

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХА  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

Идентификационный код ВКР: 127

Екатеринбург 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный профессионально-педагогический университет»  
Институт инженерно-педагогического образования  
Кафедра электрооборудования и энергоснабжения

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Заведующая кафедрой ЭС  
\_\_\_\_\_ А.О. Прокубовская  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ЦЕХА  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ЗАВОДА**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
направления подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям)

профиля подготовки «Энергетика»

специализации «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений и  
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 127

Исполнитель:  
студент(ка) группы ЭС-401 \_\_\_\_\_ А.Я. Реутов

Руководитель:  
преподаватель спец.дисциплин «ЕЭМК» \_\_\_\_\_ Н.А. Хусточка

Нормоконтролер:  
ст. преподаватель кафедры ЭС \_\_\_\_\_ Т.В. Лискова

Екатеринбург 2016

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 54 страницах, содержит 4 рисунка, 8 таблиц, 20 источников литературы, а также 5 приложений на 8 страницах.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВО, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ, ПОДСТАНЦИЯ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ТРАНСФОРМАТОР, КОМПЕНСАТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ, ТОКИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.

*Объектом исследования* является инструментальный цех “Машиностроительного завода имени М.И. Калинина”.

*Предметом исследования* является электроснабжение инструментального цеха “Машиностроительного завода имени М.И. Калинина”.

*Цель* - спроектировать систему электроснабжения для электрооборудования инструментального цеха машиностроительного завода.

Произведен расчет токов короткого замыкания и максимальных рабочих токов. Проведена проверка трансформаторного, компенсирующего, преобразовательного, коммутационного оборудования.

Произведен расчет затрат на реализацию разработанной системы электроснабжения и определен срок окупаемости.

Рассчитаны и применены меры безопасности для сотрудников цеха, такие как молниезащита и контурное заземление.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА .....	8
2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА .....	11
2.1. Расчет освещения .....	11
2.2. Выбор схемы электроснабжения цеха .....	15
2.3. Расчет электрических нагрузок .....	18
2.4. Расчёт и выбор компенсирующих устройств.....	25
2.5. Выбор силовых трансформаторов.....	28
2.6. Расчёт и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения электроприемников.....	29
2.7. Расчет токов короткого замыкания .....	37
2.8. Расчет защитного заземления .....	41
2.9. Расчёт молниезащиты.....	47
3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	51
4. ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	58
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	62
ПРИЛОЖЕНИЕ В .....	63
ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....	66

## ВВЕДЕНИЕ

Человек, в современной жизни не может обходиться без такого материального блага как электричество. Электричество по своему значимости можно сравнить с добычей огня человеком около полумиллиона лет назад, только на сегодня огонь ушел на задний план, а электрическая энергия заняла почетное первое место. Электрическая энергия может быть преобразована в различные виды энергии, в том числе механическая, химическая, тепловая, световая (лучистая), ветровая, звуковая энергия. Осмотрев привычный быт можно увидеть прямую зависимость от электрической энергии применение в транспортировки грузов и людей, при приготовлении пищи, использование в промышленности для запуска различных станков, уличное и домашнее освещение, для обеспечения работоспособности телекоммуникации, охранной сигнализации и многое другое.

С каждым годом население Земли растет, следовательно, потребление электрической энергии тоже. Каждый человек на нашей планете является потенциальным потребителем, для комфортной жизни им необходима электрическая энергия. На данный момент населения составляет 7,42 млрд. человек. Как не отрицали люди своей значимой зависимости от электричества, они будут зависеть ещё на протяжении долгового времени. Уже сейчас в эпоху информационных технологии человек не может обойтись без гаджетов. Все помнят случаи, когда в доме отключали свет, практический каждый из нас не знал чем заняться в данной ситуации.

В условия современных реалий, а именно действия санкции со стороны Европейского Союза и Соединенных Штатов Америки, нашей стране необходимо развивать и увеличивать производство собственной продукции, дабы не зависеть от зарубежных стран. Данные меры направлены в первую очередь на стабилизацию экономики и возможный рост ВВП. Выпускаемая продукция нашими предприятиями гораздо дешевле, чем у западных коллег в тоже время, не уступающее по качеству. Благодаря качественному планированию электро-

снабжения цеха с использованием технико-экономического метода вариантов планирования сравнения позволяет нарастить дополнительные мощности в случае развития предприятия без дополнительных затрат на проектирования новой системы электроснабжения. В качественное проектирование электроснабжения цеха того или иного предприятия входит рациональный выбор марки провода, сечения, способ прокладки, тип освещения, количества ламп, меры защиты.

Генерация электрической энергии осуществляется с помощью электрических станций. В нашей стране структуру производства электроэнергии занимают три разновидности электростанций: гидроэлектростанции (ГЭС), атомные электростанции (АЭС) и тепловые электростанции (ТЭС). Основную выработку электроэнергии осуществляется тепловыми электростанциями, генерируют от всего объема электроэнергии около 60%, что составляет 621,1 млрд.кВт·ч, в тоже время на долю атомных электростанций приходится 18% или 180,3млрд.кВт·ч и гидроэлектростанций 16% или 167,1 млрд.кВт·ч. Передачу электроэнергии осуществляется с помощью воздушных и кабельных линий электропередач различного класса напряжения от низкого напряжения (не более 1000В) до ультравысокого напряжения (750–1150кВ).

Применение такого высоко напряжения стало возможно в 1975 году, тогда была введена в эксплуатацию ЛЭП 750 кВ Ленинград – Конаково с подстанцией 750/330 кВ Ленинградская. Эта электропередача объединила энергосистемы Центра и Северо-Запада, что сделало возможным передавать избыточные мощности Северо-Запада в дефицитные районы Центра, Средней Волги и Урала. Задачей распределения электрической энергии выполняют подстанции, состоящие из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств до и свыше 1000В.

Приведенные выше элементы необходимы для обеспечения электроснабжения. Современное проектирование электроснабжения должно удовлетворять требованиям безопасности, экономичности и надежности. Предприятия зависят от качественного электроснабжения, поскольку влияет на количество выпуска-

емой продукции, а в некоторых случаях и на качество, особенно это относится к пищевой отрасли, при аварийных ситуациях, если электроснабжение некачественное, неудовлетворяющие надежности система не справится с данной ситуацией, то скоропортящийся товар утратит свой рентабельный вид, что приведет к экономическим потерям. Квалифицированные специалисты сфере энергетики а именно электроснабжения востребованные всегда ввиду того что количество новых предприятий и старых предприятия требующиеся реконструкции систем электроснабжения по различным причинам растет.

Объектом исследования в представленной работе является инструментальный цех “Машиностроительного завода имени М.И. Калинина”.

Предметом исследования – электроснабжение инструментального цеха “Машиностроительного завода имени М.И. Калинина”.

Цель выпускной квалификационной работы: спроектировать систему электроснабжения для электрооборудования инструментального цеха машиностроительного завода.

В соответствии с поставленной целью, решаются следующие задачи:

- Проанализировать нормативно-техническую документацию по электроснабжению отрасли;
- рассчитать рабочее освещение и характеристики промышленного оборудования;
- спроектировать план и схему электроснабжения цеха;
- обобщить результаты и оформить работу.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

ПАО "Машиностроительный завод имени М.И. Калинина, г. Екатеринбург" в настоящее время завод выпускает дизельные погрузчики грузоподъемностью до 3,5 тонн, и электрические грузоподъемностью до 2 тонн, электрических тележек грузоподъемностью 2 тонны.

Масса погрузчиков, как правило, на 80–250 кг меньше зарубежных аналогов той же грузоподъемности, за счет лучшей компоновки агрегатов, механизмов и противовеса на шасси. Данное качество позволяет более уверенно использовать погрузчики в помещениях, например, в железнодорожных вагонах, с регламентированной нагрузкой на полы. Кроме того, меньший вес снижает расход энергии аккумуляторной батареи.

Завод располагает всеми видами производства для машиностроения:

- литейное, включая чёрное и цветное литьё;
- литьё под давлением;
- штамповочное и сварочное;
- термообработка и гальваника;
- все виды механической обработки;
- своя лабораторная и инструментальная база.

Инструментальное производство и лабораторная база позволяют быстро создавать и осваивать современные виды машин с высокими техническими и эксплуатационными характеристиками.

Проектируемым объектом является участок инструментального цеха (ИЦ), предназначенный для изготовления и сборки различного измерительного, режущего, вспомогательного инструмента, а также штампов и приспособлений для горячей и холодной штамповки.

Инструментальный цех является вспомогательным цехом завода по изготовлению механического оборудования и станков. Цех имеет производственные, вспомогательные, служебные и бытовые помещения.



Станочный парк размещен в станочном отделении. Электроснабжение цеха осуществляется от собственной цеховой трансформаторной подстанции. Здание расположено на расстоянии 1 км от заводской главной понизительной подстанции (ГПП), напряжение – 1 кВ. Расстояние ГПП от энергосистемы – 7 км.

Количество рабочих смен – 2. Потребителей – 2 и 3 категории надежности электроснабжения.

Грунт в районе цеха – суглинок. Каркас здания смонтирован из блоков-секций длиной 6 и 5 метров каждый. Общий размер цеха составляет  $A \times B \times H = 42 \times 30 \times 7$  м.

Таблица 1 – Перечень электрооборудования инструментального цеха

Наименование ЭО	$P_{\text{эл}}$ , кВт	Примечание	Количество	№ на плане
Наждачные станки	3		6	1, 2, 5, 6, 9, 10
Заточные станки	2,5		6	3, 4, 7, 8, 11, 12
Токарно-револьверные станки	2,8		11	13-18, 39-41, 47, 48
Токарные автоматы	7,5		7	19-21, 30, 55-57
Горизонтально-фрезерные станки	9,5		8	22, 23, 37, 38, 42, 43, 53, 54
Алмазно-расточные станки	2,2		7	24, 27, 44-46, 49, 50
Одношпиндельные автоматы токарные	3,5		6	25, 26, 28, 29, 51, 52
Вентиляторы	4,5		2	31, 32
Поперечно-строгальные станки	8,5		4	33-36
Кран-балка	15	ПВ=60%	1	58

Электроприёмники, заданные в проектом задании и представленные в таблице 1, распределяем по группам в зависимости от количества фаз и режима работы.

К первой группе относим трехфазные электроприёмники длительного режима (ДР). К этим электроприёмникам, согласно заданию, относятся: шлифовальные станки, обдирочные станки, анодно–механические станки, вентиляторы.

Вторую группу электроприёмников составляют трехфазные электроприёмники с повторно-кратковременным режимом работы (ПКР). К электроприёмникам этой группы относится кран мостовой.

Третью группу составляют осветительные установки.

## 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА

### 2.1. Расчет освещения

Высота инструментального цеха составляет 7 метров, то более экономичный вариант установить люминесцентные лампы (ЛЛ). Марка выбранной лампы: ЛБ58; тип светильника в зависимости от помещения: Fresco 258 ЛСП-2х58Вт G13 IP65 ABS/PC ЭПРА.

Площадь станочного отделения рассчитывается:

$$S = A \cdot B, \quad (1)$$

где  $A$ —длина станочного отделения, м;

$B$ —ширина цеха, м.

$$S = A \cdot B = 870 \text{ м}^2.$$

Расчётная высота подвеса светильников находится по формуле:

$$h_p = h - h_c - h_{pn}, \quad (2)$$

где  $h$  – высота помещения, м;

$h_{pn}$  – высота рабочей поверхности над полом, м;

$h_c$  – расстояние от точки крепления до светильника, м.

Из названных размеров  $h$  и  $h_{pn}$  являются заданными, а  $h_c$  принимается в пределах от нуля (при установке на потолке) до 1,5 м.

$$h_p = 7 - 0,4 - 1 = 5,6 \text{ м.}$$

Выбираем окраску стен потолка для данного помещения и коэффициент отражения.

Коэффициент отражения побеленных стен в помещении с не завешенными окнами, побеленным потолком и чистым бетонным полом равен  $P_n = 70\%$ ,  $P_c = 50\%$ ,  $P_n = 30\%$ .

Соотношение размеров освещаемого помещения и высота подвеса светильников в нем характеризуются индексом помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)}, \quad (3)$$

где  $A$ —длина станочного отделения, м;

$B$ —ширина станочного отделения, м;

$h_p$ — расчётная высота подвеса светильников, м.

Кроме данной формулы индекс помещения можно определить по таблице используя [12]. Зная площадь станочного отделения и расчётную высоту подвеса светильников, можем определить значение индекса помещения, который составляет 2,25.

Под коэффициентом использования светового потока  $U_{OY}$  понимают отношение светового потока, падающего на расчётную плоскость, к световому потоку источников света. Коэффициент  $U_{OY}$  зависит от светораспределения светильников и их размещения в помещениях; от размеров освещаемого помещения и отражающих свойств его поверхностей; от отражающих свойств рабочей поверхности.

Коэффициентом использования светильников с типовым КСС  $U_{OY}$  определяем по таблице используя [12]. Так как тип КСС светильника Д-1, индекс помещения 2,25 и известны приблизительные коэффициенты отражения поверхностей, то коэффициентом использования светового потока  $U_{OY}$  равен 0,81.

Принимаем минимальную освещенность  $E_{min}=200$  лк, из учета вида работ.

Необходимое число светильников может быть определено в соответствии с формулой:

$$n = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{U_{OY} \cdot \Phi_l}, \quad (4)$$

где  $E_n$ — нормируемое значение освещенности, лк;

$S$ —площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$K_3$ —коэффициент запаса в пределах 1,2–1,5 (принимаем 1,3);

$z$ —коэффициент номинальной освещенности в пределах 1,1–1,3 (принимаем 1,1);

$\Phi_{л}$ —световой поток лампы, лм.

$$n = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 870 \cdot 1,1}{0,81 \cdot 4800} \approx 74 \text{шт.}$$

Для светильника типа ЛСП-2х58Вт G13разделив 74 штук ламп на 2, получим количество светильников необходимых для установки, так как данный светильник вмещает в себя 2 лампы.

$$N = \frac{n}{2} = \frac{74}{2} \approx 37 \text{шт.}$$

Аналогичным образом рассчитываем количество ламп для других помещений, полученные результаты заноситься в таблицу 2.

Таблица 2 – расчет количества светильников

Вид помещения	Марка лампы	Количество ламп	Марка светильника	Количество светильников	Мощность, Вт
Станочное отделение	ЛБ 58	74	ЛСП04-2х65-01-03	37	4810
Заточная	ЛБ 58	14	ЛСП04-2х65-01-03	7	910
Строгальная	ЛБ 58	12	ЛСП04-2х65-01-03	6	780
Склад	ЛБ 58	4	ЛСП04-2х65-01-03	2	260
Руководство	ЛБ 58	9	ЛСП04-2х65-01-03	3	585
Щитовая	ЛБ 58	2	ЛСП04-2х65-01-03	1	130
ТП	ЛБ 58	4	ЛСП04-2х65-01-03	2	260
Инструментальная	ЛБ 58	4	ЛСП04-2х65-01-03	2	260
Бытовка	ЛБ 58	2	ЛСП04-2х65-01-03	1	130
Комната отдыха	ЛБ 58	4	ЛСП04-2х65-01-03	2	260
Санузел	ЛБ 58	4	ЛСП04-2х65-01-03	2	260
Вентиляция	ЛБ 58	2	ЛСП04-2х65-01-03	1	130

Для станочного отделения определяем расположение светильников. Необходимое количество светильников в ряду находится по формуле:

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (5)$$

где  $A$  – длина помещения, м;

$L$ –расстояние между соседними светильниками, м;

$l$  – расстояние от крайних светильников до стен, м.

Подставим известные значения в формулу и получим

$$N_R = \frac{36 - 2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 7,20 \approx 7$$

Следующим этапом определяем количество рядов, данное количество определяется:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (6)$$

где  $B$  – ширина помещения, м.

Используя известные значения, определим количество рядов:

$$R = \frac{25 - 2 \cdot 2,5}{5} + 1 = 5.$$

Умножив полученное количество рядов на количество светильников в ряду, получим 35 светильника, ещё 2 два светильника незадействованных, поэтому принимаем количество рядов равное 6.

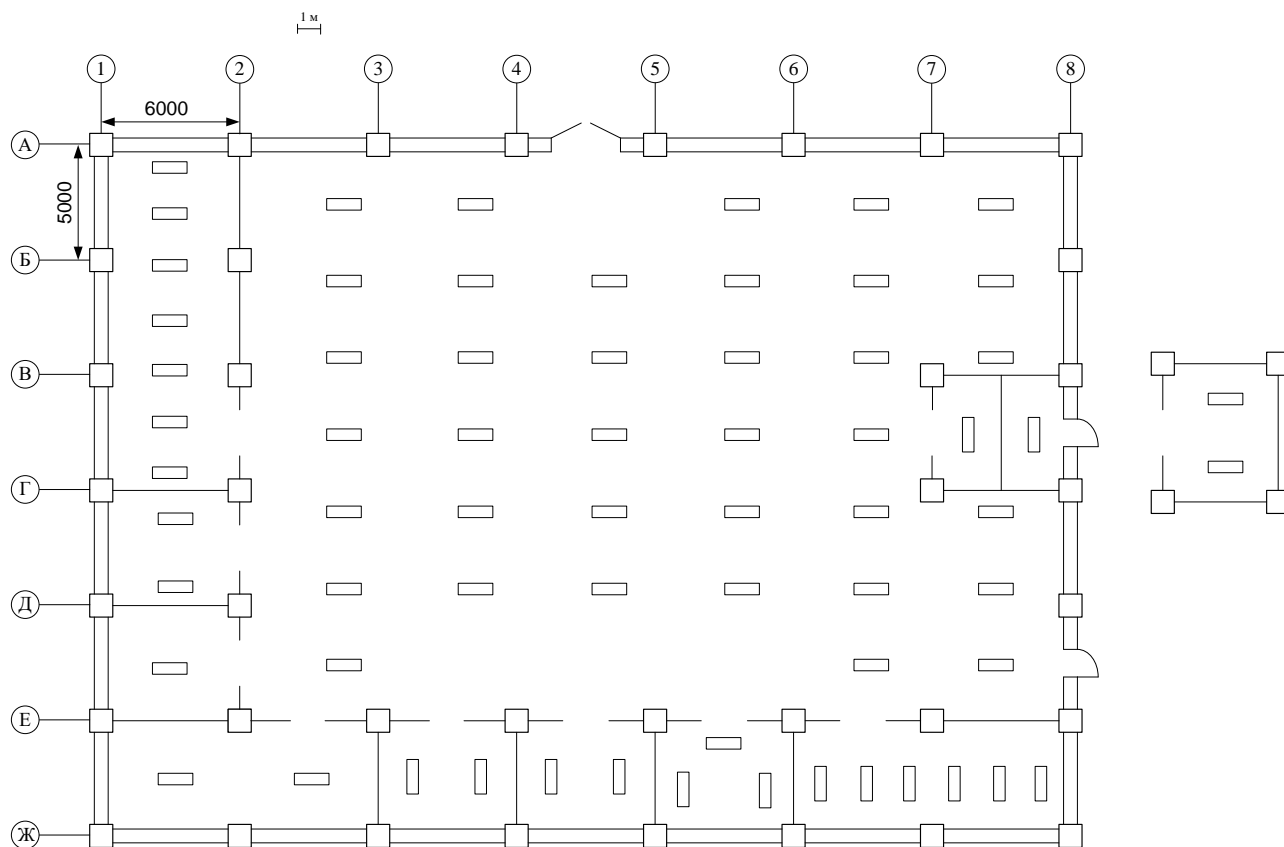


Рисунок 1 – Расположение светильников в цеху

## 2.2. Выбор схемы электроснабжения цеха

Для проектируемой схемы электроснабжения выбираем виды распределительных устройств (РУ). Распределительные устройства могут быть следующего вида: распределительные пункты (РП); шинопровод низкого напряжения (ШНН) или шинопровод магистральный алюминиевый (ШМА); щит освещения (ЩО) – для питания осветительной нагрузки.

Все имеющиеся в данном цеху электроприёмники распределяем следующим образом.

Распределительный пункт РПЗ – используем для подключения трехфазных электроприёмников работающих в повторно-кратковременном режиме (ПКР), а именно крана мостового.

Нагрузки трехфазных потребителей работающих в повторно-кратковременном режиме предварительно приводим к длительному режиму работы.

Для мостового крана:

$$P_n = P_{\Pi} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (7)$$

где  $P_n$  – активная мощность потребителя, приведенная к длительному режиму работы, кВт;

$P_{\Pi}$  – номинальная активная мощность потребителя, кВт;

ПВ – продолжительность включения потребителя, отн.ед.

$$P_n = 15 \cdot \sqrt{0,6} = 11,62 \text{ кВт.}$$

К шинопроводам ШМА1 и ШМА2 подключаем трехфазные потребители, имеющие длительный режим работы, причем нагрузку между ними распределяем равномерно (таблица 3).

Осветительную нагрузку подключаем к щиту освещения (ЩО).

С учётом категории надёжности электроснабжения цеха выбираем схему электроснабжения. Так как заданный для проектирования ИЦ относится ко 2 категории, поэтому выбираем схему с двумя трансформаторами и двумя секциями шин, разделенных секционным выключателем (см. приложение В). Данная

схема позволяет равномерно распределить нагрузку на секции шин и трансформаторы и удовлетворяет требованиям надежности электроснабжения потребителей.

Всю электрическую нагрузку цеха равномерно распределяем между двумя трансформаторами и секциями шин. Результаты распределения заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Распределение нагрузки между секциями

Наименование электроприёмников	Нагрузка, приведённая к длительному режиму, кВт (число шт.)		Наименование электроприёмников
	Секция 1	Секция 2	
	ШМА1	ШМА2	
Вентиляторы	4,5 (2)	2,8 (11)	Токарно-револьверные станки
Наждачные станки	3 (6)	9,5 (4)	Горизонтально-фрезерные станки
Заточные станки	2,5 (6)	2,2 (3)	Алмазно-расточные станки
Токарные автоматы	7,5 (2)	7,5 (3)	Токарные автоматы
Горизонтально-фрезерные станки	9,5 (2)		
	РП1		
Поперечно-строгальные станки	8,5 (4)	8,775	ЩО
	РП2	РП4	
Одношпиндельные автоматы токарные	3,5 (4)	3,5 (2)	Одношпиндельные автоматы токарные
Алмазно-расточные станки	2,2 (2)	2,2 (2)	Алмазно-расточные станки
Токарные автоматы	7,5 (1)	9,5 (2)	Горизонтально-фрезерные станки
	РП3		
Кран-балка	11,62 (1)		
ВСЕГО	147,52	144,58	ВСЕГО



Равномерное распределение электрической нагрузки между двумя секциями шин на стороне низкого напряжения позволит равномерно загрузить силовые трансформаторы и обеспечить возможность резервирования питания в случае выхода из строя одного из них.

### 2.3. Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок цеха производим методом коэффициента максимума. Это основной метод расчёта электрических нагрузок, который сводится к определению максимальных расчетных нагрузок группы электроприёмников. Метод позволяет по номинальной мощности электроприёмников с учётом их числа и характеристик определить расчётную нагрузку любого узла схемы электроснабжения.

Вначале определяем суммарную мощность однотипных электроприёмников, подключённых к одному распределительному устройству, используя следующую формулу:

$$P_{n\Sigma} = P_n \cdot n = \Sigma P_n, \quad (8)$$

где  $P_{n\Sigma}$  – суммарная мощность однотипных электроприёмников подключённых к одному РУ;

$P_n$  – единичная мощность одного электроприёмника, кВт;

$n$  – количество электро приёмников данного типа.

Например, к шинопроводу ШМА 1 подключено 6 наждачных станков 3 кВт каждый, тогда их суммарная мощность составит:

$$P_{n\Sigma} = 3 \cdot 6 = 18 \text{ кВт.}$$

Аналогично рассчитываем суммарную мощность всех однотипных электроприёмников подключённых к другим РУ. Полученные результаты заносим в таблицу Г.1 (ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

Используя справочную литературу, для каждого вида электроприёмников определяем следующие параметры:

- $K_n$  – коэффициент использования потребителя;
- $\cos\varphi$  – коэффициент мощности потребителя;
- $\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности потребителя.

Данные параметры для каждого вида электроприёмников заносим в сводную ведомость нагрузок, таблица Г.1 (ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

Например, для 6 наждачных станков эти параметры имеют значения  $K_{и}=0,16$ ;  $\cos\varphi=0,6$ ;  $\operatorname{tg}\varphi=1,17$ .

Определяем среднесменные нагрузки, активной и реактивной мощности для каждой группы однотипных потребителей, используя следующие формулы

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{н}, \quad (9)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (10)$$

где  $K_{и}$  – коэффициент использования электроприёмников определяется на основании опыта эксплуатации;

$P_{н}$  – номинальная активная групповая мощность, приведённая к длительному режиму работы, без учёта резервных электроприёмников, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности потребителя;

$P_{см}$  – средняя активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт;

$Q_{см}$  – средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену, квар.

Полная сменная мощность  $S_{см}$  может быть определена по формуле

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2}, \quad (11)$$

Например, для группы шлифовальных станков подключённых к распределительному устройству ШМА1 среднесменные активная и реактивная нагрузки составят:

$$P_{см} = 0,16 \cdot 18 = 2,88 \text{ кВт},$$

$$Q_{см} = 3,06 \cdot 1,33 = 3,84 \text{ квар}.$$

Аналогичным образом определяем сменные нагрузки для всех остальных однотипных групп электроприёмников, результаты расчётов заносим в таблицу Г.1(ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

Определяем суммарную сменную мощность  $P_{см}$ ,  $Q_{см}$ , для всех групп однотипных потребителей подключённых к одному распределительному устройству:

$$P_{см\Sigma} = \sum P_{смj} \quad (12)$$

$$Q_{см\Sigma} = \sum Q_{смj} \quad (13)$$

$$S_{\text{см}\Sigma} = \sqrt{P_{\text{см}\Sigma}^2 + Q_{\text{см}\Sigma}^2}, \quad (14)$$

где  $P_{\text{см}\Sigma}$  – суммарная активная среднесменная мощность электроприёмников подключённых к одному РУ, кВт;

$Q_{\text{см}\Sigma}$  – суммарная реактивная среднесменная мощность электроприёмников подключённых к одному РУ, квар;

$P_{\text{см}}$  – средняя активная мощность за наиболее загруженную смену для группы однотипных электроприёмников подключённых к одному РУ, кВт;

$Q_{\text{см}}$  – средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену для группы однотипных электроприёмников подключённых к одному РУ, квар;

$S_{\text{см}\Sigma}$  – полная суммарная среднесменная мощность всех электроприёмников подключённых к РУ, кВ·А.

Например, для электроприёмников, подключённых к ШМА1, суммарная сменная мощность составит:

$$P_{\text{см}\Sigma} = 5,44 + 4,144 + 1,16 + 16,12 = 26,87 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}\Sigma} = 7,25 + 5,53 + 2,01 + 18,34 = 33,13 \text{ квар},$$

$$S_{\text{см}\Sigma} = \sqrt{26,87^2 + 33,13^2} = 42,66 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Аналогично рассчитываем данные для ШМА2. Полученные результаты заносим в таблицу Г.1 (ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

Для группы потребителей подключённых к одному РУ определяем параметр силовой сборки по формуле:

$$m = \frac{P_{\text{н.нб}}}{P_{\text{н.нм}}}, \quad (15)$$

где  $P_{\text{н.нб}}$  – номинальная мощность наибольшего потребителя в группе, кВт;

$P_{\text{н.нм}}$  – номинальная мощность наименьшего потребителя в группе, кВт.

Для группы потребителей подключённых к ШМА1 параметр силовой сборки составит:

$$m = \frac{11,62}{2,2} = 5,28$$

Определяем эффективное число электроприёмников  $n_3$ . Эффективное число электроприёмников это такое число одинаковых по мощности и режиму работы электроприёмников, которое позволяет заменить реальное число электроприёмников с различной мощностью, и режимом работы не изменяя при этом величины расчётной максимальной нагрузки.

Для распределительного устройства ШМА1 эффективное число электроприёмников составит  $n_3=29$ .

На основе полученных значений  $n_3$  и  $K_{и}$  определяем коэффициент максимума  $K_M$ .  $K_M=F(K_{и}, n_3)$  – определяется по таблицам (графикам) которые можно найти в [19], а при отсутствии их может быть вычислен по формуле:

$$K_{и} = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_3}} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_{и.ср}}{K_{и.ср}}} \quad (16)$$

Для распределительного устройства ШМА1 коэффициент максимума равен  $K_M=F(0,19;29)=1,4$ .

Определяем максимальные нагрузки, используя следующие формулы:

$$P_M = K_M \cdot P_{см}, \quad (17)$$

$$Q_M = K'_M \cdot Q_{см}, \quad (18)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \quad (19)$$

где  $P_M$  – максимальная активная нагрузка, кВт;

$Q_M$  – максимальная реактивная нагрузка, квар;

$S_M$  – максимальная полная нагрузка, кВ·А;

$K_M$  – коэффициент максимума активной нагрузки;

$K'_M$  – коэффициент максимума реактивной нагрузки;

$P_{см}$  – средняя активная мощность за наиболее загруженную смену, кВт;

$Q_{см}$  – средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену, квар.

В соответствии с практикой проектирования систем электроснабжения принимаем  $K'_m=1,1$  при  $n_3 < 10$ ;  $K'_m=1$  при  $n_3 > 10$ .

Рассчитаем максимальные нагрузки для распределительного устройства ШМА1.

$$P_m = 1,4 \cdot 26,87 = 37,61 \text{ кВт},$$

$$Q_m = 1 \cdot 33,13 = 33,13 \text{ квар},$$

$$S_m = \sqrt{37,61^2 + 33,13^2} = 50,13 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Определяем значение тока в проводнике, идущем к распределительному устройству исходя из максимальной расчётной мощности по формуле:

$$I_m = \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (20)$$

где  $I_m$  – максимальный ток нагрузки, А;

$S_m$  – максимальная мощность, кВ·А;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение на шинах, кВ.

Для распределительного устройства ШМА 1 величина тока составит:

$$I_m = \frac{50,13}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 76,16 \text{ А}$$

Полученные результаты расчёта заносим в сводную ведомость нагрузок, таблица Г.1(ПРИЛОЖЕНИЕ Г). Аналогичным образом рассчитываем максимальные нагрузки и по другим распределительным устройствам РП1, РП2, ШМА2, ЩО результаты расчёта также заносим в сводную ведомость нагрузок, таблица Г.1(ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

По результатам расчётов определяем общую максимальную нагрузку цеха, которая необходима для выбора мощности силовых трансформаторов.

Суммарная максимальная электрическая нагрузка цеха  $P_{\Sigma m}$ ,  $Q_{\Sigma m}$  определится как сумма всех максимальных нагрузок отдельных распределительных устройств  $P_m$ ,  $Q_m$ .

$$P_{\Sigma m} = \sum P_m, \quad (21)$$

$$Q_{\Sigma m} = \sum Q_m, \quad (22)$$

$$S_{\Sigma M} = \sqrt{P_{\Sigma M}^2 + Q_{\Sigma M}^2}. \quad (23)$$

Таким образом, для всего цеха максимальная электрическая нагрузка составит:

$$P_{\Sigma M} = 37,61 + 31,72 + 7,57 = 76,90 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma M} = 33,13 + 28,97 + 2,49 = 64,59 \text{ квар},$$

$$S_{\Sigma M} = \sqrt{76,90^2 + 64,59^2} = 100,04 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Полученные результаты заносим в сводную ведомость нагрузок, таблица Г.1(ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

Таким образом, максимальная нагрузка на ШНН составит 170,08 кВ·А.

$$P_{\text{см}\Sigma\text{шнн}} = \sum P_{\text{см}\Sigma\text{ру}}, \quad (24)$$

$$Q_{\text{см}\Sigma\text{шнн}} = \sum Q_{\text{см}\Sigma\text{ру}}, \quad (25)$$

где  $P_{\text{см}\Sigma\text{ру}}$  – суммарная сменная активная мощность по РУ, кВт;

$Q_{\text{см}\Sigma\text{ру}}$  – суммарная сменная реактивная мощность по РУ, квар.

Определяем значения  $\cos\varphi$ ,  $\text{tg}\varphi$  для всего цеха, или на шинах низкого напряжения ШНН.

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{см}\Sigma\text{шнн}}}{P_{\text{см}\Sigma\text{шнн}}}, \quad (26)$$

где  $P_{\text{см}\Sigma\text{ру}}$  – суммарная сменная активная мощность по цеху, кВт;

$Q_{\text{см}\Sigma\text{ру}}$  – суммарная сменная реактивная мощность по цеху, квар;

$\text{tg}\varphi$  – среднесменный коэффициент реактивной мощности цеха.

$$\cos\varphi = \cos(\arctg\varphi), \quad (27)$$

где  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности цеха;

$\text{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности цеха.

$$P_{\text{см}\Sigma\text{шнн}} = 26,87 + 21,73 + 7,57 = 56,16 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{см}\Sigma\text{шнн}} = 33,13 + 28,97 + 2,49 = 64,59 \text{ квар},$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{64,59}{56,16} = 1,15,$$

$$\cos\varphi = 0,66.$$

Коэффициент мощности  $\cos\varphi$  характеризует величину потребляемой активной мощности, низкое значение этого показателя свидетельствует о большом потреблении реактивной мощности. Реактивная мощность не связана с совершением полезной работы, и расходуется на создание электромагнитных полей. Большое значение потребляемой реактивной мощности приводит к дополнительным потерям энергии, в распределительных сетях предприятия, соответственно увеличивается общее потребление энергии, а также приходится устанавливать силовые трансформаторы и аппараты защиты на большую мощность.

Так как коэффициент мощности  $\cos\varphi$  в проектируемом цехе имеет удовлетворительное значение, то проведение мероприятия по компенсации реактивной мощности могут не проводить, но для уменьшения имеющихся потерь стоит провести мероприятия. Данные мероприятия позволят повысить значение коэффициента мощности до «отличного» результат, в пределах от 0,95 до 1.



## 2.4. Расчёт и выбор компенсирующих устройств

Поскольку согласно расчёту коэффициент реактивной мощности превышает нормативное значение, поэтому проводим компенсацию реактивной мощности.

Определяем расчётную реактивную мощность компенсирующего устройства по формуле

$$Q_{кр} = \alpha \cdot P_M (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k), \quad (28)$$

где  $Q_{кр}$  – расчётная мощность компенсирующего устройства, квар;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным способом, принимаем равным 0,9;

$\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент реактивной мощности до компенсации;

$\operatorname{tg}\varphi_k$  – коэффициент реактивной мощности после компенсации;

$P_M$  – максимальная активная мощность, кВт.

Компенсацию реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения значения  $\cos\varphi_k=0,92-0,95$ . Принимаем  $\cos\varphi_k=0,92$ , определяем  $\operatorname{tg}\varphi_k$ , который в этом случае равен  $\operatorname{tg}\varphi_k=0,426$ .

Определяем мощность компенсирующего устройства

$$Q_{кр} = 0,9 \cdot 76,90 \cdot (1,15 - 0,426) = 50,12 \text{ квар}$$

По результатам расчёта выбираем две стандартные компенсирующие установки 2×УКМ 58-0,4-30-4-7,5 У3 IP20 со ступенчатым регулированием, мощностью 30 квар каждая и размещаем их по одной на каждую секцию шин.

Определяем фактическое значение  $\operatorname{tg}\varphi_\Phi$  после установки компенсирующих устройств, используя следующую формулу:

$$\operatorname{tg}\varphi_\Phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{ст.к.у}}{\alpha \cdot P_M}, \quad (29)$$

где  $Q_{ст.к.у}$  – стандартная мощность установленных компенсирующих устройств, квар.

$$\operatorname{tg}\varphi_\Phi = 1,15 - \frac{60}{0,9 \cdot 76,90} = 0,283$$

Определяем фактическое значение  $\cos\varphi_{\phi}$  после проведённой компенсации реактивной мощности по формуле:

$$\cos\varphi_{\phi} = \cos(\operatorname{arccctg}\varphi_a), \quad (30)$$

$$\cos\varphi_{\phi} = 0,962.$$

Полученные результаты свидетельствуют, что компенсация произведена до приемлемого значения коэффициента активной мощности  $\cos\varphi=0,95$ .

Определяем  $Q_m$ ,  $P_m$ ,  $S_m$ , на шинах низкого напряжения ШНН с учётом компенсации реактивной мощности:

$$S_{m(c\text{КУ})} = \sqrt{P_m^2 + (Q_m - Q_{\text{КУ}})^2}, \quad (31)$$

где  $S_{m(c\text{КУ})}$  – максимальная полная мощность на шинах низкого напряжения с учётом компенсации реактивной мощности, кВА;

$Q_m$  – максимальная реактивная мощность до компенсации, квар;

$Q_{\text{КУ}}$  – реактивная мощность установленного компенсирующего устройства, квар;

$P_m$  – максимальная активная мощность на шинах низкого напряжения, кВт.

$$S_{m(c\text{КУ})} = \sqrt{76,90^2 + (64,59 - 60)^2} = 77,04 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Определяем потери мощности в силовом трансформаторе.

Приближённо потери мощности в силовом трансформаторе можно определить по формулам:

$$\Delta P = 0,02 \cdot S_{\text{НН}}, \quad (32)$$

$$\Delta Q = 0,1 \cdot S_{\text{НН}}, \quad (34)$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta P^2 + \Delta Q^2}, \quad (35)$$

где  $\Delta P$  – потери активной мощности в трансформаторе, кВт;

$\Delta Q$  – потери реактивной мощности в трансформаторе, квар;

$\Delta S_{\text{НН}} = S_{m(c\text{КУ})}$  – полная максимальная мощность на ШНН с учётом компенсации реактивной мощности, кВА.

В результате потери мощности в силовом трансформаторе составят:

$$\Delta P = 0,02 \cdot 77,04 = 1,54 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q = 0,1 \cdot 77,04 = 7,70 \text{ квар},$$

$$\Delta S = \sqrt{1,54^2 + 7,70^2} = 7,86 \text{ кВА},$$

Определяем мощность на стороне высокого напряжения:

$$P_{M(BH)} = P_M + \Delta P, \quad (36)$$

$$Q_{M(BH)} = (Q_{M(\text{без КУ})} - Q_{\text{ст.КУ}}) + \Delta Q, \quad (37)$$

$$S_{M(BH)} = \sqrt{P_{M(BH)}^2 + Q_{M(BH)}^2}, \quad (38)$$

где  $P_{M(BH)}$  – максимальная активная мощность на стороне высокого напряжения, кВт;

$Q_{M(BH)}$  – максимальная реактивная мощность на стороне высокого напряжения, квар;

$S_{M(BH)}$  – максимальная полная мощность на стороне высокого напряжения, кВА;

$Q_{M(\text{без КУ})}$  – максимальная реактивная мощность на ШНН до компенсации реактивной мощности, квар;

$P_M$  – максимальная активная мощность на ШНН, кВт;

$Q_{\text{ст.КУ}}$  – мощность установленного компенсирующего устройства, квар;

$\Delta P$  – потери активной мощности в трансформаторе, кВт;

$\Delta Q$  – потери реактивной мощности, квар.

$$P_{M(BH)} = 76,90 + 1,54 = 78,45 \text{ кВт},$$

$$Q_{M(BH)} = (64,59 - 60) + 7,70 = 12,30 \text{ квар},$$

$$S_{M(BH)} = \sqrt{78,45^2 + 12,30^2} = 79,40 \text{ кВА}.$$

Результаты расчёта заносим в таблицу Г.1 (ПРИЛОЖЕНИЕ Г).

По полученному значению максимальной полной расчётной мощности на стороне высокого напряжения проводим расчёт мощности силового трансформатора для цеховой трансформаторной подстанции.

## 2.5. Выбор силовых трансформаторов

Выбор силовых трансформаторов для цеховой трансформаторной подстанции проводим с учётом категории надёжности электроснабжения потребителей и расчётной максимальной мощности, установленных в цеху электроприёмников с учётом проведённой компенсации реактивной мощности.

Для потребителей 2 категории выбираем два силовых трансформатора.

Мощность устанавливаемых трансформаторов определяется по формуле:

$$S_T > S_M / (1,4(n-1)), \quad (39)$$

где  $S_T$  – полная мощность трансформатора, кВА;

$S_M$  – полная максимальная мощность установленной в цехе нагрузки, кВА;

$n$  – число трансформаторов устанавливаемых в цеховой подстанции (принимаем для потребителей 2 категории  $n=2$ ).

$$S_T = 79,40 / (1,4 \cdot (2-1)) = 56,72 \text{ кВА}.$$

По результатам расчёта окончательно выбираем два силовых трансформатора 2×ТМ – 63 – 10/0,4 мощностью по 63кВА.

## 2.6. Расчёт и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения электроприемников

Для выбора аппаратов защиты и кабельных линий, идущих к потребителям, производим расчёт токов в линиях электроснабжения отдельных приёмников и групп электроприёмников.

Основными видами защиты до 1000В являются предохранители и автоматические выключатели. Автоматический выключатель (ВА) – устройство, способное отключить без вмешательства человека электроэнергию для потребителей, в случае перегрузки или короткого замыкания для того, чтобы защитить электрическую цепь от дальнейших разрушительных последствий и не допустить возгорания. Автоматический выключатель более эффективный в 3-х фазных цепях, чем предохранитель. Основным элементом автоматического выключателя является, расцепитель.

Ток в линии непосредственно за трансформатором на стороне низкого напряжения определяем по следующей формуле:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{T \text{ ном}}}, \quad (40)$$

где  $S_T$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

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

$I_T$  – ток в линии за трансформатором, А.

$$I_T = \frac{63}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 90,93 \text{ А}$$

Ток в линии, идущей к распределительному устройству, определяется по формуле:

$$I_{PY} = \frac{S_{M.PY}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.PY}}, \quad (41)$$

где  $S_{M.PY}$  – максимальная расчётная мощность РУ, кВА;

$U_{н.PY}$  – номинальное напряжение РУ, кВ;

$I_{PY}$  – ток в линии ведущей к РУ, А.

Ток в линии идущей к распределительному устройству ШМА1, находится:

$$I_{py} = \frac{50,13}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 76,16 \text{ A}$$

Аналогично определяем токи в линиях идущих ко всем остальным распределительным устройствам ШМА2, ЩО, результаты расчётов заносим в таблицу Д.1(ПРИЛОЖЕНИЕ Д).

Ток в линии, идущей к потребителю, которым является трехфазный электродвигатель переменного тока, определяется:

$$I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} \cdot U_{н.д} \cdot \eta_d \cdot \cos\varphi_d}, \quad (42)$$

где  $I_d$  – ток в линии идущей к электродвигателю, А;

$P_d$  – номинальная активная мощность 3<sup>x</sup>-фазного электродвигателя, кВт;

$U_{н.д}$  – номинальное напряжение электродвигателя, кВ;

$\cos\varphi$  – коэффициент активной мощности;

$\eta_d$  – коэффициент полезного действия двигателя, отн. ед.

Для примера определим номинальный ток в линии идущей к наждачному станку, подключённому к ШМА1.

$$I_d = \frac{3,00}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,6} = 8,94 \text{ A}$$

Аналогично определяем номинальные токи и для всех остальных потребителей имеющих трехфазный электродвигатель, результаты расчёта заносим в таблицу Д.1(ПРИЛОЖЕНИЕ Д).

Для защиты электроприёмников и линии от токов короткого замыкания выбираем автоматические выключатели.

Автоматические выключатели выбираем исходя из следующих условий:

$$I_{н.а} \geq I_{н.р}, \quad (43)$$

$$U_{н.а} \geq U_{сети}. \quad (44)$$

Для линии без электродвигателя:

$$I_{н.р} \geq I_{дл.л}. \quad (45)$$

Для линии с одним электродвигателем:

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot I_{ном} \quad (46)$$

Для линии с несколькими электродвигателями:

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{д.л}, \quad (47)$$

где  $I_{н.р}$  – номинальный ток расцепителя автомата, А;

$I_{н.а}$  – номинальный ток автомата, А;

$I_{д.л}$  – длительный ток линии, А;

$I_{ном}$  – номинальный ток электроприёмника, А;

$U_{н.а}$  – номинальное напряжение автомата, В;

$U_{сети}$  – номинальное напряжение сети, В.

В качестве примера выбираем автоматы для токарного станка с ЧПУ, подключённого к распределительному устройству ШМА1. Предварительно составляем расчётную схему (см. рисунок 2).

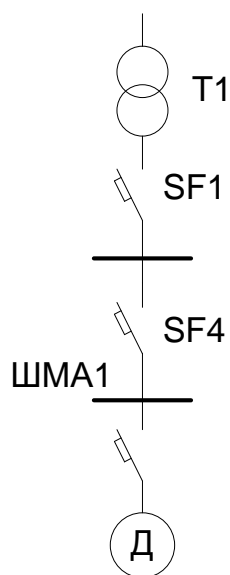


Рисунок 2 – Расчётная схема

Выбираем автомат SF расположенный на линии токарный станок с ЧПУ – ШМА1.

$$I_{н.р} \geq 1,1 \cdot 8,94 = 11,17 \text{ А.}$$

Выбираем автомат серии ВА57–35 34 с номинальным током  $I_{н.а} = I_{н.р} = 20 \text{ А.}$

Рассчитываем ток срабатывания (ток уставки) автомата. Для одного электродвигателя ток уставки определяется по формуле:

$$I_{уст} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}, \quad (48)$$

$$I_{пуск} = (6 \dots 7,5) \cdot I_{ном}, \quad (49)$$

где  $I_{уст}$  – ток срабатывания (уставка) автомата, А;

$I_{пуск}$  – пусковой ток электродвигателя, А;

$I_{ном}$  – номинальный ток электродвигателя, А.

$$I_{пуск} = 6 \cdot 11,17 = 53,62 \text{ А},$$

$$I_{уст} \geq 1,25 \cdot 53,62 = 64,35 \text{ А}.$$

Определяем кратность отсечки автоматического выключателя:

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{н.р}}, \quad (50)$$

где  $I_0 = I_{уст}$  – ток отсечки (уставка) автомата, А;

$I_{н.р}$  – номинальный ток расцепителя автомата, А;

$K_0$  – кратность отсечки.

Для автомата SF кратность отсечки составит:

$$K_0 = \frac{80}{16} = 5$$

Выбираем стандартную кратность отсечки автомата равную 6.

Выбираем автомат SF 4 расположенный на линии ШНН – ШМА1.

Согласно условию (48):

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot 76,16 = 83,77 \text{ А}.$$

Выбираем автомат с номинальным током расцепителя превышающим значение 83,77А. Таким автоматом является автомат ВА57Ф35 34 с номинальным током расцепителя  $I_{н.р} = 160 \text{ А}$ .

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя (уставка) автоматического выключателя установленного на группу электродвигателей определится по формуле:

$$I_{уст} \geq 1,2 \cdot I_{пик}, \quad (51)$$

$$I_{пик} = I_{пуск.нб} + I_M - I_{н.нб}, \quad (52)$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot I_{ном}, \quad (53)$$

где  $I_{уст}$  – ток срабатывания (уставка) автомата, А;



$I_{\text{пик}}$  – пиковый ток, А;

$I_{\text{пуск.нб}}$  – пусковой ток наибольшего по мощности электроприёмника в группе, А;

$I_{\text{м}}$  – максимальный ток на группу, А;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток электродвигателя, А;

$I_{\text{н.нб}}$  – номинальный ток наибольшего в группе электроприёмника, А.

$$I_{\text{уст}} \geq 1,2 \cdot (6 \cdot 28,30 + 76,16 - 17,65) = 273,98 \text{ А}$$

Определяем кратность отсечки автоматического выключателя ВА57Ф35 34 по формуле (50):

$$K_0 = \frac{500}{160} = 3,13$$

Для выбранного типа автомата кратность отсечки принимаем равной 4.

Выбираем автомат SF1 расположенный на линии трансформатор – ШНН.

Ток в линии за трансформатором вычисленный по формуле (40) составляет 90,93 А. Согласно формуле (47):

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,25 \cdot 90,93 = 113,67 \text{ А.}$$

Выбираем автомат с номинальным током расцепителя превышающим значение 113,67. Таким автоматом является автомат ВА57Ф35 34 с номинальным током расцепителя  $I_{\text{н.р}} = 250 \text{ А}$ .

Определяем ток уставки автомата:

$$I_{\text{уст}} \geq 1,2 \cdot (76,16 + 169,81 - 17,65) = 273,98 \text{ А.}$$

Кратность отсечки автомата согласно формуле (50) составит:

$$K_0 = \frac{750}{250} = 3$$

Для автомата ВАФ57-39 34 номинальная кратность отсечки составит 4.

Аналогичным образом выбираем автоматы и рассчитываем кратность отсечки для других потребителей, результаты расчёта заносим в таблицу Д.1 (ПРИЛОЖЕНИЕ Д).

Выбранные автоматы проверяем на селективность по следующим условиям.

Для номинального тока расцепителя автоматического выключателя:

$$I_{н.р}(SF) < I_{н.р}(SF4) < I_{н.р}(SF1), \quad (54)$$

Для тока уставки автоматического выключателя:

$$I_{уст}(SF) < I_{уст}(SF4) < I_{уст}(SF1), \quad (55)$$

Для рассмотренного случая условия селективности защиты выполняются:

$$16 < 160 < 250 \text{ А},$$

$$80 < 500 < 1000 \text{ А}.$$

На основании произведённых расчётов номинальных токов производим выбор линии электроснабжения потребителей.

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева нагрузки сравниваются расчётный максимальный ток  $I_p$  и допустимый  $I_d$  токи для проводника данной марки и условий его прокладки. При этом должно соблюдаться следующее соотношение:

$$I_p \leq I_d. \quad (56)$$

Значения допустимых длительных токов для кабелей составлены для нормальных условий прокладки, таковыми условиями считаются температура воздуха  $+25^\circ\text{C}$ , земли  $+15^\circ\text{C}$  и при условии что в траншее проложен только один кабель. Если условия прокладки проводников отличаются от нормальных, то допустимый ток нагрузки определяется с поправкой на температуру и количество прокладываемых рядом кабелей. Тогда сечение кабеля выбираем из условия:

$$I_d \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2}, \quad (57)$$

где  $I_d$  – допустимый ток для кабеля, А;

$I_p$  – расчетный ток потребителя, А;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий число рядом работающих кабелей;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий отклонение температуры окружающей среды от нормированной.

Например, определим сечение кабеля для подключения шлифовального станка.

Кабель прокладываем в цеху с температурой около +25°C, число рядом проложенных кабелей принимаем равным единице. В этом случае коэффициенты равны  $K_1=1$ ,  $K_2=0,9$ . Ток допустимый определится согласно формуле (57):

$$I_d \geq \frac{8,94}{1 \cdot 0,9} = 9,93 \text{ А}$$

Для питания отдельных потребителей выбираем кабели марки АВВГ. Используя таблицу допустимых значений токов для кабеля данной марки, определяем величину допустимого тока и сечение кабельной жилы, в результате выбираем кабель с допустимым током  $I_{\text{доп}}$  превышающим 9,93 А, кабель марки АВВГ -1 (4 х 2,5), для которого допустимый ток равен 19 А.

Выбранный кабель проверяем на соответствие аппарату защиты. Так как распределительная электрическая сеть цеха должна быть защищена от перегрузки, то в соответствии с п. 3.1.11 ПУЭ:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{уст}}, \quad (58)$$

где  $I_{\text{уст}}$  – ток уставки автоматического выключателя имеющего только максимальный мгновенного действия расцепитель, А;

$I_{\text{доп}}$  – длительно допустимая токовая нагрузка проводника, защищаемого от токов КЗ и перегрузки, А.

Для токарного автомата:

$$I_{\text{доп}} \geq 22,34 \text{ А.}$$

Этому условию удовлетворяют четыре кабеля АВВГ -1 (4 х 10).

Аналогично выбираем кабели и для всех остальных потребителей, результаты заносим в таблицу Д.1 (ПРИЛОЖЕНИЕ Д).

Выбираем сечение магистральных шинопроводов. Сечение шинопроводов ШМА1 и ШМА2 должно удовлетворять условию (58).

Для шинопровода ШМА1  $I_{\text{м}}=93,08 \text{ А}$  согласно условию (58) ток допустимый для шин:

$$I_{\text{доп}} \geq 93,08 \text{ А.}$$

Этому условию соответствует алюминиевый шинопровод с размерами 147х85, с допустимым током  $I_{\text{доп}}=250 \text{ А}$ .

Для шинпровода ШМА2  $I_m=90,66A$ , согласно условию (58) ток допустимый для шин

$$I_{\text{доп}} \geq 90,66A$$

Этому условию соответствует алюминиевый шинпровод с размерами 147x85,с допустимым током  $I_{\text{доп}}= 250 A$ .

Полученные результаты заносим в таблицу Д.1(ПРИЛОЖЕНИЕ Д).

## 2.7. Расчет токов короткого замыкания

Короткое замыкание(КЗ) – соединение фаз друг с другом или фазы с землей в сети с глухо заземленной нейтралью.

При расчете  $I_{кз}$  в сетях напряжением ниже 1000В необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления КЗ цепи.

На суммарное значение сопротивления КЗ цепи значительно влияют: сопротивления электрических аппаратов, катушек трансформаторов тока, токовых обмоток автоматов и реле, переходные сопротивления контактов.

В четырехпроводных сетях (3ф+0) при замыкании одной фазы на нулевой провод или металлический корпус электрооборудования защитный аппарат должен автоматически отключить аварийный участок цепи.

Для надежного срабатывания защитного аппарата в возможно короткое время ПУЭ требуют, чтобы ток однофазного замыкания в установках, не опасных по взрыву, был не менее трехкратной величины номинального тока плавкой вставки предохранителя или теплового расцепителя автоматического выключателя.

При защите сетей автоматами с одним электромагнитным расцепителем ток КЗ в петле фаза – нуль должен быть не менее величины тока уставки мгновенного срабатывания, умноженного на коэффициент 1,4 для автоматов с номинальным током до 100 А и на 1,25 для автоматов с номинальным током более 100 А.

Для проверки срабатывания защитного аппарата при замыкании между фазовым и нулевым проводами необходимо определить расчетный ток однофазного К.З.

При расчете токов КЗ в сетях напряжением ниже 1000 В необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления короткозамкнутой цепи. На суммарное значение сопротивления короткозамкнутой цепи значительно влия-

ют активные сопротивления электрических аппаратов, катушек трансформаторов тока, токовых обмоток автоматов и реле, переходные сопротивления контактов коммутационных аппаратов.

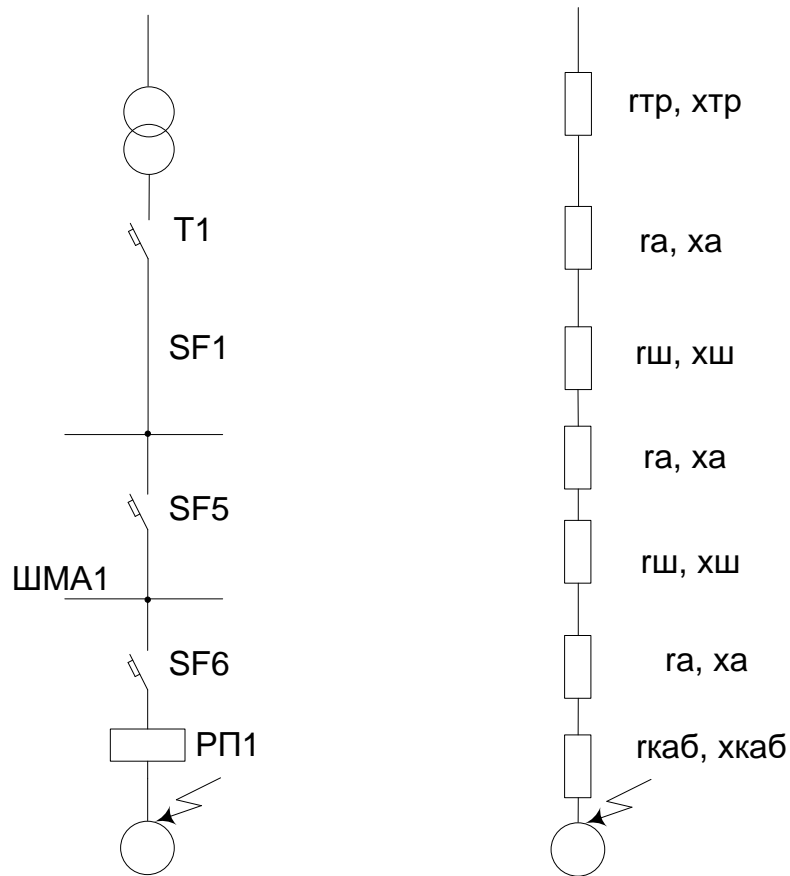


Рисунок 3 - Расчётная схема и схема замещения

Сопротивление отдельных элементов можно определить по формуле, например, для сопротивления шин от трансформатора до РУ 0,4 кВ:

$$r_{ш} = r_{ош} \cdot L_{ш}, \quad (59)$$

$$X_{ш} = X_{ош} \cdot L_{ш}, \quad (60)$$

ГДЕ  $r_{ош}$  и  $X_{ош}$  - активное и индуктивное сопротивление 1м плоских шин.

Сопротивление обмоток расцепителей и контактов автоматов находится:

$$r_a = r_{обм} + r_{конт}, \quad (61)$$

$$X_a = X_{обм} + X_{конт}, \quad (62)$$

ГДЕ  $r_{обм}$ ,  $r_{конт}$ ,  $X_{обм}$ ,  $X_{конт}$  - активное и индуктивное сопротивления, мОм.

Сопротивление кабеля (провода):

$$r_{каб} = r_{окаб} \cdot L_{каб}, \quad (63)$$

$$X_{\text{каб}} = X_{\text{о каб}} \cdot L_{\text{каб}}, \quad (64)$$

где  $r_{\text{о каб}}$ ,  $X_{\text{о каб}}$  - удельное активное и индуктивное сопротивления кабельных линий или проводов, мОм.

Определяем полное сопротивление

$$z = \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}, \quad (65)$$

где  $r_{\Sigma}$  – суммарное активное сопротивление всех элементов, мОм;

$x_{\Sigma}$  – суммарное индуктивное сопротивление всех элементов, мОм.

$$r_{\Sigma} = r + r_{a1} + r_{a2} + r_{a3} + r_{к}, \quad (66)$$

$$x_{\Sigma} = x + x_{a1} + x_{a2} + x_{a3} + x_{к}. \quad (67)$$

Ток однофазного КЗ определяют по приближенной формуле:

$$I_{\text{кз}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{z_{\text{п}} + z'_{\text{тр}}}, \quad (68)$$

где  $U_{\phi}$  – номинальное фазовое напряжение сети, В;

$z_{\text{п}}$  – полное сопротивление петли, созданной фазовым и нулевым проводниками, мОм;

$z'_{\text{тр}}$  – полное сопротивление трансформатора тока КЗ на корпус, мОм.

Проверка действия защиты определяется по условию

$$I_{\text{кз}}^{(1)} / I_{\text{н.р}} \geq 3, \quad (69)$$

Производим расчеты по указанным выше формулам и заносим результаты в таблицу 4.

Таблица 4 – Проверка срабатывания защиты

Параметры	ТМ	SF1	SF5	Кабель перед SF6	Кабель перед SF1	ШМА-5	Место КЗ
Sном;кВА	63						
Xо;мОм	41,7	0	0	0,1	0,18	0,21	
Ro;мОм	16,6	0	0	8,35	0,06	0,21	
R;мОм	52,0	74,1	74,1	22,06905	0,3	17,57	
X;мОм	102,0	102,0	102,0	0,2643	0,9	17,57	
Z;мОм	114			22,07	0,95	24,84	
Z <sup>1</sup> ;мОм	1237						
Iном, А	144,34	320	100	105		250	
L;факт.м				2,64	5	83,66	

$Z_{\Sigma}$ ; мОм							403,84
$I_{кз}$ ;кА							0,27

Осуществляем проверку по условию (69):

$$270/25 \geq 3,$$

$$10,8 \geq 3.$$

Данные результат говорит о том, что выбранная нами защита прошла проверку на токи КЗ.



## 2.8. Расчет защитного заземления

Защитное заземление есть преднамеренное соединение какой-либо части электроустановки с заземляющим устройством для обеспечения электробезопасности работающего персонала.

В случае цеха целесообразно использовать контурное заземление, в качестве заземляющего электрода выбираем стальной уголок диаметром 50 мм длиной 2,6 м.

Определяем расчётное сопротивление одного вертикального электрода, используя формулу:

$$r_{\text{в}} = 0,3 \cdot \rho \cdot K_{\text{сез.в}}, \quad (70)$$

где  $r_{\text{в}}$  – сопротивление вертикального электрода, Ом;

$\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;  $\rho = 100$  Ом·м;

$K_{\text{сез.в}}$  – коэффициент сезонности, учитывающий пересыхание и промерзание грунта (принимаем 1,7).

$$r_{\text{в}} = 0,3 \cdot 100 \cdot 1,7 = 51 \text{ Ом.}$$

Определяем ток замыкания для совмещённого заземления по следующей формуле:

$$I_{\text{з}} = \frac{U_{\text{лэп}} \cdot (35 \cdot L_{\text{кл}} + L_{\text{вл}})}{350}, \quad (71)$$

где  $U_{\text{лэп}}$  – напряжение линии электропередач, кВ;

$L_{\text{кл}}$  – длина кабельных электрических связных линии, км;

$L_{\text{вл}}$  – длина воздушных электрических связных линии, км;

$I_{\text{з}}$  – ток замыкания на землю, А.

$$I_{\text{з}} = \frac{10 \cdot (35 \cdot 1 + 7)}{350} = 7,03 \text{ А.}$$

Определяем предельное сопротивление совмещенного заземляющего устройства:

$$R_{\text{звл}} \leq \frac{125}{I_{\text{з}}}, \quad (72)$$

где  $I_{\text{з}}$  – ток замыкания на землю, А;

$R_{з\у1}$  – предельное сопротивление совмещенного заземляющего устройства, Ом.

$$R_{з\у1} \leq \frac{125}{7,03} = 17,78 \text{ Ом.}$$

Требуемое сопротивление заземления для стороны низкого напряжения сети с глухозаземлённой нейтралью трансформатора  $R_{з\у} \leq 4$  Ом. Поэтому принимаем  $R_{з\у} = 4$  Ом.

Если  $\rho > 100$  Ом·м, то для расчета используем следующую формулу:

$$R_{з\у} \leq 4 \cdot \frac{\rho}{100}, \quad (73)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м.

В нашем случае  $\rho = 100$  Ом·м следовательно, сопротивление будет равно ранее принятому значению, а именно четырем.

$$R_{з\у} \leq 4 \cdot \frac{100}{100} = 4 \text{ Ом}$$

Определяем количество вертикальных электродов без учета экранирования:

$$N'_{в.р} = \frac{r_в}{R_{з\у}}, \quad (74)$$

где  $R_{з\у}$  – требуемое сопротивление заземления для стороны низкого напряжения, Ом;

$N'_{в.р}$  – количество вертикальных электродов без учета экранирования;

$r_в$  – сопротивление одного вертикального электрода, Ом.

$$N'_{в.р} = \frac{132}{12} = 12,75$$

Принимаем  $N'_{в.р} = 13$ .

Определяем количество вертикальных электродов с учетом экранирования:

$$N_{в.р} = \frac{N'_{в.р}}{\eta_{в.р}}, \quad (75)$$

где  $N'_{в.р}$  – количество вертикальных электродов без учета экранирования;

$\eta_{в.р}$  – коэффициент использования вертикального электрода;

$N_{в.р}$  – количество вертикальных электродов с учета экранирования.

$$N_{в.р} = \frac{13}{0,69} = 18,84.$$

Для равномерного размещения электродов вдоль периметра здания принимаем  $N_{в.р} = 20$ .

Размещаем заземляющие устройства на плане и уточняем расстояние между ними.

Так как контурное заземляющее устройство закладывается на расстоянии не менее 1 м от стены здания, то длина заземляющего контура по периметру здания с учётом этого расстояния определяется по формуле:

$$L_{к.з} = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2, \quad (76)$$

где  $A$  – длина здания цеха, м;

$B$  – ширина здания цеха, м;

$L_{к.з}$  – длина заземляющего контура, м.

$$L_{к.з} = (42 + 2) \cdot 2 + (30 + 2) \cdot 2 = 152 \text{ м.}$$

Расстояние между электродами уточняется с учетом формы объекта. По углам здания устанавливаем по одному вертикальному электроду, а оставшиеся электроды располагаем между ними.

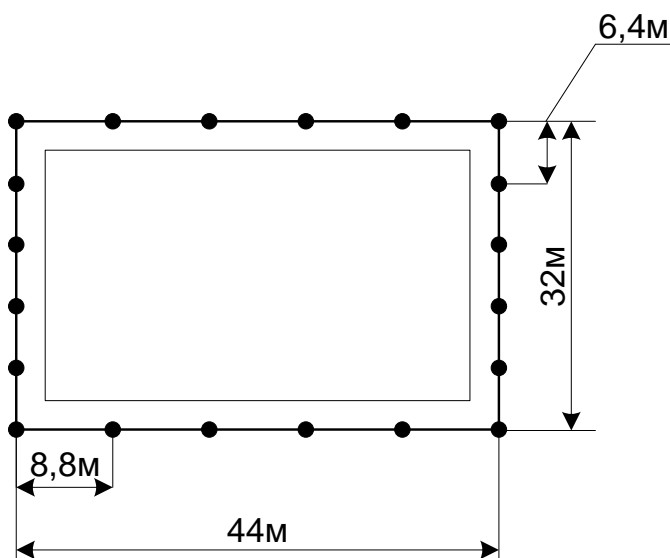


Рисунок 4 – План контурного заземляющего устройства здания

Определяем расстояние между электродами по ширине здания:

$$a_B = \frac{B'}{n_B - 1}, \quad (77)$$

где  $a_B$  – расстояние между электродами по ширине здания, м;

$B'$  – ширина контура заземления, м;

$n_B$  – число электродов расположенных по ширине контура заземления, шт.

$$a_B = \frac{32}{6-1} = 6,4 \text{ м.}$$

Определяем расстояние между электродами по длине здания:

$$a_A = \frac{A'}{n_A - 1}, \quad (78)$$

где  $a_A$  – расстояние между электродами по длине здания, м;

$A'$  – длина контура заземления, м;

$n_A$  – число электродов расположенных по длине контура заземления, шт.

$$a_A = \frac{44}{6-1} = 8,8 \text{ м.}$$

Для уточнения принимается среднее значение отношения расстояния между двумя соседними вертикальными электродами и длины вертикального электрода.

$$\left(\frac{a}{L}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{a_B + a_A}{L}\right), \quad (79)$$

где  $L$  – длина электрода, м;

$a_A$  – расстояние между электродами по длине здания, м;

$a_B$  – расстояние между электродами по ширине здания, м.

$$\left(\frac{a}{L}\right)_{cp} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{8,8 + 6,4}{2,6}\right) = 2,92 \text{ м.}$$

По таблице уточняем коэффициент использования вертикальных электродов и горизонтальной соединительной полосы:

$$\eta_B = F(19; 2,5) = 0,71,$$

$$\eta_\Gamma = F(19; 2,5) = 0,45.$$

Определяем уточнённое значение сопротивлений вертикальных электродов и горизонтальной соединительной полосы.

Сопротивление горизонтальной соединительной полосы рассчитывается по формуле:

$$r_{\Gamma} = \frac{0,4 \cdot \rho \cdot K_{\text{сез.г}}}{L_{\text{к.з}} \cdot \eta_{\Gamma}} \cdot \lg \frac{2 \cdot L_{\text{к.з}}^2}{b \cdot t}, \quad (80)$$

где  $r_{\Gamma}$  – сопротивление горизонтальной соединительной полосы, Ом;

$L_{\text{к.з}}$  – длина заземляющего контура, м;

$b$  – ширина полосы соединительного заземления, м;

$t$  – глубина заложения соединительной полосы, м;

$\eta_{\Gamma}$  – коэффициент использования горизонтальной соединительной полосы;

$\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_{\text{сез.г}}$  – коэффициент сезонности, учитывающий пересыхание и промерзание грунта.

В качестве соединительной полосы используем стальную полосу размером 50x50 мм. Глубина залегания горизонтальной полосы в грунте принимаем  $t = 0,6$  м.

$$r_{\Gamma} = \frac{0,4 \cdot 100 \cdot 1,7}{152 \cdot 0,45} \cdot \lg \frac{2 \cdot 152^2}{0,05 \cdot 0,6} = 2,93 \text{ м.}$$

Определяем уточнённое сопротивление вертикального электрода с учётом коэффициента использования:

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \cdot \eta_B}, \quad (81)$$

где  $R_B$  – сопротивление вертикального электрода, Ом;

$N_B$  – количество вертикальных электродов, шт;

$\eta_B$  – коэффициент использования вертикальных электродов;

$$R_B = \frac{51}{20 \cdot 0,69} = 3,70 \text{ Ом}$$

Определяем фактическое сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{\text{з.ф}} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \quad (82)$$

где  $R_{\text{з.ф}}$  – фактическое сопротивление заземляющего устройства, Ом;

$R_\Gamma$  – сопротивление горизонтальной стальной полосы, Ом;

$R_B$  – сопротивление вертикального электрода, Ом.

$$R_{\text{з.ф}} = \frac{2,93 \cdot 3,7}{3,7 + 2,93} = 1,63 \text{ Ом.}$$

Сравниваем сопротивление фактического заземляющего устройства и расчётного:

$$R_{\text{з.ф}} \leq R_{\text{з.р}}, \quad (83)$$

$$1,63 < 4 \text{ Ом.}$$

Следовательно, делаем вывод, что заземление эффективно.

## 2.9. Расчёт молниезащиты

Молниезащита—это комплекс технологических мер направленных для предотвращения попадания грозовых атмосферных разрядов, с целью избежание аварийных ситуаций, порчи имущества и попадания в людей.

Молниезащита делится на внешнюю и внутреннюю.

Внешняя молниезащита обеспечивает перехват прямого удара молнии и отвод его в землю, где энергия молнии рассеяется.

Исполнение внешней молниезащиты осуществляется тремя способами: молниеприемная сеть, натянутый молниеприемный трос и молниеприемный стержень.

Основные конструктивные элементы внешней молниезащиты:

- молниеотвод (молниеприёмник, громоотвод)—устройство, перехватывающее разряд молнии. Выполняется из металла (нержавеющая либо оцинкованная сталь, алюминий, медь);
- токоотводы (спуски) – часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю;
- заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через проводящую среду.

Ожидаемое количество (N) молнией в год для зданий и сооружений прямоугольной формы рассчитывается по формуле:

$$N=[(B+6h_x) \cdot (A+6h_x)-7,7h_x^2]n \cdot 10^{-6}, \quad (84)$$

где A— длина здания или сооружения, м;

B— ширина здания или сооружения, м;

n – среднегодовое число ударов молний в 1 км<sup>2</sup> земной поверхности в месте нахождения здания или сооружения;

h<sub>x</sub> – высота защищаемого сооружения.

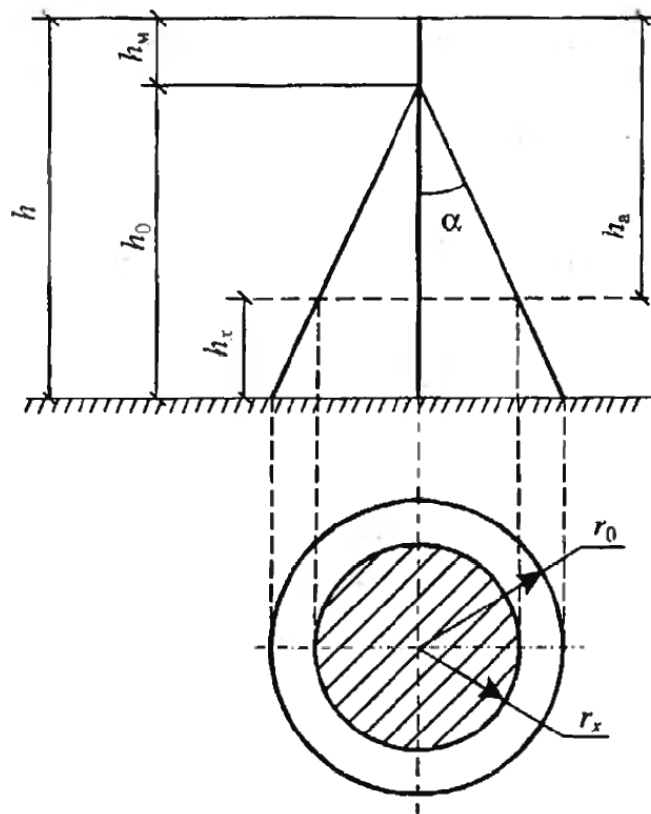


Рисунок 5– Зона одиночного стержневого молниеотвода

По следующим формулам для одиночного стержневого молниеотвода определяем параметры молниезащиты для зоны «А».

$$h_0 = 0,85 \cdot h, \quad (85)$$

где  $h$  – полная высота стержневого молниеотвода, м;

$h_0$  – высота вершины конуса стержневого молниеотвода, м.

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} h) \cdot h, \quad (86)$$

где  $r_0$  – радиус защиты на уровне земли, м.

$$h_0 = 0,85 \cdot 45 = 38,25 \text{ м},$$

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 45) \cdot 45 = 45,45 \text{ м}.$$

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} h) \cdot (h - 1,2 h_x), \quad (87)$$

где  $r_x$  – радиус защиты на высоте защищаемого сооружения, м.

Для расчета необходимы данные  $A=42$  м,  $B=30$  м,  $h_x=7$  м.

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 45) \cdot (40 - 1,2 \cdot 7) = 36,97 \text{ м}.$$

$$h_m = h - h_0, \quad (88)$$

где  $h_m$  – высота стержневого молниеприемника, м.



$$h_a = h - h_x, \quad (89)$$

где  $h_a$  – активная высота молниеотвода, м.

$$h_m = 45 - 38,25 = 6,75 \text{ м,}$$

$$h_a = 45 - 7 = 38 \text{ м.}$$

Угол защиты можно определить по формуле:

$$\alpha = \arctg(r_0 / h_0), \quad (90)$$

где  $\alpha$  – угол защиты (между вертикалью и образующей), градусы.

$$\alpha_A = \arctg(45,45 / 38,25) = 49,92^\circ$$

Для зоны «Б» одиночного стержневого молниеотвода:

$$h_0 = 0,92 \cdot 45 = 41,4 \text{ м,}$$

$$r_0 = 1,5 \cdot 45 = 67,5 \text{ м,}$$

$$r_x = 1,5 \cdot (45 - 1,1 \cdot 7) = 55,95 \text{ м,}$$

$$h_m = 45 - 41,4 = 3,6 \text{ м,}$$

$$h_a = 45 - 7 = 38 \text{ м,}$$

$$\alpha_B = \arctg(67,5 / 41,4) = 58,48^\circ.$$

Определяем габаритные размеры защищаемого объекта в каждой зоне молниезащиты.

Зона «А»:

$$A^{(A)} = 2r_x \cdot \cos\varphi^{(A)}, \quad (91)$$

$$\varphi^{(A)} = \arcsin(B / 2r_x), \quad (92)$$

$$\varphi^{(A)} = \arcsin(B / 2r_x) = \arcsin(20 / 2 \cdot 36,97) = 23,94,$$

$$\cos\varphi^{(A)} = \cos 23,94^\circ = 0,91,$$

$$A^{(A)} = 2 \cdot 36,97 \cdot 0,91 = 67,28 \text{ м.}$$

Зона «Б»:

$$\varphi^{(B)} = \arcsin(B / 2r_x) = \arcsin(20 / 2 \cdot 55,95) = 15,55,$$

$$\cos\varphi^{(B)} = \cos 15,55^\circ = 0,96,$$

$$A^{(B)} = 2 \cdot 55,95 \cdot 0,96 = 107,42 \text{ м.}$$

Определяем возможное поражение защищаемого объекта в зонах при отсутствии молниезащиты.

Зона «А»:

$$N = [(30+6 \cdot 7) \cdot (67,28+6 \cdot 7) - 7,7 \cdot 7^2] \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 30 \cdot 10^{-3} \text{ поражений/год.}$$

Зона «Б»:

$$N = [(30+6 \cdot 7) \cdot (107,42+6 \cdot 7) - 7,7 \cdot 7^2] \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 41,5 \cdot 10^{-3} \text{ поражений/год.}$$

В зоне молниезащиты Б происходит больше поражений молнией в год.

### 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Выбранное нами оборудование необходимо рассчитать затраты на его приобретение для этого находимо на электронных ресурсах производителей стоимость данных компонентов.

Стоимость одного компенсирующего устройства марки УКМ 58-0,4-30-4-7,5 УЗ, равна 27000 рублей.

Стоимость одного трансформатора марки ТМ – 63 – 10/0,4, равна 67000 рублей.

Пункт распределительный ПР11-3008 50А стоит 5805,60 рублей и пункт распределительный ПР11-3016 63А стоит 11280,80 рублей.

Стоимости автоматов в зависимости от токов расцепителей приведены в таблицы 5.

Таблица 5 – Стоимость автоматов

Марка автомата	Ток, А	Цена, руб.
ВА57Ф35	16	1724,00
ВА57Ф35	20	1724,00
ВА57Ф35	25	1724,00
ВА57Ф35	31,5	1724,00
ВА57Ф35	40	1724,00
ВА57Ф35	50	1724,00
ВА57Ф35	63	1724,00
ВА57Ф35	80	1921,00
ВА57Ф35	100	1921,01
ВА57Ф35	125	2007,00
ВА57Ф35	160	2251,00
ВА57Ф35	200	2253,00
ВА57Ф35	250	2738,00

Стоимости кабелей в зависимости от сечения приведены в таблицы 6.

Таблица 6 – Стоимость кабелей

Марка кабеля	руб/м
АВВГ 4Х2,5	13,63
АВВГ 4Х4	16,43
АВВГ 4Х6	23,20
АВВГ 4Х10	36,12
АВВГ 4Х16	50,53
АВВГ 4Х25	75,30
АВВГ 4Х35	102,31
АВВГ 4Х50	154,76
АВВГ 4Х70	179,91
АВВГ 4Х95	217,01
АВВГ 4Х120	254,32
АВВГ 4Х150	316,17
АВВГ 4Х185	479,03
АВВГ 4Х240	620,12

Осталось для каждого элемента проектируемого электроснабжения умножить на соответствующую стоимость, тем самым мы определим затраты. Затраты можно разделить на несколько групп: затраты на трансформаторы, затраты на устройства компенсации, затраты на шинопроводы, затраты на автоматы, затраты на проводку и затраты на распределительные пункты. Данные операции мы сводим в таблицу 7.

Таблица 7 – Затраты

Затраты	Стоимость, руб.
Трансформаторы	130000
На компенсацию	54 000
Шинопроводы	358823,45
Защита (автоматы)	121281,01
Проводка	10361,96
Распределительные пункты	28697,60
Лампы	15688
Светильники	192984
Монтаж трансформаторов	90000
Монтаж компенсаторов реактивной мощности	30000
Монтаж шинопроводов	63950
Монтаж автоматов	7000
Монтаж проводки	21748,92
Монтаж распределительных пунктов	2000

Окончание таблицы 7

Монтаж светильников	39600
Монтаж контурного заземления	40000
ВСЕГО	1206135,293

Определяем срок окупаемости проекта. Срок окупаемости инвестиционного проекта является наиболее популярным показателем оценки целесообразности инвестиций. Простота расчета и его наглядность способствует этой популярности.

Расчет срока окупаемости инвестиционного проекта проводят по формуле:

$$PP = I_0 / CF_{cr}, \quad (93)$$

где PP – срок окупаемости в годах;

$I_0$  – начальные инвестиции в проект в рублях;

$CF_{cr}$  – среднегодовой доход проекта в рублях.

Поскольку среднегодовой доход определить не всегда представляется возможным, то расчет окупаемости инвестиционного проекта проводят по формуле:

$$PP = n, \text{ если } \sum_{t=1}^n CF_t > I_0, \quad (94)$$

где  $CF_t$  – поступление доходов от проекта в t-й год;

n – количество лет.

Расчеты сроков окупаемости инвестиций заносим в таблицу 8.

Таблица 8 – Срок окупаемости

Период (год), T	Первоначальные затраты, IC	Денежный поток, CF	Денежный поток нарастающим итогом
1	1 126 535,29р.		
2	1 126 535,29р.	215 000,00р.	215 000,00р.
3	1 126 535,29р.	200 000,00р.	415 000,00р.
4	1 126 535,29р.	220 000,00р.	635 000,00р.
5	1 126 535,29р.	207 000,00р.	842 000,00р.
6	1 126 535,29р.	218 000,00р.	1 060 000,00р.
7	1 126 535,29р.	225 000,00р.	1 285 000,00р.
8	1 126 535,29р.	219 000,00р.	1 504 000,00р.

По результатам таблицы 8 видно, что проект окупается через 7 лет, для долгосрочного проекта это хороший показатель. При увеличении денежных потоков данный проект окупиться раньше, если снизить денежные потоки, то данный проект малопривлекательным будет для инвесторов.

## 4. ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Для наблюдения и соблюдения экологических норм на предприятии назначается инженер по охране окружающей среды.

Должностные обязанности инженера по охране окружающей среды (эколога) следующие:

- контроль за соблюдением в подразделениях предприятия экологического законодательства, инструкций, стандартов и нормативов по охране окружающей среды;

- разработка проектов перспективных и текущих планов по охране окружающей среды;

- контроль за выполнением планов по охране окружающей среды;

- участие (в качестве представителя предприятия) в проведении экологической экспертизы технико-экономических обоснований, проектов расширения и реконструкции действующих производств, а также создаваемых новых технологий и оборудования, разработке мероприятий по внедрению новой техники;

- участие в проведении научно-исследовательских и опытных работ по очистке промышленных сточных вод, предотвращению загрязнения окружающей среды выбросами вредных веществ в атмосферу, уменьшению или полной ликвидации технологических отходов, рациональному использованию земельных и водных ресурсов;

- контроль за соблюдением технологических режимов природоохранных объектов, за состоянием окружающей среды в районе расположения предприятия;

- составление технологических регламентов, графиков аналитического контроля, паспортов, инструкций и другой технической документации;

- участие в проверке соответствия технического состояния оборудования требованиям охраны окружающей среды и рационального природопользования;

- составление установленной отчетности о выполнении мероприятий по охране окружающей среды.

Для обеспечения охраны водных ресурсов выполняется: очистка сточных вод и оснащение предприятия системами, выполняющими такую очистку, создание систем с использованием бессрочного оборотного снабжения водой, повторного использования воды, прошедшей очистку.

Установка систем для утилизации опасных газов и газопылеулавливающих приспособлений поможет защитить воздух от загрязнения.

Безотходное предприятие позволяет задействовать все используемые материалы с максимальной экономической выгодой. Строительство комплексов для переработки мусора и сжигания отходов, строительство заводов и установок, перерабатывающих различные отходы в сырье, организация сбора и вывоза мусора. Данные меры позволяют уменьшить количество мусора, которого в нашей стране и так много.

Повышение экологической грамотности персонала и обучение профессиональных экологов, поможет прояснить значимость в уборке отходов.

Научные исследования в сфере экологии должны помочь в разработки новых технологий, для уменьшения отходов в производстве и повышения качества очистки загрязнения.

Для обеспечения и повышения безопасности персонала, осуществляется:

- организация проведения различных инструктажей (вводный, первичный на рабочем месте, повторный, целевой и внеплановый);

- назначение инженера по охране труда ответственного за обеспечения мер безопасности;

- проведение в установленном порядке работ по аттестации рабочих мест по условиям труда, оценке уровней профессиональных рисков.

- обеспечение хранения средств индивидуальной защиты, а также ухода за ними (своевременная химчистка, стирка, дегазация, дезактивация, дезинфекция, обезвреживание, обеспыливание, сушка), проведение ремонта и замена средств индивидуальной защиты.



- приобретение стендов, тренажеров, наглядных материалов, научно-технической литературы для проведения инструктажей по охране труда, обучения безопасным приемам и методам выполнения работ, оснащение кабинетов (учебных классов) по охране труда компьютерами, теле-, видео-, аудиоаппаратурой, лицензионными обучающими и тестирующими программами, проведение выставок, конкурсов и смотров по охране труда.

- организация обучения работников оказанию первой помощи пострадавшим на производстве.

- проведение в установленном порядке обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований).

- устройство новых или модернизация имеющихся средств коллективной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов;

- внедрение или модернизация технических устройств, обеспечивающих защиту работников от поражения электротоком;

- приведение уровней естественного и искусственного освещения на рабочих местах в соответствии с действующими нормами.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходы выполнения поставленных задач была достигнута цель ВКР, которая заключалась в рассмотрении краткой характеристики электроснабжение инструментального цеха по электрическим нагрузкам, режиму работы, роду тока, питающему напряжению и сделать расчет электрических нагрузок.

Спроектированная система электроснабжения цеха удовлетворяет всем требованиям безопасности. Для осуществления безопасной и бесперебойной работы в данной системе были применены заземление и внешнюю защиту от молний.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анчарова Т. В., Рашевская М. А., Стебунова Е. Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – М.: Инфра-М, 2012. – 416 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования– М.: КноРус, 2016. – 296 с.
3. Горелов С. В., Татьянченко Л. Н., Хомутов С. О. Изоляция и перенапряжения в системах электроснабжения. – М.: Директ-Медиа, 2016. – 117 с.
4. Долин П.А., Медведев В.Т., Корочкин В.В., Монахов А.Ф. Электробезопасность. Теория и практика: учебное пособие для вузов, 3-е изд., перераб. и доп. под. ред. Медведева В.Т. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 280 с.
5. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2016 года.– М.: КноРус, 2016. – 552с.
6. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Рожкова Л.Д., Карнеева Л.К., Чиркова Т.В. – 9-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
7. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. –М.: Инфра-М, 2015. – 368 с.
8. Сивков А.А., Сайгаш А.С., Герасимов Д.Ю. Основы Электроснабжения: учебное пособие для академического бакалавриата. – Л.: Юрайт, 2016. – 173 с.
9. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. – М.: КноРус, 2013. – 368 с.
10. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений: учебное пособие. – М.: КноРус, 2015. – 234 с.

11. Киреева Э. А., Цырук С. А., Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.
12. Кнорринг Г. М. Справочник для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг – М.: Книга по Требованию, 2012. – 381 с.
13. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов: учеб.пособие для сред. проф. образования, 11-е изд.,стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320с.
14. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования, 2-е изд., перераб. и доп. / Б.И.Кудрин. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 352 с.
15. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Титова Г.Р. Системы электроснабжения городов и промышленных предприятий: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования, 1-е изд. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 368 с.
16. Халилов Ш. А. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / Ш. А. Халилов, А. Н. Маликов, В. П. Гневанов. – М.: Форум, 2012. - 576 с.
17. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Технико-экономические расчеты распределительных электрических цепей: учебное пособие для студ. учреждений высш. образования, 1-е изд. – М.: Инфра-М, 2015. – 96 с.
18. Шведов Г. В. Электроснабжение городов. Электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети. – М.: МЭИ, 2012. – 268 с.
19. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: Методическое пособие для курсового проектирования. – М.: Форум, 2014. – 216 с.
20. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжения:3-е изд. – М.: Форум, 2014.– 136с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

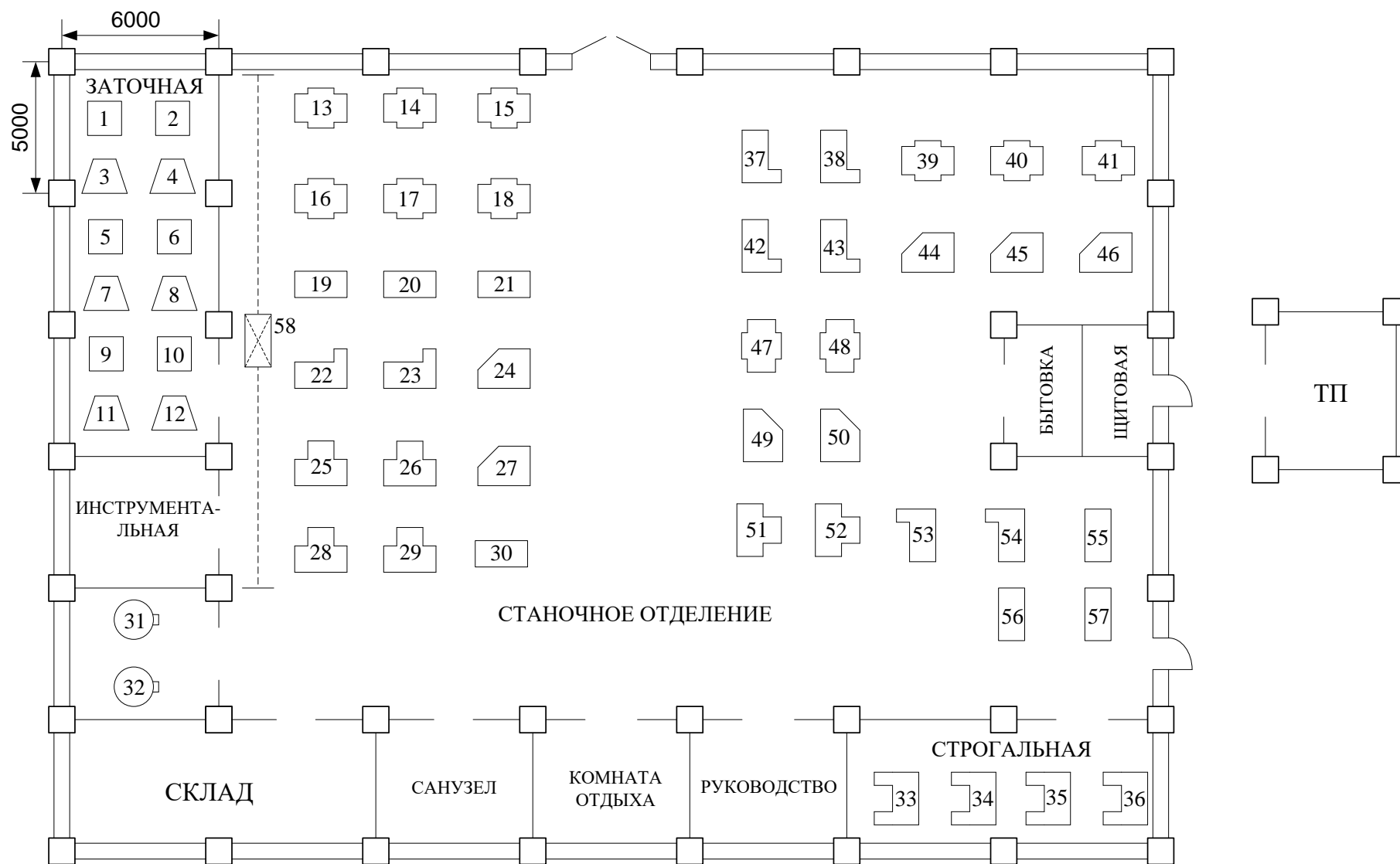


Рисунок А.1 – План расположения электроприемников

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

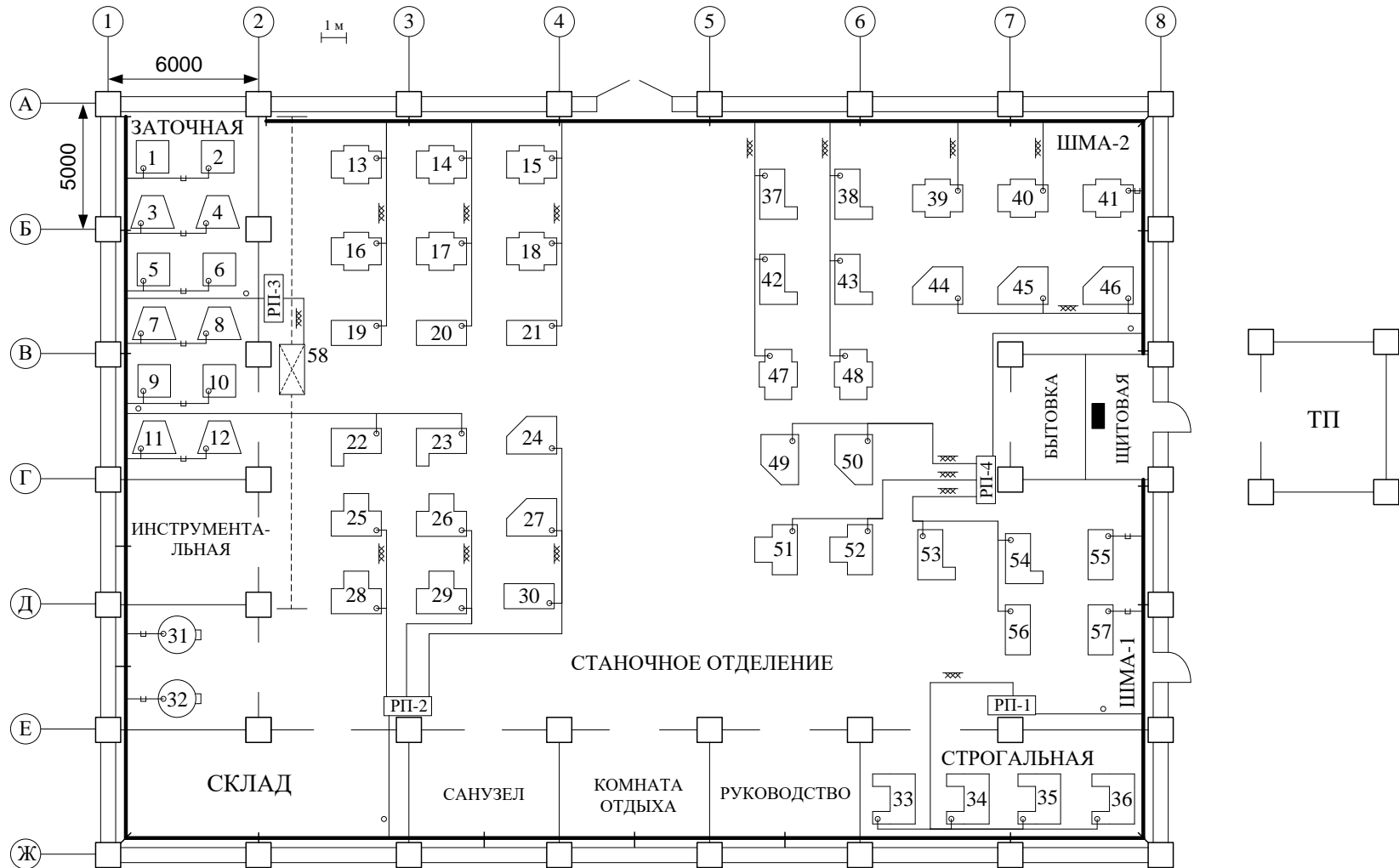


Рисунок Б.1 – План электроснабжения цеха



## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1–Сводная ведомость нагрузок

Наименование РУ и электро-приемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смена						Нагрузка максимальная			
	$P_{н}$ , кВт	n	$P_{н\Sigma}$ , кВт	$K_{и}$	$\cos \phi$	$\operatorname{tg}\phi$	m	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$S_{см}$ , кВА	$n_{э}$	$K_{м}$	$K'_{м}$	$P_{м}$ , кВт	$Q_{м}$ , квар	$S_{м}$ , кВА	$I_{м}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<b>РП1</b>																	
Поперечно-строгальные станки	8,5	4	34,00	0,16	0,6	1,33	-	5,44	7,25	9,07	-	-	-	5,44	7,25	9,07	13,78
<b>РП2</b>																	
Одношпиндельные автоматы токарные	3,5	4	14	0,16	0,6	1,33	-	2,24	2,99	3,73	-	-	-	2,24	2,99	3,73	5,67
Алмазно-расточные станки	2,2	2	4,4	0,16	0,6	1,33	-	0,70 4	0,94	1,17	-	-	-	0,70 4	0,94	1,17	1,78
Токарные автоматы	7,5	1	7,5	0,16	0,6	1,33	-	1,2	1,60	2,00	-	-	-	1,2	1,60	2,00	3,04
ВСЕГО ПО РП2	-	7	25,9	0,16	0,60	1,33	3, 4	4,14 4	5,53	6,91	6	2,24	1,1	9,28	6,08	11,10	16,86
<b>РП3</b>																	
Кран-балка	11,6 2	1	11,62	0,10	0,50	1,73	-	1,16	2,01	2,32	-	-	-	1,16	2,01	2,32	3,53
<b>ШМА 1</b>																	
Вентиляторы	4,5	2	9	0,6	0,8	0,75		5,4	4,05								
Наждачные станки	3	6	18	0,16	0,6	1,33		2,88	3,84								
Заточные станки	2,5	6	15	0,16	0,6	1,33		2,4	3,20								
Токарные автоматы	7,5	2	15	0,16	0,6	1,33		2,4	3,20								
Горизонтально фрезерные станки	9,5	2	19	0,16	0,6	1,33		3,04	4,05								
ВСЕГО ПО ШМА 1	-	3 0	147,52	0,18	0,63	1,23	5, 3	26,8 7	33,1 3	42,6 6	29	1,4	1,0	37,6 1	33,1 3	50,13	76,16



Продолжение таблицы Г.1

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смена						Нагрузка максимальная			
	$P_{н}$ , кВт	n	$P_{н\Sigma}$ , кВт	$K_{и}$	$\cos\phi$	$\operatorname{tg}\phi$	m	$P_{см}$ , кВт	$Q_{см}$ , квар	$S_{см}$ , кВА	$n_3$	$K_M$	$K'_M$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВА	$I_M$ , А
<b>РП 4</b>																	
Алмазно-расточные станки	2,2	2	4,4	0,16	0,6	1,33	-	0,70 4	0,94	1,17	-	-	-	0,704	0,94	1,17	1,78
Токарные автоматы	7,5	1	7,5	0,16	0,6	1,33	-	1,2	1,60	2,00	-	-	-	1,2	1,60	2,00	3,04
Горизонтально фрезерные станки	9,5	2	19	0,16	0,6	1,33	-	3,04	4,05	5,07	-	-	-	3,04	4,05	5,07	7,70
Одношпиндельные автоматы токарные	3,5	2	7	0,16	0,6	1,33	-	1,12	1,49	1,87	-	-	-	1,12	1,49	1,87	2,84
ВСЕГО ПО РП4	-	7	37,9	0,16	0,78	0,80	4,3	6,06 4	8,09	10,1 1	7	2, 1	1, 1	12,73	8,89	15,53	23,60
<b>ШМА2</b>																	
Токарно-револьверные станки	2,8	11	30,8	0,16	0,6	1,33		4,92 8	6,57								
Горизонтально фрезерные станки	9,5	4	38	0,16	0,6	1,33		6,08	8,11								
Алмазно-расточные станки	2,2	3	6,6	0,16	0,6	1,33		1,05 6	1,41								
Токарные автоматы	7,5	3	22,5	0,16	0,6	1,33		3,6	4,80								
ВСЕГО ПО ШМА2	-	28	135,8	0,16	0,60	0,80	4,3	21,7 3	28,9 7	36,2 1	2 7	1, 46	1, 0	31,72	28,97	42,96	65,27
<b>ЩО</b>	-	-	8,775	0,85	0,95	0,33	-	7,46	2,45	7,85	-	-	-	7,46	2,45	7,85	11,93
Всего на ШНН					0,66	1,15		56,0 5	64,5 6	85,5 0	-	-	-	76,79	64,56	100,3 2	152,4 3
Потери														1,54	6,46	6,64	-
Всего на ВН														78,33	71,01	114,1 9	-

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Таблица Д.1–Сводная ведомость электроснабжения электроприемников

Распределительное устройство		Электроприемники					Аппараты защиты					Линия электроснабжения		
Тип	I <sub>н</sub> , А	№ п/п	Наименование	n	P <sub>н</sub> , кВт	I <sub>н</sub> , А	Тип	I <sub>на</sub> , А	I <sub>нр</sub> , А	I <sub>min.уст.</sub> , А	K <sub>0</sub>	Марка	I <sub>доп</sub> , А	L, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
РП1	13,78	-	РП1/ПР11-3008 50А		34,00	101,29	ВА57Ф35 34	125	125	800	8	АВВГ -1 (4 x 35)	40	4,30
		33-36	Поперечно-строгальные станки	4	8,50	25,32	ВА57Ф35 34	40	40	250	8	АВВГ -1 (4 x 16)	55	53,63
РП2	25,61	-	РП2/ПР11-3008 50А	-	-	-	ВА57Ф35 34	40	40	250	6	АВВГ -1 (4 x 10)	40	4,93
		25, 26, 28, 29	Одношпиндельные автоматы токарные	4	3,5	10,43	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ -1 (4 x 2,5)	19	26,77
		24,27	Алмазно-расточные станки	2	2,2	6,55	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ -1 (4 x 2,5)	19	27,95
		30	Токарные автоматы	1	7,5	22,34	ВА57Ф35 34	31,5	31,5	160	5	АВВГ -1 (4 x 10)	39	9,43
РП3	25,61	-	РП3/ПР11-3008 50А		-	-	ВА57Ф35 34	25	25	250	10	АВВГ -1 (4 x 6)	30	5,50
		58	Кран-балка	1	11,62	17,65	ВА57Ф35 34	25	25	250	10	АВВГ -1 (4 x 6)	30	2,64

Продолжение таблицы Д.1

Тип	И <sub>н</sub> , А	№ п/п	Наименование	n	Р <sub>н</sub> , кВт	И <sub>н</sub> , А	Тип	И <sub>на</sub> , А	И <sub>нр</sub> , А	И <sub>мин.уст.</sub> , А	К <sub>0</sub>	Марка	И <sub>доп</sub> , А	L, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШМА1	76,16	-	ШМА 5 - 250	-	147,52	76,16	ВА57Ф35 34	160	160	1000	4	-	250	83,66
		4, 5	Вентиляторы	2	4,5	10,05	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ -1 (4 x 2,5)	19	3,00
		9, 10, 11, 12	Наждачные станки	6	3	8,94	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ -1 (4 x 2,5)	19	14,40
		25, 26, 28	Заточные станки	6	2,5	7,45	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ -1 (4 x 2,5)	19	14,40
		30	Токарные автоматы	2	7,5	22,34	ВА57Ф35 34	31,5	31,5	160	6	АВВГ -1 (4 x 10)	39	2,80
		18	Горизонтально-фрезерные станки	2	9,5	28,30	ВА57Ф35 34	40	40	250	8	АВВГ -1 (4 x 16)	55	25,00
РП4	35,86	-	РПЗ/ПР11-3016 63А	-	-	-	ВА57Ф35 34	50	50	500	6	АВВГ -1 (4 x 16)	55	10,4
		49, 50	Алмазно-расточные станки	2	2,2	6,55	ВА57Ф35 34	16	16	80	6	АВВГ -1 (4 x 2,5)	19	16,3
		56	Токарные автоматы	1	7,5	22,34	ВА57Ф35 34	25	25	250	6	АВВГ -1 (4 x 6)	30	11
		53, 54	Горизонтально-фрезерные станки	2	9,5	28,30	ВА57Ф35 34	31,5	31,5	320	10	АВВГ -1 (4 x 10)	39	12,7
		51, 52	Одношпиндельные автоматы токарные	2	3,5	10,43	ВА57Ф35 34	16	16	80	6	АВВГ -1 (4 x 2,5)	19	15,8

## Окончание таблицы Д.1

Тип	И <sub>н</sub> , А	№ п/п	Наименование	<i>n</i>	Р <sub>н</sub> , кВт	И <sub>н</sub> , А	Тип	И <sub>на</sub> , А	И <sub>нр</sub> , А	И <sub>мин.уст.</sub> , А	К <sub>0</sub>	Марка	И <sub>доп.</sub> , А	L, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШМА2	35,86	-	ШМА 5 - 250		135,8	65,27	ВА57Ф35 34	100	100	500	6	-	250	44,2
		13-18, 39-41	Токарно-револьверные станки	11	2,80	8,34	ВА57Ф35 34	16	16	80	5	АВВГ -1 (4 х 2,5)	19	46,9
		37, 38, 42,43	Горизонтально-фрезерные станки	4	9,50	28,30	ВА57Ф35 34	31,5	31,5	320	10	АВВГ -1 (4 х 10)	39	16,7
		44-46	Алмазно-расточные станки	3	2,20	6,55	ВА57Ф35 34	16	16	80	6	АВВГ -1 (4 х 2,5)	19	13,7
		19-21	Токарные автоматы	3	7,50	22,34	ВА57Ф35 34	25	25	250	10	АВВГ -1 (4 х 10)	30	25,5
ЩО	23,39	-	Освещение	-	8,775	23,39	ВА57Ф35 34	31,5	31,5	400	10	АВВГ -1 (4 х 16)	55	-
-	-	-	Трансформатор	2	-	90,93	ВА57Ф35 34	250	250	500,00	10	АВВГ -1 (4 х 185)	365	128