 Расчет сварочных нагрузок

Исходными данными для расчета является установленная мощность сварочного трансформатора при номинальной продолжительности включения. В соответствии с [9], [17] определяются необходимые для расчета коэффициенты загрузки и включения. Для одноточечной стационарной сварочной машины принимаем: $K_3 = 0,85$, $K_B = 0,04$, $S_y = 19\text{кВА}$.

На первом этапе расчета для каждого сварочного агрегата определяем пиковую мощность в момент сварки:

$$S_{\text{п}} = S_y \cdot K_3 = 19 \cdot 0,85 = 16,15\text{кВА}. \quad (17)$$

Определяем среднюю мощность сварочной машины за цикл:

$$S_c = S_y \cdot K_3 \cdot K_B = 19 \cdot 0,85 \cdot 0,04 = 0,646\text{кВА}. \quad (18)$$

Определяем эффективную мощность сварочной машины:

$$S_э = S_y \cdot K_3 \cdot \sqrt{K_B} = 19 \cdot 0,85 \cdot \sqrt{0,04} = 3,23\text{кВА}. \quad (19)$$

Таблица 4 - Расчет сварочной нагрузки

Тип	Число фаз	K_3	K_B	S_y , кВА	$S_{\text{п}}$, кВА	S_c , кВА	$S_э$, кВА	$S_э^2$
ТДМ 305	3	0,85	0,04	19	16,15	0,646	3,23	10,43
ТДМ 305	3	0,85	0,04	19	16,15	0,646	3,23	10,43
ТДМ 305	3	0,85	0,04	19	16,15	0,646	3,23	10,43
					$S_{c\Sigma} =$	1,938	$S_э^2_{\Sigma} =$	31,29

На втором этапе расчета определяется суммарная ориентировочная эффективная мощность S_M , намечается схема внутреннего электроснабжения:

Ориентировочная мощность СМ определяется по формуле 20.

$$S'_3 = \sqrt{((\Sigma S_c)^2 + 3 \cdot \Sigma S_3^2)} = \sqrt{(1,938^2 + 3 \cdot 31,29)} = 9,88 \text{кВА} \quad (20)$$

Рассчитаем для каждой машины пиковый и эффективный токи:

$$i_{п1} = \frac{S_{п}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{16,15}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 24,54 \text{А}, \quad (21)$$

$$i_{э1} = \frac{S_3}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}} = \frac{3,23}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4,91 \text{А}. \quad (22)$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 5.

Таблица 5 - Расчет питающих кабелей сварочной нагрузки

Тип	$i_{п}, \text{А}$	$i_{э}, \text{А}$	$i_{п} \cdot K_B$	$i_{п}^2 \cdot K_B \cdot (1 - K_B)$
ТДМ 305	24,54	4,91	0,98	23,12
ТДМ 305	24,54	4,91	0,98	23,12
ТДМ 305	24,54	4,91	0,98	23,12

Для группы сварочных машин эффективный ток равен:

$$I_3 = \sqrt{I_c^2 + DI}, \quad (23)$$

где $I_c = \Sigma i_{ni} \cdot K_B$ - средний ток группы;

DI - дисперсия нагрузки фазы.

Определяем средний ток и дисперсию нагрузки сварных групп:

$$I_c = \Sigma i_{п} \cdot K_B = 3 \cdot 0,98 = 2,94 \text{А}, \quad (24)$$

$$DI = \Sigma i_{п}^2 \cdot K_B \cdot (1 - K_B) = 3 \cdot 23,12 = 69,63 \text{А}^2, \quad (25)$$

$$I_3 = \sqrt{2,94^2 + 69,63} = 8,85 \text{А}. \quad (26)$$

Пиковая нагрузка группы сварочных равна:

$$I_{\Pi} = I_c + \beta \cdot \sqrt{DI}, \quad (26)$$

$$I_{\Pi} = 2,94 + 7 \cdot \sqrt{69,63} = 61,35 \text{ А.}$$

где β - коэффициент, определяемый графически из [17] в зависимости от произведения ($n \cdot K_B$).

Так как в группу входят сварочные машины с одинаковым пиковым током, то n равно количеству машин в группе, K_B является также одинаковым для всех трех машин: $n \cdot K_B = 0,12$, $\beta=7$.

2.1.5 Расчет нагрузки III уровня

Нагрузка третьего уровня рассчитывается как:

$$P_{MIII} = \lambda \cdot \Sigma P_{cm} + P_{осв} \cdot K_c, \quad (26)$$

$$Q_{MIII} = \lambda \cdot \Sigma P_{cm} \cdot \text{tg}\varphi_{cm} + P_{осв} \cdot K_c \cdot \text{tg}\varphi_{осв}, \quad (27)$$

где λ - корректирующий коэффициент;

$P_{осв}$ - мощность осветительной нагрузки (при ее совместном подключении к трансформатору с силовой нагрузкой);

K_c - коэффициент спроса освещения;

$\text{tg}\varphi_{осв}$ - тангенс осветительной нагрузки.

Аварийное освещение инструментального цеха запитано от ЦТП ремонтно-механического цеха завода.

В данной работе принимаем что осветительная нагрузка подключена совместно с силовой к сборным шинам 0,4 кВ ЦТП. Данное решение оправдывается экономией средств на приобретение силового трансформатора для нужд освещения.

Мощность осветительной нагрузки найдем методом расчета по удельным показателям:

$$P_{осв} = p_{уд} \cdot F_{цеха} \quad , \quad (28)$$

где $p_{уд}$ - удельная мощность осветительных установок;

$F_{цеха}$ - площадь цеха.

Принимаем $p_{уд} = 19 \text{ Вт/м}^2$ и рассчитываем площадь цеха:

$$F_{цеха} = a \cdot b = 40 \cdot 72 = 2880 \text{ м}^2.$$

$$P_{осв} = 19 \cdot 2880 = 54,72 \text{ кВт}$$

Коэффициент спроса освещения для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений принимается $K_c = 0,8$ [15].

Освещение производственного здания выполнено светодиодными светильниками $\cos\varphi = 0,95$; $\text{tg}\varphi = 0,329$.

Корректирующий коэффициент принимается для инструментального цеха при числе основных станков 26-40 при одной смене работы: $\lambda = 0,7$.

$$P_{МIII} = 0,7 \cdot 122,10 + 54,72 \cdot 0,8 = 129,245 \text{ кВт},$$

$$Q_{МIII} = 0,7 \cdot 148,30 + 54,72 \cdot 0,329 \cdot 0,8 = 118,21 \text{ квар},$$

$$S_{МIII} = \sqrt{P_{МIII}^2 + Q_{МIII}^2} + S_0 \quad (29)$$

$$S_{МIII} = \sqrt{107,71^2 + 93,39^2} + 9,883 = 185,035 \text{ кВА},$$

$$I_{МIII} = \frac{S_{МIII}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{185,035}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 281,1 \text{ А}. \quad (30)$$

Расчет нагрузки третьего уровня приведен в таблице 6.

Таблица 6 - Расчет нагрузки третьего уровня

λ	$P_{осв}$, кВт	K_c	$P_{МIII}$, кВт	tg	$Q_{МIII}$, квар	S_0	$S_{МIII}$, кВА	$I_{МIII}$, А
0,7	54,72	0,8	129,245	0,329	118,212	9,883	185,035	281,132

Распределяем нагрузку отходящих линий по секциям шин наиболее равномерно. Наиболее предпочтительным является следующий вариант: к первой секции шин подключены РП4, РП5, РП6; ко второй секции шин подключены: РП1, РП2, РП3, ЩО.

Тогда, нагрузка третьего уровня по секциям составит:

$$\begin{aligned} P_{IIIcu1} &= P_{смРП4} \cdot \lambda + P_{смРП5} \cdot \lambda + S'_э = \\ &= 12,14 \cdot 0,7 + 63,28 \cdot 0,7 + 9,883 = 62,68 \text{ кВт}, \\ P_{IIIcu2} &= P_{смРП1} \cdot \lambda + P_{смРП2} \cdot \lambda + P_{смРП3} \cdot \lambda + P_{осв} \cdot K_c = \\ &= 15,33 \cdot 0,7 + 17,93 \cdot 0,7 + 13,42 \cdot 0,7 + 54,72 \cdot 0,8 = 76,45 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

2.2 Расчет системы освещения

2.2.1 Светотехнический расчёт осветительной установки помещения

Проектирование освещения выполняем с условием энергосбережения, необходимо обращать внимание на выбор экономичных источников света и регулировка освещенности. Линейные люминесцентные лампы обеспечивают высокую светоотдачу, снижают потребление электроэнергии и имеют долгий срок службы. Регулирование освещённости включает в себя, разделение источников света на группы, например по рядам или в «шахматном» порядке, чтобы не включать все источники света одновременно.

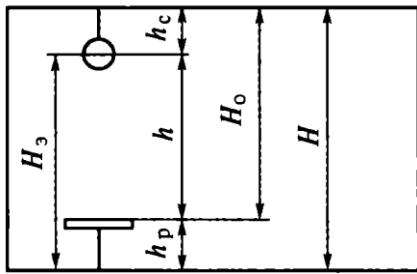
Светотехнический расчет может выполняться методом коэффициента использования светового потока, точечным методом и методом удельной мощности.

В данной бакалаврской работе одной из задач был расчет освещения административного здания, аналогичный расчет по цеху далее не приводим. В цехе металлообработки выбираем промышленные купольные LED светильники [16]. Схемы планов освещения изображены на листе 5 графической части.

2.2.2 Размещение светильников по высоте и на плане

Определяем по заданному разряду зрительной работы IIIa (работа в административном здании, работа за ЭВМ, работа с документацией) для общего освещения нормируемую освещённость: $E_n=500$ лк.

Расстояния по вертикали для размещения светильников указываются на рисунке 1.



h_c — высота свеса;
 h — расчетная высота;
 h_p — рабочая высота;
 H — высота помещения;
 $H_э$ — высота эксплуатационная;
 H_0 — высота потолка над рабочей поверхностью.

Рисунок 1 - Размещение источников света по высоте

Определяем значения вертикальных размеров размещения источников света по высоте.

Определяем расстояние от рабочей поверхности до потолка:

$$H_0 = H - h_p, \quad (31)$$

где H — высота помещения;

h_p — высота от пола до рабочей поверхности (принимаем $h_p = 0,8$ м).

$$H_0 = 5,0 - 0,8 = 4,2 \text{ м.}$$

Определяем высоту свеса светильника:

$$h_c = (0,2 : 0,25) \cdot H_0, \quad (32)$$

$$h_c = (0,2 : 0,25) \cdot 4,2 = (0,84 : 1,05) \text{ м, принимаем значение: } h_c = 0,84 \text{ м.}$$

Определяем расчётную высоту:

$$h = H - hc - hp, \quad (33)$$

$$h = 5,0 - 0,84 - 0,8 = 3,4 \text{ м.}$$

Точечные ИС размещают по вершинам прямоугольных полей. Трубчатые ИС размещают в светящие линии по длине помещения. Светящая линия - линия с трубчатыми лампами, если расстояние между торцами соседних СП не более $0,5h$.

Число рядов для точечных и трубчатых ИС определяется с учетом величины критерия экономичности осветительной установки.

Таблица 7 - Варианты критерия экономичности (λ)

Тип КСС	$\lambda = \frac{L}{h}$			Н, м	
	Наибольш.	Рекоменд.	Наивыгодн.		
Д	2,1	1,2÷1,6	Д-1	1,3	Малая до 6 м
			Д-2	0,96	
Г	1,4	0,8÷1,2	Г-1	0,91	Средняя 6÷12 м
			Г-2	0,77	

Определяем критерий экономичности осветительной установки ($\lambda = L/h$) для заданного типа Д2 кривой силы света (КСС) по таблице 1.1.1 [15] для помещений высотой до 6 метров, наиболее выгодный $\lambda=1,3$.

Определяем расчётное расстояние между рядами световых приборов (СП):

$$L_{в.р.} = \lambda \times h, \quad (34)$$

$$L_{в.р.} = 1,3 \times 3,4 = 4,42 \text{ м.}$$

Определяем расчётное число рядов:

$$np.p. = B/L_{в.р.}, \quad (35)$$

где B – ширина помещения, м (см. задание на КП).

$$np.p. = 14 / 4,42 = 3,167, \text{ принимаем число рядов: } np = 3.$$

Уточняем расстояние между рядами:

$$L_{\text{в}} = B/n_p, \quad (36)$$

$$L_{\text{в}} = 14 / 3 = 4,7 \text{ м.}$$

Определяем расстояние от стены до оси первого ряда:

$$l_{\text{в}} = L_{\text{в}} / 2, \quad (37)$$

$$l_{\text{в}} = 4,67 / 2 = 2,3 \text{ м.}$$

Расстояние между точечными ИС по длине помещения L_A определяется из условия:

$$L_A = (1 \dots 1,5) \times L_{\text{в}} \quad (38)$$

где L_A – расстояние между светильниками по длине помещения, м;

$L_{\text{в}}$ – межрядное расстояние по ширине помещения, м.

$$L_A = 1,0 \times L_{\text{в}} = 4,7 \text{ м.}$$

Размещение точечных ИС по длине помещения L_A определяется после расчета светового потока ряда и выбора типа ИС.

Проверяем размещение СП на плане по габаритам помещения длине A и ширине B :

$$A = l_{\text{сн}} \times N_{\text{сн.п.}} + L_{A.p} (N_{\text{сн.п.}} - 1) + 2 \times l_{A.p}, \quad (39)$$

$$B = L_{\text{в}} \cdot (n_p - 1) + 2 \times l_{\text{в}}, \quad (40)$$

где A и B – габаритные размеры помещения, м.

2.2.3 Светотехнический расчёт

Результатом светотехнического расчёта является определение светового потока ряда и выбор типа источников света и световых приборов (СП).

Для определения светового потока рассчитываем индекс помещения:

$$i = (A \times B) / (h \times (A + B)), \quad (41)$$

$$i = (26 \times 14) / (3,4 \times (26 + 14)) = 2,68.$$

Определяем коэффициент использования светового потока для светильника с лампами накаливания (ЛН) типа НСП по табл. 1.1.2 [16].

Коэффициент использования светового потока η зависит от величины коэффициентов отражения света от поверхности ρ_p, ρ_c, ρ_r (см. исходные данные); индекса помещения i ; типа светового прибора (в нашем случае - НСП).

Из табл. 1.1.2 определяем:

$$\eta = F(70; 50; 10, \text{ при } i = 2,68, \text{ при использовании ЛСП}) = 64 \%$$

Определяем световой поток одного ряда СП:

$$\Phi_{p.p.} = ((K_z \times Z) / \eta) \times ((E_n \times S) / N), \quad (42)$$

где K_z -коэффициент запаса (для ламп накаливания =1,2);

Z - коэффициент минимальной освещённости (для ЛН=1,3);

E_n - нормируемая освещённость (из задания на КП) ($E_n=500$ лк);

S - площадь помещения.

Определяем площадь административного бытового помещения:

$$S = A \cdot B. \quad (43)$$

$$S = 26 \cdot 14 = 364 \text{ м}^2.$$

$$\Phi_{p.p.} = ((1,2 \cdot 1,3) / 0,64) \cdot ((500 \cdot 364) / 3) = 147875 \text{ лм.}$$

2.2.4 Выбор типов источников света и светильников

Выбираем источник света (ИС) типа Armstrong A-office - светодиодный светильник, мощностью 500 Вт, у которой:

$\Phi_{л}$ – световой поток лампы, $\Phi_{л} = 8300$ лм;

Определяем расчётное количество ламп в ряду:

$$N_{p.p.} = \Phi_{p.p.} / \Phi_{л}, \quad (44)$$

$$N_{p.p.} = 147874 / 8300 = 17,8.$$

Принимаем количество ламп в ряду $N_p=18$ и выбираем светильник типа Armstrong A-office (рис. 2). Количество светильников в ряду $N_{сп.p.} = 18$.

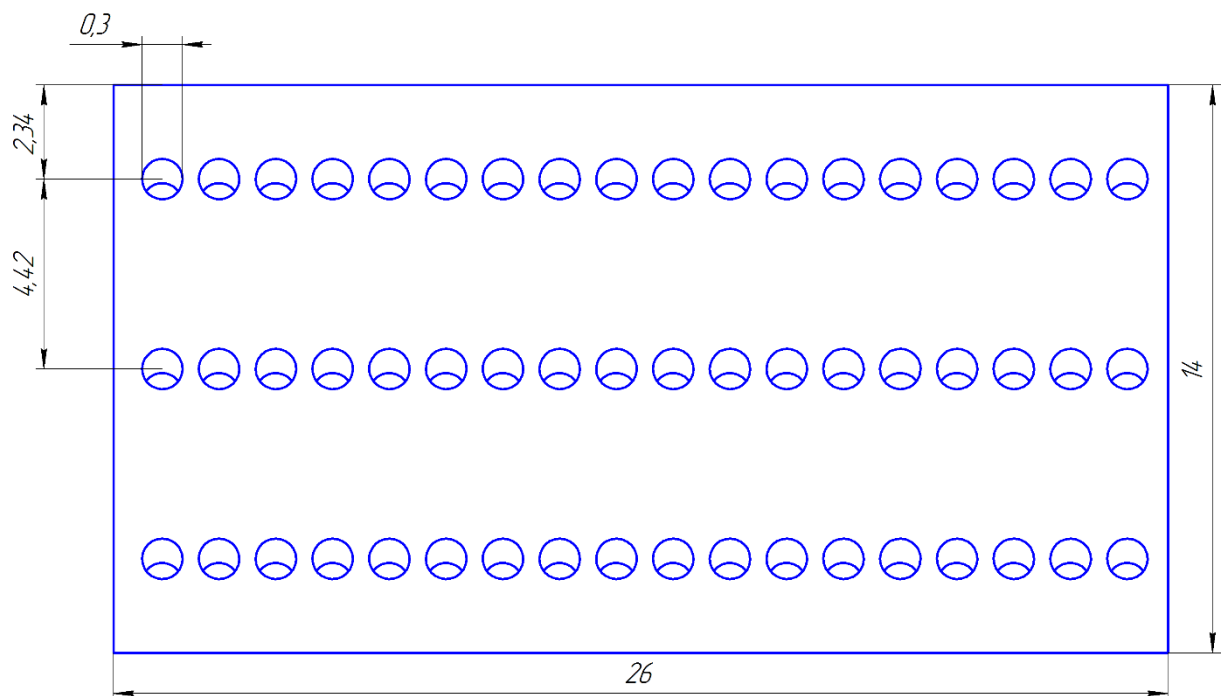


Рисунок 2- План размещения светильников

Определяем расстояние между СП в ряду:

$$L_{A.p} = (A - l_{cn} \times N_{cn.p.}) / N_{cn.p.}, \quad (45)$$

$$L_{A.p} = (26 - 0,3 \times 18) / 18 = 1,14 \text{ м.}$$

Определяем расстояние от стены до крайних СП по длине А:

$$l_{A.p.} = (A - l_{cn} \times N_{cn.p.} - L_{A.p.} (N_{cn.p.} - 1)) / 2, \quad (46)$$

$$l_{A.p.} = (26 - 0,3 \times 18 - 1,14 (18 - 1)) = 1,22 \text{ м.}$$

Проверяем размещение СП на плане по габаритам помещения длине А и ширине В:

$$A = l_{cn} \times N_{cn.p.} + L_{A.p.} (N_{cn.p.} - 1) + 2 \times l_{A.p.}, \quad (47)$$

$$B = L_{г.} \cdot (n_p - 1) + 2 \times l_{г.} \quad (48)$$

Условие проверки выполняется, по заданию А = 26 м, В = 14 м.

Определяем фактическую освещённость помещения:

$$E_{\phi} = (\Phi_p \times n_p \times \eta) / (K_3 \times Z \times S), \quad (49)$$

где Φ_p - световой поток одного ряда.

Световой поток равен:

$$\Phi_p = \Phi_l \times N_p, \quad (50)$$

$$\Phi_p = 8300 \times 18 = 149400 \text{ лм.}$$

$$E_{\phi} = (149400 \times 18 \times 0,64) / (1,2 \times 1,3 \times 364) = 3030 \text{ лк.}$$

Фактическая освещённость выше нормируемой $E_n = 500$ лк, что может привести к перерасходу электроэнергии. Разделение ОУ на большое количество групповых линий позволяет снизить экономические потери при получении завышенной фактической освещённости помещения.

Определяем электрическую мощность осветительной установки (ОУ):

$$P_{OY} = P_l \times n_{л.сн} \times N_{cn} \times n_p, \quad (51)$$

$$P_{OY} = 500 \times 1 \times 18 \times 3 = 27000 \text{ Вт} = 27 \text{ кВт.}$$

где $n_{л.сн}$ – количество ламп в светильнике.

Формируем тип и марку осветительной установки помещения АБК:

$$ОУ 8 \times 9 ЛПО 25 - (2 \times 65) / 3,2;$$

$$\Phi_{л} = 4600 \text{ лм}$$

Размещение ОУ на плане помещения:

$$L_{в} = 3 \text{ м}; L_{а} = 2 \text{ м.}$$

$$l_{в} = 1,5 \text{ м}; l_{а} = 1 \text{ м.}$$

2.2.5 Определение количества групповых линий

Определяем количество групповых линий (ГРЛ) с учётом следующих условий:

- не более 20 точечных ИС на фазу (ЛН, ДРЛ и т.п.);
- не более 50 ЛЛ на фазу;
- допускается совмещать на одной ГРЛ ЛН и ЛЛ, при этом 1ЛН = 2,5ЛЛ.

Регулирование освещённости включает в себя, разделение источников света на группы, например по рядам или в «шахматном» порядке, чтобы не включать все источники света одновременно.

Нагрузка по ГРЛ распределяется равномерно с учетом допустимого количества источников света. Осветительная установка состоит из 54 светильников мощностью по 500 Вт. Распределяем СП равномерно по трем фазам.

Количество светильников, подключённых к ГРЛ:

$$\text{ГРЛ №1-6} - N_{\text{сп.грл№1}} = 9 \text{ (фаза А-В-С).}$$

Подключение СП к ГРЛ осуществляется по схеме:

первый ряд 9 СП к ГРЛ №1; второй ряд 9 СП к ГРЛ №2; третий ряд 9 СП к ГРЛ №3 и т.д.

Такое подключение ряд через ряд позволяет включать освещение непосредственно над производственным участком и отключать освещение над неиспользуемыми площадями участка.

Неравномерность распределения нагрузки по фазам, допускается не более 15%.

$$H = ((P_{нб} - P_{нм}) / P_{нм}) \times 100\% , \quad (52)$$

где $P_{нб}$ – наиболее нагруженная фаза, Вт;

$P_{нм}$ – наименее нагруженная фаза, Вт.

Наиболее нагруженную фазу определяем по формуле:

$$P_{нб} = N_{сн.грл№1} \times P_{сн} + N_{сн.грл№4} \times P_{сн} , \quad (53)$$

$$P_{нб} = 9 \times 500 + 9 \times 500 = 9000 \text{ Вт.}$$

К каждой фазе подключается одинаковое количество СП, поэтому в данном проекте $P_{нм} = P_{нб}$, следовательно:

$$H = ((9000 - 9000) / 9000) \times 100\% = 0\% .$$

Условие проверки на неравномерность нагрузки фаз выполняется.

2.2.6 Определение мест расположений группового щитка и трасс групповых линий

Щит ГЩО расположен на осевой линии стены В на плане помещения. От щита питаются шесть групповых линий (ГРЛ).

Световые приборы включаются по схеме «звезда» и показаны на рисунке 3.

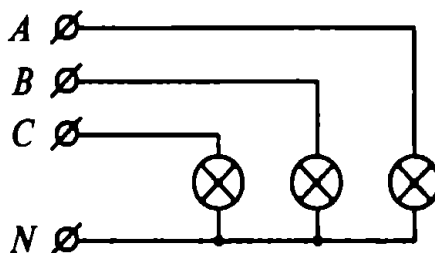


Рисунок 3 - Схема включения СП «звезда»

Групповые линии представляют собой скрытую проводку. Трассы групповых линий поднимаются от группового щита к потолку и располагаются на расстоянии от потолка 0,1 м вдоль стены В до соединения со своим рядом СП.

2.2.7 Расчет максимальной нагрузки групповой линии

Определяем максимальную мощность в ГРЛ №1:

$$P_{max} = 1,2 \times K_{c.o.} \times \sum P_{ном}, \quad (54)$$

где $K_{c.o.}$ - коэффициент спроса осветительный. Для небольших производственных зданий $K_{c.o.} = 1$ [15];

$\sum P_{ном}$ - суммарная номинальная мощность всех подключённых светильников в линии.

$$\sum P_{ном} = N_{сп.грл} \times P_{сп}, \quad (55)$$

$$\sum P_{сп.грл№1} = 9 \times 500 = 4500 \text{ Вт};$$

$$P_{max.грл№1} = 1,2 \times 1 \times 4500 = 5400 \text{ Вт} = 5,400 \text{ кВт.}$$

ГРЛ в проекте имеют одинаковое количество светильных приборов, поэтому максимальная мощность ГРЛ №1 равна мощности всех остальных ГРЛ.

Определяем максимальную нагрузку в ГРЛ №1:

$$I_{max. грл№1} = P_{max.грл№1} / U_{\phi} \times \cos \varphi, \quad (56)$$

$$I_{max.грл№1} = 5,4 / 0,22 \times 1 = 24,55 \text{ А.}$$

где $\cos \varphi = 1$ - для ЛН;

$U_{\phi} = 220 \text{ В}$ – исходные данные.

ГРЛ в проекте имеют одинаковое количество СП, поэтому максимальный ток ГРЛ №1 равен току всех остальных ГРЛ.

2.2.8 Выбор сечений и типов проводников

Сечение проводника выбираем согласно условию [19]:

$$I_{доп} \geq I_{max}; \quad (57)$$
$$I_{доп} = 26 \text{ А} \geq I_{max} = 24,55 \text{ А}$$

Тип ППВ - 2 × 2, П – Провод, П – Плоский, В - Изоляция жил – ПВХ.
Выбранный проводник удовлетворяет условию.

2.3 Выбор схемы электроснабжения и ее элементов

Выбор мощности трансформатора осуществляется по расчетной мощности третьего уровня электроснабжения с учетом сварочной нагрузки:

$$S_{номтр} \geq \frac{S_{мш}}{N \cdot K_3}, \quad (58)$$
$$\frac{S_{мш}}{N \cdot K_3} = \frac{185,035}{2 \cdot 0,7} = 132,17 \text{ кВА},$$

где N – число трансформаторов;

K_3 — коэффициент загрузки трансформатора.

Число трансформаторов цеховой подстанции в соответствии с рекомендациями [3], [10] при трехфазной работе электроприемников II категории по надежности электроснабжения принимается равным двум. В этом случае коэффициент загрузки трансформаторов рекомендуется принимать равным 0,7 (исходя из аварийной перегрузочной способности масляного трансформатора) [6].

Номинальная мощность трансформатора $S_{номтр} = 160 \text{ кВА}$.

Тип трансформатора - ТМГ в соответствии с рекомендациями [6], [11].

В данной бакалаврской работе принимается к установке комплектная цеховая трансформаторная подстанция, исходя из ее более высокой степени индустриализации по сравнению со сборной цеховой подстанцией. Предпо-

лагается использовать комплектную трансформаторную подстанцию самарского завода Электрощит типа КТПП расположенной в блочно-модульном здании.

Идущие в комплекте с КТП трансформаторы тока выбираются по длительно-допустимому току присоединений. Длительно-допустимый ток для присоединения ввода определяется исходя из суммы нагрузок второго уровня и мощности освещения цеха. Для присоединения секционного выключателя определяется исходя из полной мощности наиболее загруженной секции шин, в данном случае это 2 с.ш. Для выбора трансформатора тока в нейтрали трансформатора руководствуемся [6] (полагаем что схема соединения обмоток трансформатора звезда-звезда). Принципиальная схема КТП вынесена на лист 4.

Таблица 8 - Выбор трансформаторов тока

Присоединение	$S_{\text{присоед}}$, кВА	$I_{\text{дд}}$	$I_{\text{ном1}}$
Ввод 0,4 кВ	323,79	491,95	500
РП 1	43,223	65,671	75
РП 2	48,304	73,39	75
РП 3	41,477	63,018	75
РП 4	33,737	51,258	75
РП 5	89,561	136,074	150
РП 6	9,883	15,016	20
ЩО	57,605	87,522	100
СВ	190,609	289,6	300
N	-	57,7	75

Место установки ЦТП определяется как центр цеховых нагрузок. Координаты центра цеховых нагрузок (по полной мощности, кВА):

$$X_0 = \frac{\sum(S_i \cdot X_i)}{\sum S_i}, Y_0 = \frac{\sum(S_i \cdot Y_i)}{\sum S_i}, \quad (59)$$

$$X_0 = \frac{(43,223 \cdot 0,1) + (48,304 \cdot 0,1) + (41,477 \cdot 0,1) + (33,737 \cdot 48,8) + (89,56 \cdot 71) + (9,88 \cdot 71)}{266,185} = 32,76 \text{ м.}$$

$$Y_0 = \frac{(43,223 \cdot 37) + (48,304 \cdot 18) + (41,477 \cdot 7,8) + (33,737 \cdot 6) + (89,56 \cdot 28) + (9,88 \cdot 35)}{266,185} = 21,98 \text{ м.}$$

В расчетном месте цеха отсутствует возможность размещения ЦТП. Наиболее близким из возможных вариантов размещения является размещение в точке с координатами (68; 20).

2.3.1 Суммарная мощность КУ

Выбранные модели сварочных агрегатов имеют штатную систему компенсации реактивной мощности и реактивная нагрузка, потребляемая ими из сети цеха в расчёте нагрузки третьего уровня не учитывается.

Определим целесообразность применения КУ и его мощность:

$$Q_{ку} = Q_M - Q_{сmax} = k \cdot Q_M - P_M \cdot tg\varphi_c, \quad (60)$$

где k - коэффициент несовпадения по времени наибольших активной нагрузки и реактивной нагрузки, принимается от 0,7 до 1 (принимается в соответствии с [17] для металлообрабатывающей промышленности — 0,85);

$Q_{сmax}$ - реактивная мощность, энергосистема предприятия;

$tg\varphi_c$ - коэффициент реактивной мощности (от 0,2 до 0,4);

P_M - расчетная нагрузка цеха;

Мощность КУ определяем по формуле (60):

$$Q_{ку} = 0,85 \cdot 118,212 - 129,245 \cdot 0,3 = 61,71 \text{ квар.}$$

2.3.2 Мощность КУ в сети 0,4 кВ

Определяем мощность, которую можно скомпенсировать на стороне низкого напряжения:

$$Q_{НБК} = Q_{НБК1} + Q_{НБК2}, \quad (61)$$

где $Q_{НБК1}$ - мощность батареи, (минимальное число трансформаторов),

$Q_{НБК2}$ - мощность батареи (минимальные потери мощности).

Сварочные трансформаторы имеют штатные КУ, допустимо считать что $S'_3 = P'_3$.

Выполняем расчет мощности из минимального числа:

$$Q_{НБК1} = Q_{МIII} - \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{номтр})^2 - (P_{МIII} + P'_3)^2}, \quad (62)$$

$$Q_{НБК1} = 118,212 - \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 160)^2 - 139,1^2} = -57,36 \text{квар.}$$

Вследствии $Q_{НБК1} < 0$, принимаем число $Q_{НБК1} = 0$.

Выполняем расчет мощности из минимальных потерь:

$$Q_{НБК2} = Q_{МIII} - Q_{НБК1} - \gamma \cdot T \cdot S_{номтр} \quad (63)$$

$$Q_{НБК2} = 118,212 - 0 - 0,5 \cdot 2 \cdot 160 = -41,788 \text{квар}$$

где γ - расчетный справочный коэффициент, принимается в соответствии с требованиями [6], числа рабочих смен - 3.

Вследствии $Q_{НБК2} < 0$, принимаем число $Q_{НБК1} = 0$ и $Q_{НБК2} = 0$.

2.3.3 Уточнение мощности силовых трансформаторов

Проверяем мощность силовых трансформаторов при учете компенсации реактивной мощности в сети 0,4 кВ. Компенсация всей реактивной мощности в сети 0,4 кВ:

$$S_{номтр} \geq \frac{P_{МIII} + S'_3}{N \cdot K_3} = \frac{129,245 + 9,883}{2 \cdot 0,7} = 99,37 \text{кВА.}$$

Следовательно существует потенциал занижения мощности силовых трансформаторов. Выберем трансформаторы с $S_{номтр} = 100 \text{кВА}$.

По формулам (62) и (63) выполняем расчет мощности батарей:

$$Q_{НБК1} = Q_{МIII} - \sqrt{(N \cdot K_3 \cdot S_{номтр})^2 - (P_{МIII} + S'_3)^2} =$$

$$= 118,212 - \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 100)^2 - 139,1^2} = 102,36 \text{квар.}$$

$$Q_{НБК2} = Q_{МIII} - Q_{НБК1} - \gamma \cdot T \cdot S_{номтр} =$$

$$=118,212 - 102,36 - 0,5 \cdot 2 \cdot 100 = -84,148 \text{квар},$$

$$Q_{НБК} = Q_{НБК1} + Q_{НБК2} = 102,36 \text{квар}.$$

Принимаем к установке нерегулируемую конденсаторную установку АКУ-01-0,4-100-20-УХЛЗ с номинальной мощностью $Q_{ном} = 100$ квар. Установка компенсирующего устройства, выполненного в ячейке производится рядом с ЦТП с подключением к сборным шинах РУ-0,4 кВ. Данное решение обусловлено отсутствием потребителей с большим потреблением реактивной мощности, а также РП с низким коэффициентом мощности.

Таблица 9 - Технические характеристики силового трансформатора

Тип	Номинальная мощность	ВН	НН	Схема и группа соединений обмоток	Потери ХХ	Потери КЗ	Напряжение КЗ	Ток ХХ
ТМГ-100/10	кВА	кВ	кВ	-	кВт	кВт	%	%
	100	10	0,4	У/У _н -0	0,33	1,97	4,5	2,6

Окончательно выбираем два трансформатора ТМГ-100/10 с техническими характеристиками, приведенными в вышестоящей таблице.

2.3.4 Определение мощности КУ в сети 10 кВ

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне высокого напряжения определяется:

$$Q_{ВБК} = Q_{ку} + \Delta Q_T - Q_{НБК}, \quad (64)$$

где ΔQ_T – потери реактивной мощности в трансформаторах ЦТП.

Рассчитаем потери реактивной мощности в трансформаторах:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + K_3^2 \cdot Q_p, \quad (65)$$

$$\Delta Q_{xx} = \frac{N \cdot S_{номтр} \cdot i_{xx}}{100} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 2,6}{100} = 5,2 \text{квар}, \quad (66)$$

$$\Delta Q_p = \frac{N \cdot S_{номтр} \cdot U_k}{100} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 4,5}{100} = 9 \text{квар}. \quad (67)$$

По формуле (65) определяем потери мощности в трансформаторах:

$$\Delta Q_T = 5,2 + 0,7^2 \cdot 9 = 9,61 \text{квар}.$$

Мощность КУ на стороне высокого напряжения, формула (64):

$$Q_{ВБК} = 61,71 + 9,61 - 100 = -28,68 \text{квар}.$$

Выбор компенсирующего устройства на стороне высокого напряжения не требуется.

2.3.5 Расчет силовой электрической сети цеха

В промышленных сетях напряжением до 1 кВ сечение проводников выбирается по условию выдерживания нагрева длительно допустимым током: $I_{\partial\partial} \geq I_{рабmax}$.

Выбранные проводники электрической сети проверяются по потере напряжения.

Для производственного помещения для питания отдельных электроприемников и питания РП принимаем прокладку алюминиевых кабелей с поливинилхлоридной изоляцией типа АВВГ [5], [19] в каналах.

Приведем пример выбора кабеля для РП1.

$$I_p = I_{мп} \leq I_{\partial\partial}, \quad (68)$$

$$I_p = 65,67 \leq 75$$

где $I_{\partial\partial}$ - принимается в соответствии с [19] для трехжильного кабеля с алюминиевыми жилами и ПВХ изоляцией, проложенного в трубе.

Данному длительно-допустимому току соответствует сечение 25 мм².
Выбираем кабель АВВГ 4х25мм.

Произведем проверку кабеля по допустимой потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{R_{л} \cdot P_{МЛ} + X_{л} \cdot Q_{МЛ}}{U_{ном}^2} \cdot 100\% = \frac{96,625 \cdot 33,724 + 7,0,34 \cdot 27,035}{380^2} \cdot 100 = 2,388\%, \quad (69)$$

где $R_{л}$, $X_{л}$ - соответственно активное и реактивное сопротивление питающей линии [17].

Так как потеря напряжения в кабеле не превышает 5%, выбор кабеля считается завершенным [19].

Приведем пример выбора кабеля по формуле (67) для электроприемника №1 строгальный станок.

$$I_p = I_{МЛ} \leq I_{\partial\partial},$$

$$I_p = 17,99 \leq 19$$

где $I_{\partial\partial}$ - принимается в соответствии с [19] для трехжильного кабеля с алюминиевыми жилами и ПВХ изоляцией, проложенного в трубе.

Данному длительно-допустимому току соответствует сечение 2,5 мм².
Выбираем кабель АВВГ 4х2,5.

Произведем проверку кабеля по допустимой потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{R_{л} \cdot P_{МЛ} + X_{л} \cdot Q_{МЛ}}{U_{ном}^2} \cdot 100\% + \Delta U_{РП} = \frac{43,75 \cdot 9 + 0,406 \cdot 5,13}{380^2} \cdot 100 + 2,388\% = 2,662\%,$$

где $R_{л}$, $X_{л}$ - соответственно активное и реактивное сопротивление питающей линии [17].

Так как потеря напряжения в кабеле не превышает 5%, выбор кабеля считается завершенным [19].

Приведем пример выбора кабеля для щитка рабочего освещения ЩО.

Расчетный максимальный ток щитка освещения равен:

$$I_p = \frac{S_{\text{осв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{\sqrt{54,72^2 + (54,72 \cdot 0,329)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 87,52 \text{ А, при условии:}$$
$$I_p \leq I_{\text{дд}}, \quad (70)$$
$$I_p = 87,52 \leq 90,$$

где $I_{\text{дд}}$ - принимается в соответствии с [19] для трехжильного кабеля с алюминиевыми жилами и ПВХ изоляцией, проложенного в трубе.

Данному длительно-допустимому току соответствует сечение 35 мм².
Выбираем кабель АВВГ 5х35.

Произведем проверку кабеля по допустимой потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{R_{\text{л}} \cdot P_{\text{МП}} + X_{\text{л}} \cdot Q_{\text{МП}}}{U_{\text{ном}}^2} \cdot 100\% = \frac{30,75 \cdot 54,72 + 54,72 \cdot 0,329 \cdot 3,027}{380^2} \cdot 100\% \cdot U_{\text{х0025}} = 1,203\%,$$

где $R_{\text{л}}$, $X_{\text{л}}$ - соответственно активное и реактивное сопротивление питающей линии [17].

Так как потеря напряжения в кабеле не превышает 5%, выбор кабеля считается завершенным.

Для остального оборудования производится аналогичный расчет и далее не приводится. Для электроприемников №34, №35 потери напряжения складываются из потерь в кабеле, питающем ЯБПВ и потерь в кабеле, питающем непосредственно кран-балку. Для электроприемников №36 - №38 для расчета падения напряжения в кабеле используется эффективная мощность группы электроприемников. Результаты расчета сведены в таблицу 10.

Таблица 10 - Расчет электрической сети цеха

Участок ЭП	Марка провод ника	Способ прокла дки	Сечени е, мм ²	Идд, А	Ip, А	Ипик, А	г, МОм/м	х, МОм/м	l, м	R, МОм	X, МОм	ΔU%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	17,99	164,6	12,5	0,116	3,5	43,75	0,406	2,662
2	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	17,99	164,6	12,5	0,116	7,9	98,75	0,916	3,007
3	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	15,99	164,6	12,5	0,116	12,3	153,75	1,427	3,244
4	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	17,3	216,25	2,007	3,517
5	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	15,99	164,6	12,5	0,116	20,8	260	2,413	3,836
6	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	15,99	164,6	12,5	0,116	25,4	317,5	2,946	4,156
7	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	22,74	199,2	7,81	0,107	8	62,48	0,856	2,911
8	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	22,74	199,2	7,81	0,107	12,5	97,625	1,338	3,205
9	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	22,74	199,2	7,81	0,107	18,2	142,142	1,947	3,577
10	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	8,33	80	12,5	0,116	22,4	280	2,598	3,226
11	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	8,33	80	12,5	0,116	25	312,5	2,9	3,323
12	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	15,99	164,6	12,5	0,116	8,4	105	0,974	2,69
13	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	15,99	164,6	12,5	0,116	12,7	158,75	1,473	2,989
14	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	11,99	112,3	12,5	0,116	17	212,5	1,972	2,993
15	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	11,99	112,3	12,5	0,116	23	287,5	2,668	3,306
16	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	15,99	164,6	12,5	0,116	27,8	347,5	3,225	4,04
17	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	15,99	164,6	12,5	0,116	29	362,5	3,364	4,124
18	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	17,99	164,6	12,5	0,116	6,8	85	0,789	2,638
19	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	17,99	164,6	12,5	0,116	10,9	136,25	1,264	2,959
20	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	22,74	199,2	7,81	0,107	15,8	123,398	1,691	3,138
21	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	21,18	164,6	7,81	0,107	22,1	172,601	2,365	3,382
22	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	21,18	164,6	7,81	0,107	26	203,06	2,782	3,607
23	АВВГ	Каб. канал	4x6	32	31,96	240,2	5,21	0,1	5	26,05	0,5	2,28
24	АВВГ	Каб. канал	4x6	32	31,96	240,2	5,21	0,1	8,7	45,327	0,87	2,496
25	АВВГ	Каб. канал	4x6	32	31,96	240,2	5,21	0,1	12,4	64,604	1,24	2,712
26	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	18	225	2,088	3,163

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	24	300	2,784	3,554
28	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	6	75	0,696	2,38
29	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	5,11	42,9	12,5	0,116	9,3	116,25	1,079	2,19
30	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	5,11	42,9	12,5	0,116	11,7	146,25	1,357	2,242
31	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	19,99	164,6	7,81	0,107	15	117,15	1,605	2,806
32	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	19,99	164,6	7,81	0,107	19,9	155,419	2,129	3,073
33	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	19,99	164,6	7,81	0,107	26,1	203,841	2,793	3,411
34	КВГ	На тресе	4x6	19	11,99	112,3	3,7	0,1	30	111	3	3,912
35	КВГ	На тресе	4x6	19	11,99	112,3	3,7	0,1	30	111	3	4,192
36	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	4,91	24,54	12,5	0,116	11	137,5	1,276	1,633
37	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	4,91	24,54	12,5	0,116	8,6	107,5	0,998	1,565
38	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	4,91	24,54	12,5	0,116	5	62,5	0,58	1,465
39	АВВГ	Каб. канал	4x10	42	33,96	240,2	3,12	0,099	7	21,84	0,693	0,627
40	АВВГ	Каб. канал	4x16	60	45,76	275,1	1,95	0,095	7	13,65	0,665	0,58
41	АВВГ	Каб. канал	4x10	42	33,96	240,2	3,12	0,099	5	15,6	0,495	0,552
42	АВВГ	Каб. канал	4x10	47	45,76	275,1	3,12	0,099	5	15,6	0,495	0,608
43	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	8,73	80	12,5	0,116	19,3	241,25	2,239	1,561
44	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	8,73	80	12,5	0,116	21	262,5	2,436	1,628
45	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	8,73	80	12,5	0,116	23,6	295	2,738	1,73
46	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	17,99	164,6	12,5	0,116	16	200	1,856	2,059
47	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	17,99	164,6	12,5	0,116	18	225	2,088	2,216
49	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	7,9	98,75	0,916	1,322
50	АВВГ	Каб. канал	4x4	27	22,74	199,2	7,81	0,107	9,1	71,071	0,974	1,401
51	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	12	150	1,392	1,589
52	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	15	187,5	1,74	1,785
53	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	14,99	112,3	12,5	0,116	16,1	201,25	1,868	1,857
ЯБПВ 1	КВГ	Каб. канал	4x6	19	11,99	112,3	3,7	0,1	25	92,5	2,5	2,926
ЯБПВ 2	КВГ	Каб. канал	4x6	19	11,99	112,3	3,7	0,1	33,5	123,95	3,35	3,206

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ЩО	АВВГ	В трубе	5x35	90	87,55	87,55	0,894	0,088	34,4	30,754	3,027	1,203
РП1	АВВГ	Каб. канал	4x25	75	65,671	254,669	1,25	0,091	77,3	96,625	7,034	2,388
РП2	АВВГ	Каб. канал	4x25	75	73,39	262,672	1,25	0,091	61	76,25	5,551	2,105
РП3	АВВГ	Каб. канал	4x25	75	63,018	292,687	1,25	0,091	65	81,25	5,915	1,988
РП4	АВВГ	Каб. канал	4x16	60	51,258	241,65	1,95	0,095	22	42,9	2,09	0,806
РП5	АВВГ	Каб. канал	4x70	140	136,074	333,512	0,447	0,082	14,3	6,392	1,173	0,365
РП6	АВВГ	Каб. канал	4x2,5	19	8,85	69,63	12,5	0,116	15,8	197,5	1,833	1,325

По данным выше указанной таблице можно судить про силовую часть электроснабжения цеха.

Произведем выбор РП. [11], [9].

Таблица 11 - Оборудование РП

РП	Тип шкафа	Типоисполнение	Тип выключателя на вводе	Число отходящих линий	Тип выключателя отходящих линий
1	ПР8503	навесное	-	12	ВА-57Ф35
2	ПР8503	навесное	-	12	ВА-57Ф35
3	ПР8503	навесное	-	12	ВА-57Ф35
4	ПР8503	навесное	-	12	ВА-57Ф35
5	ПР8503	навесное	-	12	ВА-57Ф35
6	ПР8503	навесное	-	12	ВА-57Ф35
ЩО	ЩРО 8505	навесное	-	18	ВА-57Ф35
ЩАО	ЩРО 8505	навесное	-	9	ВА61F29
ЯБПВ1	ЯБПВ	навесное	ПН-2	1	-
ЯБПВ1	ЯБПВ	навесное	ПН-2	1	-

Выбор оборудования КТП:

Разъединитель РВ-10/400 - $I_{\max\text{раб}} = 400\text{А}$.

Измерительные трансформаторы тока на вводе и отходящих линиях ТОП-0,66.

2.4 Расчет токов короткого замыкания

Сопротивления трансформатора, принимаются в соответствии с справочными данными, сопротивление энергосистемы принимается $x_c = 0,1 \cdot x_T$, соотношения сопротивлений кабелей прямой и нулевой последовательностей: $r_0 = 10 \cdot r_1$, $x_0 = 4 \cdot r_0$ [17], [8].

Таблица 12- Сопротивления элементов схемы замещения

Элемент	$r^{(3)}$	$x^{(3)}$	$r^{(1)}$	$x^{(1)}$
Энергосистема	-	6,57	-	-
Трансформатор	31,5	65,7	31,5	65,7
Электродуга	-	-	15	-
Вводной автомат НН	2,15	1,2	2,15	1,2
Сопротивление одного контактного соединения	0,003	-	0,003	-
Вводной аппарат РП	1,1	0,5	1,1	0,5
РУ	0,015	-	0,015	-
РП	0,02	-	0,02	-
Сборные шины РУ	0,315	0,18	3,15	0,72
Автомат ЭП (с учетом контактных соединений)	7	4,5	7	4,5

Определим суммарное активное сопротивление прямой последовательности:

$$r_{1\Sigma} = r_T + r_{KB} + r_{PY} + r_{Ш} + r_K \quad (71)$$

$$r_{1\Sigma} = 31,5 + 2,15 + 0,015 + 0,315 + 3 \cdot 0,003 = 33,99 \text{МОм.}$$

Определим суммарное реактивное сопротивление прямой последовательности:

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_T + x_{KB} + x_{Ш} \quad (72)$$

$$x_{1\Sigma} = 6,57 + 65,7 + 1,2 + 0,18 = 73,65 \text{МОм.}$$

Определим суммарное активное сопротивление нулевой последовательности:

$$r_{0\Sigma} = r_{T0} + r_{KB0} + r_{PY0} + r_{Ш0} + r_{K0} + r_{Д} \quad (73)$$

$$r_{0\Sigma} = 31,5 + 2,15 + 0,015 + 3,15 + 3 \cdot 0,003 + 15 = 51,82 \text{МОм.}$$

Определим суммарное реактивное сопротивление прямой последовательности:

$$x_{0\Sigma} = x_{T0} + x_{KB0} + x_{Ш0} = 65,7 + 1,2 + 0,72 = 67,62 \text{МОм.}$$

Тогда, установившееся значение тока трехфазного короткого замыкания будет равно:

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2)}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(33,99^2 + 73,65^2)}} = 2,85 \text{кА.}$$

Ударное значение тока трехфазного короткого замыкания равно:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{к3}^{(3)} \cdot k_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot 2,85 \cdot 1,6 = 6,45 \text{кА,} \quad (74)$$

где $k_{\text{уд}}$ — ударный коэффициент, значение которого принимается в соответствии с [17].

Установившееся значение однофазного тока короткого замыкания:

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{нн}}}{\sqrt{(2 \cdot r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2 \cdot x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 33,99 + 51,82)^2 + (2 \cdot 73,65 + 67,62)^2}} = 2,82 \text{кА.}$$

Все расчеты токов короткого замыкания сводим в таблицу 13.

Таблица 13 - Расчет токов короткого замыкания.

Точка КЗ	Сопротивление схемы замещения, мОм				Ток КЗ, кА		
	трехфазное КЗ		однофазное КЗ		трехфазное КЗ		однофазное КЗ, действующее значение
	$r^{(3)}$	$x^{(3)}$	$r^{(1)}$	$x^{(1)}$	действующее значение	ударное значение	
1	2	3	4	5	6	7	8
Шины РУ-0,4 кВ	33,99	73,65	51,82	67,62	2,85	6,45	2,82
Ввод РП1	131,72	81,18	1019,18	96,26	1,49	3,37	0,53
Ввод РП2	111,35	79,70	815,43	90,32	1,69	3,82	0,65
Ввод РП3	116,35	80,07	865,43	91,78	1,64	3,71	0,61
Ввод РП4	78,00	76,24	481,93	76,48	2,12	4,80	1,02
Ввод РП5	41,49	75,32	116,85	72,81	2,69	6,09	2,31
Ввод РП6	232,60	75,98	2027,93	75,45	0,94	2,13	0,28
Зажимы ЭП №1	182,50	86,09	1463,71	102,38	1,09	2,47	0,36
Зажимы ЭП №2	237,50	86,60	2013,71	104,42	0,87	1,97	0,26
Зажимы ЭП №3	292,50	87,11	2563,71	106,47	0,72	1,63	0,21
Зажимы ЭП №4	355,00	87,69	3188,71	108,79	0,60	1,36	0,17
Зажимы ЭП №5	398,75	88,09	3626,21	110,41	0,54	1,22	0,15
Зажимы ЭП №6	456,25	88,63	4201,21	112,54	0,47	1,06	0,13
Зажимы ЭП №7	201,23	86,54	1651,01	104,18	1,00	2,26	0,32
Зажимы ЭП №8	236,37	87,02	2002,46	106,11	0,87	1,97	0,26
Зажимы ЭП №9	280,89	87,63	2447,63	108,55	0,75	1,70	0,22
Зажимы ЭП №10	418,75	88,28	3826,21	111,15	0,51	1,15	0,14
Зажимы ЭП №12	223,38	85,17	1872,46	98,72	0,92	2,08	0,28
Зажимы ЭП №13	277,13	85,67	2409,96	100,71	0,76	1,72	0,22
Зажимы ЭП №14	330,88	86,17	2947,46	102,71	0,64	1,45	0,18
Зажимы ЭП №15	405,88	86,87	3697,46	105,49	0,53	1,20	0,15
Зажимы ЭП №18	203,38	84,99	1672,46	97,98	1,00	2,26	0,31
Зажимы ЭП №19	254,63	85,46	2184,96	99,88	0,82	1,86	0,24
Зажимы ЭП №20	241,77	85,89	2056,44	101,58	0,86	1,95	0,26
Зажимы ЭП №21	290,98	86,57	2548,47	104,28	0,72	1,63	0,21
Зажимы ЭП №22	321,44	86,98	2853,06	105,95	0,66	1,49	0,19
Зажимы ЭП №23	149,43	85,07	1132,96	98,28	1,28	2,90	0,45
Зажимы ЭП №24	168,70	85,44	1325,73	99,76	1,16	2,62	0,39
Зажимы ЭП №25	187,98	85,81	1518,50	101,24	1,06	2,40	0,34
Зажимы ЭП №26	348,38	86,66	3122,46	104,63	0,61	1,38	0,17
Зажимы ЭП №27	423,38	87,35	3872,46	107,42	0,51	1,15	0,14
Зажимы ЭП №28	198,38	85,27	1622,46	99,06	1,02	2,31	0,32
Зажимы ЭП №29	239,63	85,65	2034,96	100,60	0,86	1,95	0,26
Зажимы ЭП №30	269,63	85,93	2334,96	101,71	0,78	1,76	0,23
Зажимы ЭП №31	240,53	86,18	2043,96	102,70	0,86	1,95	0,26
Зажимы ЭП №32	278,80	86,70	2426,65	104,80	0,75	1,70	0,22
Зажимы ЭП №33	327,22	87,36	2910,87	107,45	0,65	1,47	0,18
Зажимы ЭП №34	222,38	82,70	1925,46	102,32	0,92	2,08	0,28
Зажимы ЭП №35	227,38	83,07	1975,46	103,78	0,91	2,06	0,27
Зажимы ЭП №36	370,13	77,26	3402,96	80,55	0,58	1,31	0,16
Зажимы ЭП №37	340,13	76,98	3102,96	79,44	0,63	1,43	0,17

Продолжение таблицы 13

1	2	3	4	5	6	7	8
Зажимы ЭП №38	295,13	76,56	2652,96	77,77	0,72	1,63	0,20
Зажимы ЭП №39	63,36	76,01	335,28	75,58	2,22	5,02	1,28
Зажимы ЭП №40	55,17	75,99	253,38	75,47	2,34	5,29	1,53
Зажимы ЭП №41	57,12	75,82	272,88	74,79	2,31	5,23	1,47
Зажимы ЭП №42	57,12	75,82	272,88	74,79	2,31	5,23	1,47
Зажимы ЭП №43	319,28	78,48	2894,46	85,44	0,67	1,52	0,19
Зажимы ЭП №44	340,53	78,68	3106,96	86,22	0,63	1,43	0,17
Зажимы ЭП №45	373,03	78,98	3431,96	87,43	0,58	1,31	0,16
Зажимы ЭП №46	278,03	78,10	2481,96	83,90	0,76	1,72	0,22
Зажимы ЭП №47	303,03	78,33	2731,96	84,83	0,70	1,58	0,20
Зажимы ЭП №48	117,08	76,78	872,46	78,62	1,57	3,55	0,58
Зажимы ЭП №49	176,78	77,16	1469,46	80,14	1,14	2,58	0,36
Зажимы ЭП №50	149,10	77,21	1192,67	80,38	1,31	2,96	0,44
Зажимы ЭП №51	228,03	77,63	1981,96	82,05	0,91	2,06	0,27
Зажимы ЭП №52	265,53	77,98	2356,96	83,44	0,79	1,79	0,23
Зажимы ЭП №53	279,28	78,11	2494,46	83,95	0,76	1,72	0,21
Зажимы ЩО	65,85	77,18	360,47	80,23	2,16	4,89	1,21

В вышеприведенной таблице представлены расчеты токов короткого замыкания.

2.5 Выбор защитной и коммутационной аппаратуры

Защиту от коротких замыканий шин РУ-0,4 кВ, питающего и распределительных кабелей, электроприемников в цеховой электросети осуществляем воздушными автоматическими выключателями. В низковольтных комплектных ЯБПВ используются предохранители.

Предохранители выбираются по условиям:

$$I_{\text{номпав}} \geq K_3 \cdot I_{\text{мл}},$$

$$I_{\text{номпв}} \geq \frac{I_{\text{пик}}}{K_{\text{п}}}. \quad (75)$$

где $K_3 = 1,2 \dots 1,5$;

$K_{\text{п}}$ - коэффициент пуска, учитывающий характер пуска.

Для сварочной нагрузки: $I_{\text{номпв}} \geq 1,2 \cdot i_{\text{пик}}$.

Автоматические выключатели выбираются по условиям:

$$I_{\text{номав}} \geq K_3 \cdot I_{\text{м1}}; I_{\text{номавт.р.}} \geq K_3 \cdot I_{\text{м1}}; I_{\text{номавэмг}} \geq K_3 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (76)$$

где $K_3 = 1,25 \dots 1,3$ — коэффициент запаса.

Для защитных аппаратов необходимо произвести проверку по коэффициенту чувствительности.

Для автоматических выключателей:

- с номинальным током автоматов до 100 А $K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кзmin}}}{I_{\text{номавэмг}}} \geq 1,4$;

- с номинальным током автоматов более 100 А $K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кзmin}}}{I_{\text{номавэмг}}} \geq 1,25$.

Для предохранителей: $K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{кзmin}}}{I_{\text{номпв}}} \geq 3$.

Выбираем автоматический выключатель на вводе НН по максимально рабочему току на стороне НН и по максимальному току трансформатора с учетом наибольшего пикового тока от РП:

$$I_{\text{номав}} \geq \frac{1,25 \cdot 1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 252,6 \text{ А},$$

$$I_{\text{номавт.р.}} \geq \frac{1,25 \cdot 1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 252,6 \text{ А},$$

$$I_{\text{номавт.р.}} \geq 1,25 \cdot \left(\frac{1,4 \cdot 100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} + 333,512 \right) = 732,64 \text{ А}.$$

Выбираем автоматический выключатель ВА51-35.

Таблица 14 - Выбор вводного автоматического выключателя

$I_{\text{макс тр}}, \text{ А}$	K_3	$I_{\text{кз}}^{(1)}, \text{ А}$	$I_{\text{пик}}, \text{ А}$	Тип автомата	$I_{\text{ном ав}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном ав т.р.}}, \text{ А}$	$I_{\text{ном ав эмг}}, \text{ А}$
252,6	1,25	2820	732,64	ВА51-35	400	400	1000

Произведем проверку выбранного автоматического выключателя по условию чувствительности: $K_q = \frac{2820}{1000} = 2,82 \geq 1,25$.

Следовательно, выбранный аппарат удовлетворяет условию чувствительности, аналогично подбираем остальные выключатели и сводим в таблицу 15.

Таблица 15 - Выбор автоматических выключателей

Участок, номер ЭП	Тип защитного аппарата	Ином	Ином расц, А	Ипв/отс, А	Кч
1	2	3	4	5	6
1	ВА57Ф35	25	25	100	4,5
2	ВА57Ф35	25	25	100	3,1
3	ВА57Ф35	16	16	80	3
4	ВА57Ф35	16	16	80	2,375
5	ВА57Ф35	16	16	80	2
6	ВА57Ф35	16	16	80	1,75
7	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	3,9
8	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	3,1
9	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	2,5
10	ВА57Ф35	16	16	80	1,875
11	ВА57Ф35	16	16	80	1,75
12	ВА57Ф35	20	20	80	4,125
13	ВА57Ф35	20	20	80	3,125
14	ВА57Ф35	16	16	80	2,5
15	ВА57Ф35	16	16	80	2
16	ВА57Ф35	16	16	80	1,625
17	ВА57Ф35	16	16	80	1,625
18	ВА57Ф35	25	25	100	3,7
19	ВА57Ф35	25	25	100	2,7
20	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	2,1
21	ВА57Ф35	16	16	80	2
22	ВА57Ф35	16	16	80	1,75
23	ВА57Ф35	40	40	125	4,64
24	ВА57Ф35	40	40	125	3,92
25	ВА57Ф35	31,5	31,5	100	3,3
26	ВА57Ф35	16	16	80	2,375
28	ВА57Ф35	16	16	80	4,875
29	ВА57Ф35	16	16	80	3,75
30	ВА57Ф35	16	16	80	3,25
31	ВА57Ф35	25	25	100	3
32	ВА57Ф35	25	25	100	2,5

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6
33	BA57Ф35	16	16	80	1,75
34	BA57Ф35	31,5	31,5	100	4,8
35	BA57Ф35	31,5	31,5	100	4,7
36	BA57Ф35	16	16	80	3,5
37	BA57Ф35	16	16	80	4,125
38	BA57Ф35	16	16	80	5,75
39	BA57Ф35	31,5	31,5	31,5	25,397
40	BA57Ф35	50	50	160	9,25
41	BA57Ф35	40	40	125	10,72
42	BA57Ф35	50	50	160	11
43	BA57Ф35	16	16	80	2,125
44	BA57Ф35	16	16	80	2
45	BA57Ф35	16	16	80	1,875
46	BA57Ф35	25	25	100	2
47	BA57Ф35	25	25	100	1,8
48	BA57Ф35	16	16	80	5
49	BA57Ф35	16	16	80	3,875
50	BA57Ф35	31,5	31,5	100	3,7
51	BA57Ф35	16	16	100	2,4
52	BA57Ф35	16	16	100	2,1
53	BA57Ф35	16	16	100	2
ЯБПВ 1	BA57Ф35	100	-	100	4,8
ЯБПВ 2	BA57Ф35	100	-	100	4,7
ЩО	BA57Ф35	250	100	500	2,78
ЩАО	-	-	-	-	-
РП1	BA-57-35	80	80	500	1,5
РП2	BA-57-35	80	80	500	1,84
РП3	BA-57-35	80	80	500	1,74
РП4	BA-57-35	80	80	500	1,52
РП5	BA-57-35	160	160	500	6,5
РП6	BA-57-35	80	80	500	2,02

Выбираем групповой щиток по току уставки КЗ аппарата защиты по условию:

$$I_{y(кз)} \geq I_{ном} \quad (77)$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток щитка, А.

По справочной литературе выбираем щиток типа ЩО 6, внешний вид которого представлен на рисунке.

Выполняем проверку условия выбора группового щитка по техническим данным завода – изготовителя по формуле 77:

$$I_{y(кз)} = 60 \text{ А} \geq I_{ном} = 63 \text{ А} , \text{ условие выполняется.}$$

Параметры группового щитка:

$U_n = 220/380 \text{ В}$ - номинальное рабочее напряжение;

$I_{n(в.а.)} = 63 \text{ А}$ - номинальный ток вводного автомата;

$I_{n(а.г.)} = 25 \text{ А}$ - номинальный ток автоматов в групповой цепи;

Габаритные размеры - 210x245x120 мм;

Масса (максимальная) -3,6кг.

Вывод: По результатам расчетов второго раздела выпускной квалификационной работы разумно сделать вывод, что для решения задач по реконструкции системы электроснабжения предприятия, результаты полученные расчетным путем соответствует нормативным документам и дают положительную оценку при проектировании цеха и АБК.

3 Обеспечение надежности и безопасности системы электроснабжения

3.1 Релейная защита и автоматика

Релейная защита на напряжении 0,4 кВ представлена не так широко, в сравнении, например, с предлагаемыми решениями на напряжении 10 кВ.

Рассмотрим подробно одно из наиболее важных устройств обеспечения требуемой категории надежности – устройство автоматического включения резерва.

Применяется «Сириус 2-0,4 АВ» - микропроцессорное устройство защиты автоматике и управление аварийными вводами секций 0,4 кВ КТП, щитов собственных нужд электростанций, промышленных предприятий и других объектов.

Устройство может применяться с устройствами «Сириус-2-0,4 ВВ» для выполнения автоматического включения резерва (АВР) и восстановления нормального режима после АВР (ВНР) секционированной системы шин 0,4 кВ с одним или двумя аварийными вводами, для схем без секционного выключателя – при наличии аварийного ввода на каждой секции.

Устройство выполняет функции дальнего резервирования (ДР) при отказе защит или выключателей, отходящих от шин 0,4 кВ линий, а также функции блокировки максимальной токовой защиты (БМТЗ) при пусках и самозапусках электродвигателей.

При выводе из работы одного или двух рабочих вводов устройство сохраняет работоспособность.

Рассчитаем параметры срабатывания АВР по требованиям [7], [20].

Отстройка от снижения напряжения при КЗ за элементами с сосредоточенными параметрами:

$$U_{cp1} \leq \frac{U_{ост}}{K_{отс} \cdot K_U} = \frac{0,7 \cdot 400}{1,1 \cdot 100} = 2,5В. \quad (77)$$

Отстройка от понижения напряжения при самозапуске двигателей:

$$U_{cp2} \leq \frac{U_{ост}}{K_{отс} \cdot K_B \cdot K_U} = \frac{0,8 \cdot 400}{1,2 \cdot 1,25 \cdot 100} = 2,13В. \quad (78)$$

Напряжение срабатывания принимается наименьшее: $U_{cp} = 2,13В$.

Уставка (АВР) по времени: $t_{авр} \geq t_{ав} + \Delta t = 0,25 + 0,25 = 0,5 с$.

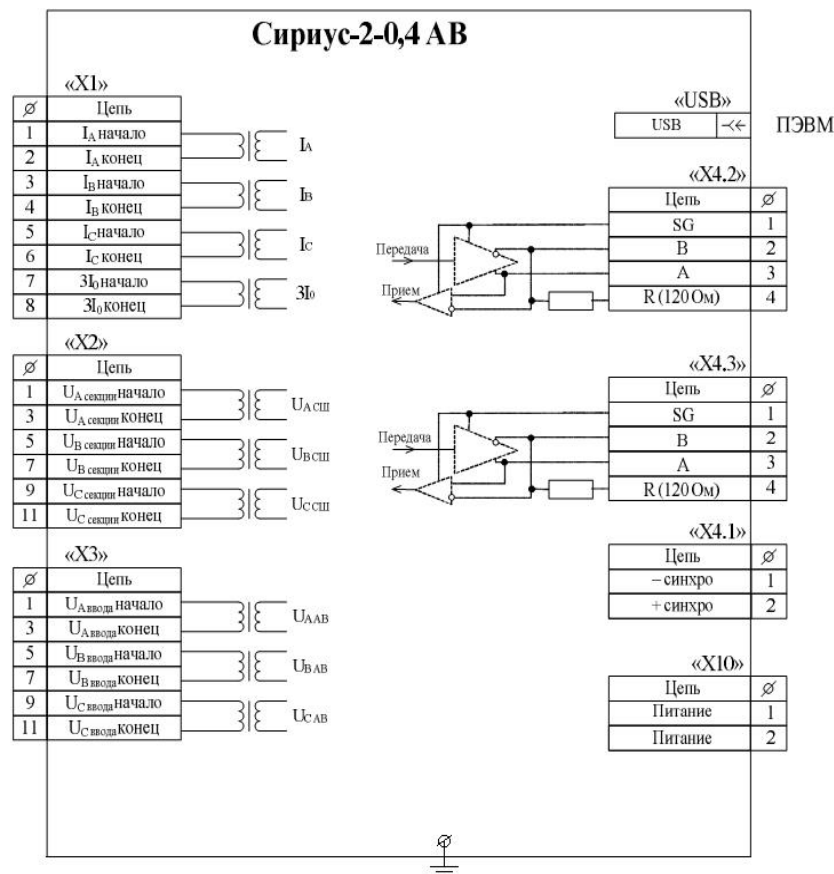


Рисунок 4 - Подключение внешних цепей устройства

На рисунке рассмотрено подключение внешних цепей устройства автоматического включения резерва Сириус 2-0,4 АВ.

3.2 Молниезащита и заземление

3.2.1 Расчет заземления цеха

Согласно требованиям ПУЭ [12] для электроустановок с напряжением 380 В, имеющих общий контур заземления сопротивление току должно быть 4 Ом.

С учетом искусственных и естественных заземлений с сопротивлением $R_e = 4,1 \text{ Ом}$, искомое сопротивление заземляющего контура определяется:

$$R_{\text{и}} = \frac{R_e \cdot r_{3\text{М}}}{R_e - r_{3\text{М}}} = \frac{4,1 \cdot 4}{4,1 - 4} = 10 \text{ Ом.} \quad (79)$$

В качестве вертикального заземления применяется стальной стержень длиной 2,5 м и диаметром 0,05 м с установкой в грунт на 0,7 м. Расчетное сопротивление стержня для грунта (суглинок) $\rho_0 = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ с учетом повышающего коэффициента $k = 1,4$ составит: $\rho = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Сопротивление растеканию на поверхности одного вертикального электрода:

$$R_{\text{ОВЗ}} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot l}{d} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right) \right) \quad (80)$$
$$R_{\text{ОВЗ}} = \frac{140}{2 \cdot \pi \cdot 2,5} \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 2,5}{0,05} \right) + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 0,7 + 2,5}{4 \cdot 0,7 - 2,5} \right) \right) = 53,8 \text{ Ом.}$$

Примерное число вертикальных стержней при коэффициенте использования:

$$n = \frac{R_{\text{ОВЗ}}}{K_{\text{ИВЗ}} \cdot R_{\text{и}}} = \frac{53,8}{0,55 \cdot 0,917} = 107, \quad (81)$$

где $K_{\text{ИВЗ}} = 0,55$.

В качестве горизонтального заземления применяется стальная полоса длиной 456м, шириной 4см установленная на глубине 0,7м. Расчетное сопротивление заземления для грунта (суглинок) $\rho_0 = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ учетом повышающего коэффициента $k=2$ составит: $\rho = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Сопротивление растеканию одного вертикального электрода:

$$R_{\text{огз}}' = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} \right) = \frac{200}{2 \cdot \pi \cdot 456} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 456^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 1,15 \text{ Ом}. \quad (82)$$

С учетом коэффициента использования $K_{\text{игз}} = 0,24$:

$$R_{\text{огз}} = \frac{R_{\text{огз}}' \cdot 1,15}{K_{\text{игз}} \cdot 0,24} = 4,79 \text{ Ом}. \quad (83)$$

Уточним сопротивление вертикального заземления:

$$R_{\text{вз}} = \frac{R_{\text{зз}} \cdot R_{\text{и}}}{R_{\text{зз}} - R_{\text{и}}} = \frac{4,79 \cdot 10}{10 - 4,79} = 1,134 \text{ Ом}. \quad (84)$$

Уточним число вертикальных стержней при коэф. использования:

$$n = \frac{R_{\text{овз}}}{K_{\text{увз}} \cdot R_{\text{вз}}} = \frac{53,8}{0,6 \cdot 1,134} = 79, \quad (85)$$

где $K_{\text{увз}} = 0,6$.

Проверка горизонтального заземления по условию термической стойкости (при времени отключения КЗ на землю $t_{\text{откл}} = 1,1 \text{ с}$), тока короткого замыкания на землю $I_{\text{кз}}^{(1)} = 3400 \text{ А}$.

$$S = \frac{I_{\text{кз}}^{(1)} \cdot \sqrt{t_{\text{откл}}}}{c} = \frac{3400 \cdot \sqrt{1,1}}{74} = 48,2 \text{ мм}^2. \quad (86)$$

Таким образом, выбранные горизонтальные электроды удовлетворяют данному условию.

3.2.2 Расчет молниезащиты цеха

Цех находится на территории Рязанской области. Размеры цеха: 72x40x6 м.

Среднегодовая продолжительность гроз в Рязанской области: $n_q=20-40$ ч/год. Среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю): $n=21/(\text{км}^2/\text{год})$.

Количество поражений молнией объекта в год:

$$N = ((S + 6 \times h) \times (L + 6 \times h) - 7,7 \times h^2) \times n \times 10^{-6} \quad (87)$$

$$N = ((2880 + 6 \times 6) \times (72 + 6 \times 6) - 7,7 \times 11^2) \times 2 \times 10^{-6} = 0,49.$$

На углах здания устанавливаем шесть стержневых молниеотводов высотой $h=7$ м, зона защиты соседней пары которых рассчитывается как зона защиты двойного стержневого молниеотвода.

Пара молниеотводов 1-2 (расстояние между двумя молниеотводами $L = 24$ м).

Выполняется условие: $h < L < 6h$.

Расчет зоны защиты производится на уровне земли и высоте 6 м.

$$h_0 = 0,92 \times h = 0,92 \times 13 = 11,96 \text{ м},$$

$$r_0 = 1,5 \times h = 1,5 \times 13 = 19,5 \text{ м},$$

$$r_x = 1,5 \times \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \times \left(13 - \frac{6}{0,92} \right) = 11,4 \text{ м},$$

$$h_c = h_0 - 0,14 (L - h) = 11,96 - 0,14 (24 - 13) = 10,42 \text{ м},$$

$$r_c = r_0 = 1,5 \times h = 1,5 \times 13 = 19,5 \text{ м},$$

$$r_{cx} = r_0 \times \frac{(h_c - h_x)}{h_c} = 19,5 \times \frac{(13 - 6)}{10,42} = 13,1 \text{ м}.$$

Таблица 16 - Расчет зон защиты молниеотводов

Пара молниеотводов	L, м	h ₀ , м	r ₀ , м	r _x , м	h _c , м	r _c , м	r _{cx} , м
1-2	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1
2-3	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1
4-5	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1
5-6	24	11,96	19,5	11,4	10,42	19,5	13,1

Расчет для остальных пар молниеотводов при условии: $h < L < 6h$ аналогичен и далее не приводится. Результаты расчета сведены в таблицу выше.

3.3 Экономический анализ

Современные методы оценки эффективности инвестиций используют интегральные критерии, которые предполагают дисконтирование денежных потоков наличности.

В приток наличности включают выручка от реализации продукции, амортизационные отчисления и кредиты банков.

Расход наличности составляет текущие денежные затраты и капитальные вложения. При этом, текущие денежные затраты включают в себя затраты на оплату труда, текущий ремонт и эксплуатационные расходы.

Поток инвестиций включает приобретение и аренду земли, затраты на приобретение оборудования и строительно-монтажные работы.

Существуют несколько методов определения эффективности инвестиций, которые представлены далее.

Метод определения срока окупаемости основан на определении периода времени, для возмещения суммы инвестиций. Простой срок окупаемости определяется по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_{инв}}{\Pi}, \quad (88)$$

где $K_{инв}$ - первоначальный инвестиционный капитал;

Π - денежные поступления от инвестиций, руб/год.

Расчетный срок окупаемости не должен превышать срока действия инвестиционного проекта и рассчитывается: $T_{расч} = t$, при котором, $\sum \Pi_i > K_{инв}$.

Этот метод не учитывает влияния доходов последующих лет после расчётного срока окупаемости.

Дисконтированный срок окупаемости имеет определённую величину при следующем неравенстве: $T_p = \frac{K_{инв}}{\Pi} < \frac{(1+R)}{R}$.

Этот метод даёт надёжные результаты при условии, что все инвестиции проекта имеют одинаковый экономический срок и после завершения вложения инвестор получает ежегодные поступления.

Метод чистого дохода основан на сопоставлении начислений с общей суммой поступлений. Текущая сумма дисконтированных притоков и чистый дисконтированный доход рассчитываются соответственно:

$$PV = \sum \frac{\Pi_t}{(1+R)^t}, \quad (89)$$

где Π_t - поступление средств в конце периода t .

Вследствие того, что $NPV = PV - K_{инв}$, то критерий оптимальности - NPV стремиться к максимальному.

Критерий оптимальности - NPV стремиться к максимальному.

Если инвестиции осуществляются несколько лет, необходимые финансовые средства приводятся к расчётному году и тогда:

$$NPV = \sum \frac{\Pi_t}{(1+R)^t} - \sum \frac{K_t}{(1+R)^t}. \quad (90)$$

Метод расчёта совокупных затрат применяется когда инвестиций не сопровождаются денежными поступлениями [18],[5]. Основным критерием является минимум затрат за расчётный период:

$$Z_t = \sum \frac{K_t - I_t}{(1+R)} \rightarrow \min, \quad (91)$$

где K_t - капитальные затраты за данный период;

I_t - текущие затраты за тот же период.

Этот критерий можно использовать также при сравнении проектов, обеспечивающих равные доходы по годам расчётного периода, а также в случаях, когда надо сделать выбор между ремонтом оборудования или заменой его новым.

Расчёт экономической эффективности инвестиций на реконструкцию проводится для периода, включающего строительство и эксплуатацию.

Издержки складываются из издержек на эксплуатацию и издержек, связанных с потерями энергии.

Издержки, связанные с потерями энергии рассчитаны в разделе 2.

$$I_{\Pi} = \left(\frac{S_{\max}^2}{S_{\text{НОМ}}^2} \cdot \tau \cdot P_K \cdot C_{\text{ПМ}} + t \cdot P_{\text{ХХ}} \cdot C_{\text{ПС}} \right) \cdot 10^{-2} \quad (92)$$

$$I_{\Pi} = \left(\frac{22000^2}{32000^2} \cdot 4400,84 \cdot 100 \cdot 20 + 8760 \cdot 23 \cdot 20 \right) \cdot 10^{-2} = 81,9 \text{ т.руб.}$$

Для строящейся подстанции предприятия экономическая эффективность оценивается методом чистого дисконтированного дохода. Согласно проведённым расчётам, поток инвестиций составляет 6,72 млн. руб. Текущие издержки состоят из затрат на амортизацию и обслуживание, и потери электроэнергии, которые составляют соответственно 43,94 и 81,9 тыс. руб./год.

Минимум совокупных затрат за расчетный период:

$$Z_t = K_{\text{инв}} + \sum \frac{I_t}{(1+R)^t} \quad (93)$$

$$Z_t = 6,72 + \frac{0,043}{1,15} + \frac{0,043}{1,15^2} + \frac{0,043}{1,15^3} + \frac{0,043}{1,15^4} + \frac{0,043}{1,15^5} = 6,86 \text{ млнруб.}$$

Приток наличности состоит из дохода от продукции составляет 2,9 млн.

Срок окупаемости принят равным 6 лет. Норма дисконта – 15 %.

Таблица 17 - Расчет чистого дохода для строительства

Период времени <i>t, год</i>	Инвестиции и текущие расходы, <i>K + И</i> млн. руб.	Поступления	Приток денежных средств, млн. руб.	Коэффициент дисконта $dt = 1/(1 + E)^t$	Текущая дисконт. Стоимость, млн. руб.
0	6,72	0	-6,72	1	-6,72
1	0,043	2,9	2,857	0,8696	2,48
2	0,043	2,9	2,857	0,7562	2,16
3	0,043	2,9	2,857	0,6576	1,88
4	0,043	2,9	2,857	0,5718	1,63
5	0,043	2,9	2,857	0,4972	1,42
6	0,043	2,9	2,857	0,4323	1,24
Чистый доход					+4,09

Результат расчета показывает, что проект реконструкции экономически эффективен и имеет чистый дисконтированный доход в размере 4,09 млн. руб., что является дополнительной гарантией инвестора от возможных рисков.

Вывод: по третьему разделу выпускной квалификационной работы можно сказать, что поставленные вопросы по обеспечению надежности и безопасности системы электроснабжения, и оценка экономической эффективности удовлетворяют техническому заданию на реконструкцию предприятия ООО «Лифтремонт-Сервис».

Заключение

В выпускной квалификационной работе в соответствии с технических заданием выполнена реконструкция системы электроснабжения ООО «Лифтремонт- Сервис».

Проанализирована существующая, уже устаревшая, электрическая сеть предприятия и решены основные проектные задачи для ее реконструкции с целью повышения энергоэффективности и безопасности.

В разделе разработки электроснабжения предприятия выбрано актуальное электрооборудование для осуществления необходимого технологического цикла работы предприятия, рассчитана распределительная электрическая сеть питания электрооборудования инструментального цеха. По нормативным действующим документам была рассчитана силовая часть сети и подобрана мощность трансформаторов, также с учетом требований выбраны правильные коммутационные и защитные аппараты, определена двухтрансформаторная КТП для питания цеха и ее местоположение с учетом центра нагрузок. Сделан светотехнический расчет административно-бытового помещения и подобраны световые приборы для нужной освещенности рабочих мест. Составлены схемы освещения АБК и цеха, отличающиеся от прежних большей эффективностью.

Уделено особое внимание вопросам обеспечения безопасности технологических процессов: решена одна из задач релейной защиты цеха путем определения необходимого типа микропроцессорной защиты и автоматического включения резерва в целом, произведен технический расчет систем молниезащиты и заземления с учетом требований, изложенных в научной литературе.

Оценка экономической эффективности инвестиций дала положительный результат, поэтому проект может считаться экономически целесообразным решением и в данном виде может быть принят к исполнению.

Список используемых источников

1. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в однофазном и трехфазном режимах - М.: РадиоСофт, 2004. - 128 с.
2. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. - 2-е изд., перераб. и доп. ИНФРА-М, 2018. - 414 с.
3. Вахнина В. В. Системы электроснабжение: метод. пособие ТГУ. Тольятти, 2015. - 46 с.
4. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.- Новосибирск: Сиб. унив.изд-во, 2007. - 10 с.
5. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы электроснабжения: учебник. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2008. - 258 с.
6. ГОСТ 14209-97. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые перегрузки. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2010.
7. Засыпкин А.С. Релейная защита трансформаторов. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
8. Конюхова Е.А. Электроснабжение: учебник. Москва: Издательский дом МЭИ, 2014. - 510 с.
9. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебник. Москва: Кнорус, 2011. - 368 с.
10. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения. - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2008. - 480 с.
11. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учеб. пособие / Г. Н. Ополева. – Москва: 2018. - 416 с.
12. Правила устройства электрических установок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7 - Новосибирск: Сиб.унив.изд-во, 2010.
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. ИНФРА-М, 2018. - 262 с.
14. Правила технической эксплуатации электрических станций и

сетей РФ. -М.: Омега-Л, 2012. - 256 с.

15. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. - М.: ГПЦПП Минстроя России, 1995. - 34 с.

16. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение"
Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

17. Справочник по проектированию электроснабжения. /Под. ред. Ю.Г. Барыбина и др.-М.: Энергоатомиздат, 1990. - 576 с.

18. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов, Энергия, 1979. - 408 с.

19. Электрические кабели, провода, шнуры: Справочник. /Под. ред. Н.И. Белоруссова и др.-М.: Энергоатомиздат, 1988. - 536 с.

20. Яковлев Ю.А. Электроэнергетика. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учеб. пособие , Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2012. - 68 с.