

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

**РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА  
ЗАГОТОВОК АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА**

Выпускная квалификационная работа бакалавра  
по направлению подготовки 44.03.04. Профессиональное обучение  
(по отраслям)  
Профиль подготовки «Энергетика»  
специализации «Энергохозяйство предприятий, организаций, учреждений,  
энергосберегающие технологии»

Идентификационный код ВКР: 694

Екатеринбург 2018

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

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Заведующая кафедрой ЭТ  
\_\_\_\_\_ А.О. Прокубовская  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

### **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА ЗАГОТОВОК АВТОМОБИЛЬНОГО ЗАВОДА**

Исполнитель:  
студент группы ДЗЭС-511

А. Я. Нурягдыев

Руководитель:  
Главный инженер проекта  
ООО «ПФ «Тяжпромэлектропривод»

В.П. Чудновский

Нормоконтролер:  
старший преподаватель кафедры ЭТ

Т.В. Лискова

Екатеринбург 2018



## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 45 страницах, содержит 4 рисунка, 7 таблиц, 51 источник литературы, и содержит 3 приложения.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ОСВЕЩЕНИЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, СОВРЕМЕННОЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОР, ЦЕХ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ.

Нуриягдыев А. Я. Разработка проекта электроснабжения цеха заготовок автомобильного завода: выпускная квалификационная работа / А. Я. Нуриягдыев; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. – Екатеринбург, 2018. – 51 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Разработка проекта электроснабжения цеха заготовок автомобильного завода».

2. Цель работы – разработать проект электроснабжения цеха заготовок автомобильного завода.

3. В работе был выполнен анализ основного электрооборудования цеха, выполнен расчет электрических нагрузок цеха, затем было выбрано мощность и тип трансформаторов.

4. В работе были изучены аспекты выбора трансформаторов и оборудования и проектирование сети.

- выполнен анализ мощностей потребителя;

- рассмотрена структура цеха заготовок автомобильного завода, характеристики потребителей электроэнергии, произведен расчет нагрузок.

В системе общего освещения цеха, с целью энергосбережения использованы светодиодные светильники ML130C на основе светодиодной матрицы TRXA-130с– 130Вт. В системе аварийного освещения использованы светильники РН-400 с лампами типа ЛБ.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА.....	9
2 РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА.....	11
2.1 Краткая характеристика цеха и потребителей электрической энергии .....	11
2.2 Эксплуатация электрических и осветительных установок.....	11
2.3 Определение категорий надежности и выбор схем электроснабжения .....	15
2.4 Расчет осветительных установок цеха.....	16
2.5 Расчет электрической силовой части цеха .....	21
2.6 Выбор числа и расчет мощности силовых трансформаторов на подстанции	22
2.7 Выбор точек и расчет токов короткого замыкания .....	24
2.8 Выбор основного оборудования и аппаратов защиты на подстанции .....	28
2.8.1 Выбор шин и изоляторов.....	30
2.8.2 Выбор питающих и распределительных линий.....	31
2.9 Организация безопасности жизнедеятельности .....	33
2.9.1 Приспособления для обслуживания осветительных установок.....	33
2.9.2 Планово-предупредительный осмотр, проверка осветительной установки	35
2.9.3 Расчет заземления .....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	42
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	43

## **ВВЕДЕНИЕ**

Электрификация обеспечивает выполнение задачи широкой комплексной механизации и автоматизации производственных процессов, что позволяет усилить темпы роста производительности общественного труда, улучшить качество продукции и облегчить условия труда. На базе использования электроэнергии ведется техническое перевооружение промышленности, внедрение новых технологических процессов и осуществление коренных преобразований в организации производства и управлении им. Поэтому в современной технологии и оборудовании промышленных предприятий велика роль электрооборудования, т.е. совокупности электрических машин, аппаратов, приборов и устройств, посредством которых производится преобразование электрической энергии в другие виды энергии и обеспечивается автоматизация технологических процессов.

Электромашиностроение – одна из ведущих отраслей машиностроительной промышленности. Процесс изготовления электрической машины складывается из операций, в которых используется разнообразное технологическое оборудование. При этом основная часть современных электрических машин изготавливается методами поточно-массового производства. Специфика электромашиностроения заключается главным образом в наличии таких процессов, как изготовление и укладка обмоток электрических машин, для чего применяется нестандартизированное оборудование, изготавливаемое обычно самими электромашиностроительными заводами.

Система электроснабжения, включает в себя комплекс устройств предназначенных для производства, передачи и распределения электрической энергии.

В процессе проектирования промышленных систем электроснабжения осуществляется выбор наиболее оптимального, рационального и эффективного

варианта решения этого вопроса. Именно, комплексный подход к решению данной задачи, при учете всех необходимых требований и энергетических стандартов позволяют в дальнейшем экономически и технически грамотно работать всему предприятию.

В процессе проектирования и дальнейшей реализации промышленной системы электроснабжения, необходимо учитывать многочисленные факторы: потребляемая мощность и категория надежности, размещение электрических нагрузок и т.п.

Актуальность темы выпускной квалификационной работы заключается в том, что, создание экономичных, надежных промышленных систем электроснабжения, освещения, автоматизированных систем управления электроприводами и технологическими процессами, внедрение новых комплектных преобразовательных устройств и т.д., позволяют технически и экономически грамотно организовать технологический процесс на предприятии.

Объектом исследования данной выпускной квалификационной работы является промышленное предприятие на примере цеха заготовок автомобильного завода, для которого требуется спроектировать систему электроснабжения.

Субъектом исследования выпускной квалификационной работы является система электроснабжения, в качестве комплекса устройств, предназначенных для передачи и распределения электрической энергии к потребителям цеха заготовок автомобильного завода.

Предметом исследования является комплекс электрооборудования и осветительная установка цеха заготовок автомобильного завода, являющиеся основными потребителями электроэнергии.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование надежной и эффективной с экономической точки зрения, системы электроснабжения цеха заготовок автомобильного завода.

В ходе работы над выпускной квалификационной работой необходимо выполнить следующие задачи:

- провести анализ хозяйственной деятельности предприятия, на основе которого сделать обоснование выбранной темы работы;
- провести расчет системы электроснабжения цеха;
- произвести расчет токов короткого замыкания;
- выбрать оборудование и аппараты защиты на подстанции;
- произвести расчет заземляющего устройства;
- произвести технико-экономический расчет проекта;
- рассмотреть вопросы техники безопасности при обслуживании электроустановок.



## 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДСТВА

В современном производстве одним из основных направлений развития технологии механической обработки является использование черновых заготовок с экономичными конструктивными формами, обеспечивающими возможность применения наиболее оптимальных способов их обработки, т. е. обработки с наибольшей производительностью и наименьшими отходами. Это направление требует непрерывного повышения точности заготовок и приближения их конструктивных форм и размеров к готовым деталям, что позволяет соответственно сократить объем обработки резанием, ограничивая ее в ряде случаев чистовыми, отделочными операциями.

Снижение трудоемкости механической обработки заготовок, достигаемое рациональным выбором способа их изготовления, обеспечивает рост производства на тех же производственных площадях без существенного увеличения оборудования и технологической оснастки. Наряду с этим рациональный выбор способов изготовления заготовок применительно к различным производственным условиям определяет степень механизации и автоматизации производства.

Машиностроение является крупнейшим потребителем металла. Так, в прошедшей пятилетке в машиностроении было использовано 40% от общего выпуска металлопроката и свыше 77% от общего выпуска чугуна, стали и цветных металлов, при этом около 53% массы металла отошло в отходы, в том числе и безвозвратные. В результате многих производственных процессов, осуществляемых в цехе, образуются пыль и вредные газы, поэтому в помещении цеха установлены вентиляционные установки.

В случае аварийной остановки определенных производственных цехов, происходит остановка всего производственного цикла цеха. Следовательно, любое нарушение электроснабжения, влияет на объемы выпускаемой

продукции. Поэтому от надежности промышленной энергосистемы зависит функционирование производства в целом.

В соответствии с ПУЭ, электроприемники в отношении обеспечения надежности электроснабжения подразделяются на три категории.

Электроприемники первой категории. Перерыв электроснабжения электроприемников, относящихся к данной категории, может обусловить возникновения опасных производственных факторов, результатом которых может стать опасность для жизни производственного персонала, нанесение существенного ущерба народному хозяйству, выход из строя дорогостоящего оборудования, массовый производственный брак, сбой сложного технологического процесса.

Электроприемники второй категории. Перерыв электроснабжения электроприемников, относящихся к данной категории, может стать причиной массового недовыпуска продукции, простоев рабочих, оборудования и промышленного транспорта.

Электроприемники третьей категории. К данной категории относятся электроприемники, неподходящие под определение, описанных выше категорий.

Для выбора оптимального варианта системы внешнего и внутреннего электроснабжения цеха заготовок автомобильного завода необходимо определить требуемую степень надежности (категорию надежности) электроснабжения электроприемников (ЭП) и привести их технические характеристики.

## 2 РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЦЕХА

### 2.1 Краткая характеристика цеха и потребителей электрической энергии

Рассматриваемый цех предназначен для изготовления деталей строительной, дорожной и автотранспортной техники и является составной частью механического завода.

На нем предусмотрены: станочное отделение, где размещен станочный парк; ремонтная мастерская, служебные, вспомогательные и бытовые помещения. Транспортные операции выполняются с помощью кран-балки и наземных электротележек.

Цех заготовок автомобильного завода получает электроснабжение (ЭСН) от собственной трансформаторной подстанции (ТП) 10/0,4 кВ, расположенной на территории механического завода. Распределительные устройства (РУ) потребителей ЭЭ размещены в станочном отделении. От этой же ТП получают ЭСН еще два цеха с дополнительной нагрузкой каждый ( $S = 250$  кВ-А,  $\cos \varphi = 0,8$ ;  $K_n = 0,5$ ).

Все электроприемники относятся к 2 категории надежности ЭСН.

Количество рабочих смен - 3.

Грунт в районе здания - глина с температурой  $+20$  °С. Каркас здания сооружен из блоков-секций длиной 10 и 8 м каждый.

Размеры здания  $A \times B \times H = 50 \times 35 \times 8$  м.

Все помещения, кроме станочного отделения, двухэтажные высотой 3,5 м.

Перечень электрооборудования цеха представлен в таблице 1.

Таблица 1- Перечень электрооборудования цеха

№ на плане	Наименование электрооборудований	Рэп, кВт	Примечание
1...3	Кузнечно-штамповочные автоматы	13,5	
4...8	Прессы электромеханические	27,1	
9...12	Прессы фрикционные	23,2	
13	Кран-балка	8,5	ПВ = 35 %
14...18	Молоты ковочные	11,3	
19,20	Вентиляторы	5,5	
21...26	Прессы кривошипные	16	ПВ - 60 %
27, 28	Насосы масляные	4,5	
29, 30	Наждачные станки	1,5	1-фазные
31, 32	Шлифовальные станки	8,5	
33, 34	Сверлильные станки	5	

Расположение основного ЭО представлено на плане (рисунок 1).

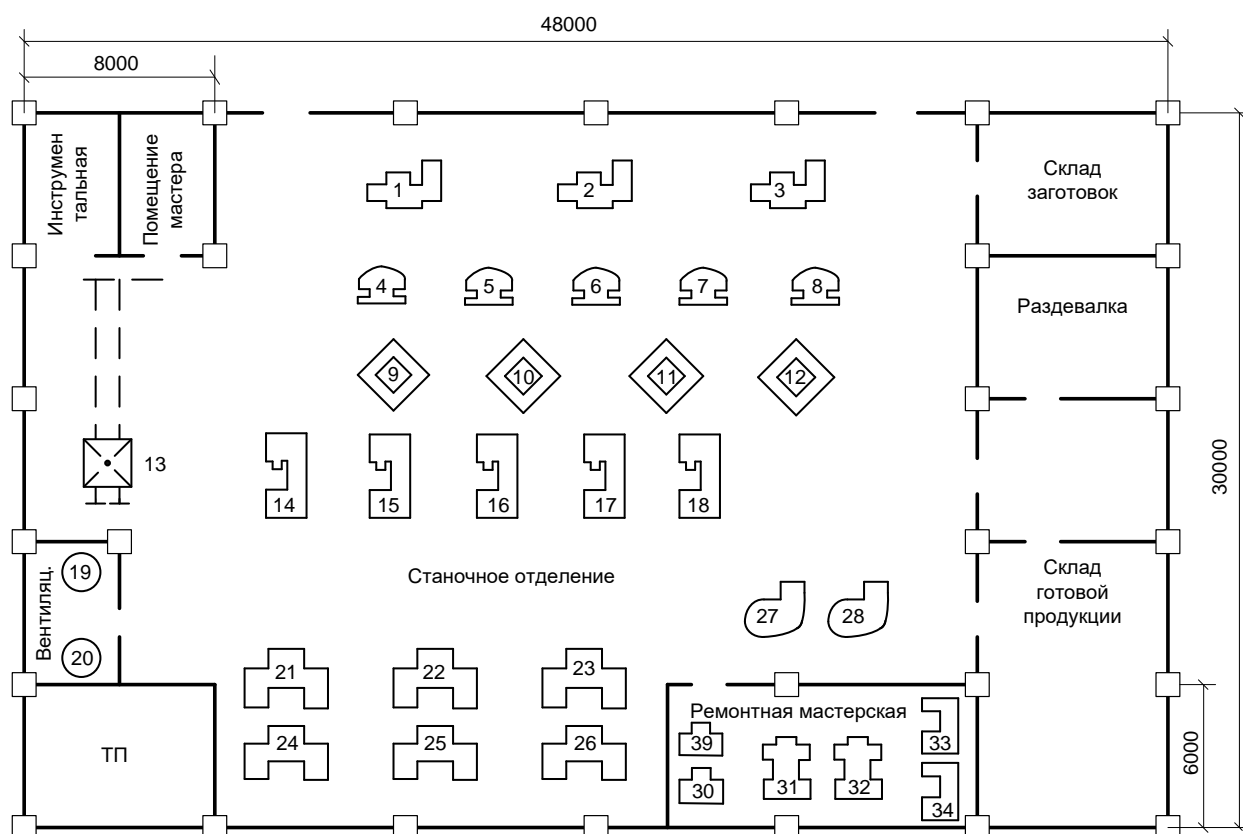


Рисунок 1 – План расположения электрооборудования цеха заготовок автомобильного завода

Значение мощности электропотребления ( $P_{эп}$ , кВт) указано для одного

электроприемника.

## **2.2 Эксплуатация электрических и осветительных установок**

Как показывает практика, ни одна осветительная установка не может надежно и эффективно функционировать без регулярного и надлежащего ухода. Снижение интенсивности светового потока и постепенное уменьшение уровня освещенности обусловлено целым рядом объективных причин, а именно:

- старение осветительных ламп;
- накопление пыли и грязи на отражающих и рассеивающих поверхностях светильников и лампах;
- постепенное ухудшение отражающих свойств поверхностей помещений и оборудования .

Старение осветительных ламп является неизбежным процессом. А за уровнем загрязненности светильников, поверхностей помещений и оборудования можно обеспечить надлежащий контроль, и при хорошо организованной эксплуатации, последствия загрязнения могут быть своевременно устранены.

Организация эксплуатации осветительных установок, при которой обеспечивается наиболее эффективная и надежная работа всей системы освещения, должна предусматривать следующее:

- приемку осветительных установок с проверкой их работы, после окончания монтажных работ и проведения капитальных ремонтов;
- своевременную замену устаревших и перегоревших ламп и чистку светильников;
- проведение планово-предупредительных осмотров и ремонтов светильников и электрической сети .

Сохранение условий освещения производственных помещений, создаваемых системой освещения в процессе эксплуатации, в значительной

степени зависит от ухода за ней, от своевременной замены источников света и содержания осветительных приборов в чистоте.

Самым простым и наиболее часто используемым способом замены источников света, является индивидуальный метод замены ламп, предусматривающий замену лампы после ее перегорания. Одним из существенных недостатков данного подхода является длительное использование ламп, потерявших свою эффективность, и как следствие, снижение общей освещенности, создаваемой осветительной установкой .

Наиболее важной, необходимой и в тоже время, трудоемкой работой, выполняемой в процессе эксплуатации осветительных установок, является периодическая очистка колб ламп, а также отражающих и рассеивающих поверхностей светильников от накопленной пыли и грязи. При этом, частота проведения таких работ зависит от целого ряда факторов, и в первую очередь от среды освещаемого помещения. Так, светильники, эксплуатируемые в условиях цехов металлургического производства нуждаются в более частом обслуживании, чем осветительная система учреждения здравоохранения. Таким же образом, элементы осветительной установки шлифовальной мастерской должны подвергаться более частой чистки, чем светильники, эксплуатируемые в условиях актового зала, расположенного в том же здании .

Количество чисток, осуществляемых в соответствии с главой II-А, СНиП «Искусственное освещение. Нормы проектирования» , по количеству пыли, дыма и копоти, содержащихся в воздушной среде помещений и наружных пространств, приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Количество чисток светильников

Освещаемые объекты	Кол - во чисток не менее
1	2
Производственные помещения, в воздушной среде которых содержатся пыль, дым и копоть в количествах :	
10 мг/м <sup>3</sup> и более	2 раза в месяц
От 5 до 10 мг/м <sup>3</sup>	1 раз в месяц
Не более 5 мг/м <sup>3</sup>	1 раз в 3 месяца
Вспомогательные помещения с нормальной воздушной средой и помещения общественных и жилых зданий	1 раз в 3 месяца

Площадки промышленных предприятий, в воздушной среде которых содержатся пыль, дым и копоть в количествах :	
Более 5 мг/м <sup>3</sup>	1 раз в 3 месяца
Окончание таблицы 14	
1	2
До 0,5 мг/м <sup>3</sup>	1 раз в 6 месяцев
Улицы, площади, дороги, территории общественных зданий жилых районов и выставок, парки, бульвары	1 раз в 6 месяцев

### 2.3 Определение категорий надежности и выбор схем электроснабжения

По надежности электроснабжения, цех заготовок автомобильного завода (далее ЦПС) является потребителем II категории. Данная категория предусматривает использование электроприемников, останков которых, в случае отключения электроэнергии, обуславливает большой недовыпуск продукции, массовые простои рабочих, промышленного оборудования и транспорта, и нарушает нормальную деятельность значительного количества жителей городов и сельских поселений .

В данном проекте, электроприемниками II категории являются кузнечно-штамповочные автоматы, прессы электромеханического, кривошипного и фрикционного типа, кран-балка, молоты ковочные, а также масляные насосы. Суммарная установленная мощность всех перечисленных потребителей составляет  $P_y = 592,3$  кВт, что соответствует 93 % от общей установленной мощности. Доля мощности, потребляемой электроприемниками III категории, соответственно, составляют 7%.

Систему электроснабжения ЦПС планируется запитать от РУ-10 кВ главной понижающей подстанции (ГПП) завода. ГПП расположена на расстоянии 0,42 км. Учитывая производственные условия и то что, основная доля потребителей относится ко II категории, выберем для питания ЦПС двухкабельную линию. Линия будет проложена по эстакаде, что позволит

обеспечить доступность и удобство для осмотра, эксплуатации и ремонта кабельной линии.

В соответствии с числом кабельных линий выбираем силовые трансформаторы ТП цеха в количестве двух штук. Тем самым обеспечим раздельный режим работы линий и трансформаторов, когда при выходе из строя любого элемента системы электроснабжения, исправный обеспечивает электроснабжение хотя бы потребителей II категории в пределах допустимых перегрузок .

Силовые трансформаторы будут подключаться к кабельным линиям через разъединители. Такое подключение обеспечивает отключение трансформатора в режиме холостого хода и надежный видимый разрыв, что необходимо при производстве работ по ремонту и обслуживанию системы электроснабжения. Устройство резервной перемычки 12 кВ, в данном случае, излишне .

В качестве токопроводящего оборудования РУ-0,4 кВ используем сборные шины. Шины должны быть секционированы по количеству трансформаторов. Каждая секция шин подключается к отдельному трансформатору, а также к соответствующей группе электроприемников .

Межсекционный ввод, и отходящие линии в РУ-0,4 кВ оборудуем автоматическими выключателями, с целью обеспечения возможности коммутации цепей в любых нормальных режимах и их автоматическое отключение в случае аварии.

В качестве внутренних распределительных устройств 0,4 кВ используем распределительные пункты, щитки освещения, шинопровод.

Электроприемники, к системе электроснабжения будет подключаться с помощью кабелей, проложенных в металлических коробах, трубах .

## **2.4 Расчет осветительных установок цеха**

В системе общего освещения цеха подвижного состава, с целью энергосбережения будем использовать светодиодные светильники .



Размеры помещения станочного отделения:  $A = 33$  м;  $B = 31$  м;  $H = 8$  м.

Определим рабочую высоту:

$$h = H - h_c - h_p = 8 - 0,8 - 0,9 = 6,3 \text{ м}, \quad (1)$$

где  $H$  – высота помещения, м;

$h_c = 0,8$  м – высота свеса светильника, м;

$h_p = 0,9$  м – высота рабочей поверхности над полом, м.

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{AB}{h \cdot (A+B)} = \frac{33 \cdot 31}{6,3 \cdot (33+31)} = 2,53 \approx 3. \quad (2)$$

Рассчитаем коэффициент использования светового потока:  $k_{ii} = 60\%$ , в зависимости от индекса помещения, типа светильника и отражающих свойств потолка  $p_{ii} = 51\%$ , стен  $p_c = 29\%$ , рабочей поверхности  $p_{рп} = 31\%$  [33].

Площадь помещения станочного отделения определим как разность общей площади здания и суммарной площади всех остальных помещений:

$$S = 555 \text{ м}^2.$$

В соответствии с разрядом зрительных работ принимаем минимальную освещенность:  $E_{\min} = 120$  лк.

Принимаем количество рядов 3, и количество светильников в ряду 4.

Световой поток одной лампы рассчитаем по формуле:

$$F_{л} = \frac{E_{\min} \cdot k_3 \cdot S_z}{N \cdot k_{ii}} = \frac{120 \cdot 1,8 \cdot 555 \cdot 1,7}{11} = 18526 \text{ лм}, \quad (3)$$

где  $k_3 = 1,8$  – коэффициент запаса;

$z$  – коэффициент, зависящий от типа источника света;

для ламп ДРЛ  $z = 1,15$ ;

$N$  – количество светильников, шт.

Для освещения данного помещения будем использовать светильники имеющие тип кривой силы света  $\Gamma-1$ , поэтому отношение расстояний между соседними светильниками к расчетной высоте их установки принимаю  $L/H_p = 1$  м. Исходя из этого, предварительно рассчитываем расстояния между соседними светильниками и от крайних светильников до стен.

$$L = 1 \cdot 5,5 = 5,5 \text{ м}.$$

$$l=1\cdot5,5=5,5 \text{ м.}$$

Далее определяем число рядов светильников и число светильников в каждом ряду:

$$R = \frac{B-2\cdot l}{L} + 1 = \frac{30-2\cdot 1,98}{4,95} + 1 = 6,3 = 6 \text{ рядов.} \quad (4)$$

$$N_R = \frac{A-2\cdot l}{L} + 1 = \frac{32-2\cdot 1,98}{4,95} + 1 = 6,6 = 7 \text{ шт.} \quad (5)$$

где  $A$  - длина помещения, м;

$B$  - ширина помещения, м;

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

Определяем действительные расстояния между рядами светильников и лампами в ряду:

$$L_B = \frac{B-2\cdot l}{R-1} = \frac{30-2\cdot 1,98}{6-1} = 5,2 \text{ м.} \quad (6)$$

$$L_A = \frac{A-2\cdot l}{N_R-1} = \frac{32-2\cdot 1,98}{7-1} = 4,7 \text{ м.} \quad (7)$$

В качестве источников света будем использовать светильники ML130C на основе светодиодной матрицы TRXA-130с– 120 Вт.

Номинальный световой поток выбранного источника света  $\Phi_{ном}=12000$  лм .

Произведем расчет мощности рабочего освещения:

$$P_p = k_c \cdot k_{пра} \cdot \sum P_{ном}, \text{ кВт,} \quad (8)$$

где  $k_c$  – коэффициент спроса;

$k_{пра}$  – коэффициент пускорегулирующей аппаратуры (ПРА);

$\sum P_{ном}$  – сумма мощностей ламп рабочего освещения,

$$P_p = 0,95 \cdot 1,1 \cdot (120 \cdot 42) = 5,3 \text{ кВт.}$$

Определяем расчетную реактивную мощность осветительной нагрузки  $Q_{p.o}$ , квар, по формуле:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \text{tg}\varphi_o, \quad (9)$$

где  $\text{tg}\varphi$  - коэффициент реактивной мощности освещения, при  $\cos\varphi=0,57$ .

$$Q_{p.o} = 5,3 \cdot 1,44 = 7,6 \text{ квар.}$$

Полную расчетную осветительную нагрузку  $S_{p.o}$ , кВА, определяем по формуле:

$$S_{p.o} = \sqrt{P_{p.o}^2 + Q_{p.o}^2} = \sqrt{5,3^2 + 7,6^2} = 9,3 \text{ кВт}, \quad (10)$$

Расчетный ток осветительной сети  $I_{p.o}$ , А, определяем по формуле:

$$I_p = \frac{S_{p.o.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{9,3}{1,73 \cdot 0,38} = 14,15 \text{ А}. \quad (11)$$

По результатам расчета выбираем провод с медными жилами, типа ВВГ-П 3x1,5, рассчитанный на ток  $I=16$  А.

В системе аварийного освещения будем использовать светильники РН-200 с лампами типа ЛБ. Мощность аварийного освещения составляет процентную долю от основного:

20% - для продолжения работы;

5% - для эвакуации.

$$P_{ав} = 13200 \cdot 0,05 = 660 \text{ Вт}.$$

Количество светильников 6 штук.

В качестве проводки аварийного освещения используем провод АПВ, с сечением жилы  $2,7 \text{ мм}^2$ .

Расчет помещений непромышленного характера, таких как склад заготовок, раздевалка, склад готовой продукции и т.д., производится по методу удельной мощности светового потока. Проведем светотехнический расчет помещения склада готовой продукции.

Размеры помещения:  $A = 9 \text{ м}$ ;  $B = 11 \text{ м}$ ;  $H = 8 \text{ м}$ .

Площадь помещения:  $S = 9 \cdot 11 = 99 \text{ м}^2$ .

При  $S = 99 \text{ м}^2$ , и число светильников 11 штук определим мощность одной лампы:

$$P = \frac{S \cdot W}{N} = \frac{99 \cdot 8}{11} = 72 \text{ Вт}. \quad (12)$$

Выбираем лампу ЛБ 4 x 40 Вт.

Суммарная мощность составит:  $P_c = 720 \text{ Вт}$ .

Определяем расчетную реактивную мощность нагрузки аварийного освещения:

$$Q_{p.a.o} = 0,72 \cdot 1,44 = 1,04 \text{ квар.}$$

Полная расчетная нагрузка аварийного освещения составит:

$$S_{p.a.o} = \sqrt{0,72^2 + 1,04^2} = 1,3 \text{ кВт,}$$

Расчетный ток сети аварийного освещения составит:

$$I_p = \frac{1,3}{1,73 \cdot 0,38} = 1,98 \text{ А.}$$

Для сети аварийного освещения выбираем аналогичный провод.

Схема расположения светильников в помещении цеха представлен на рисунке 2.

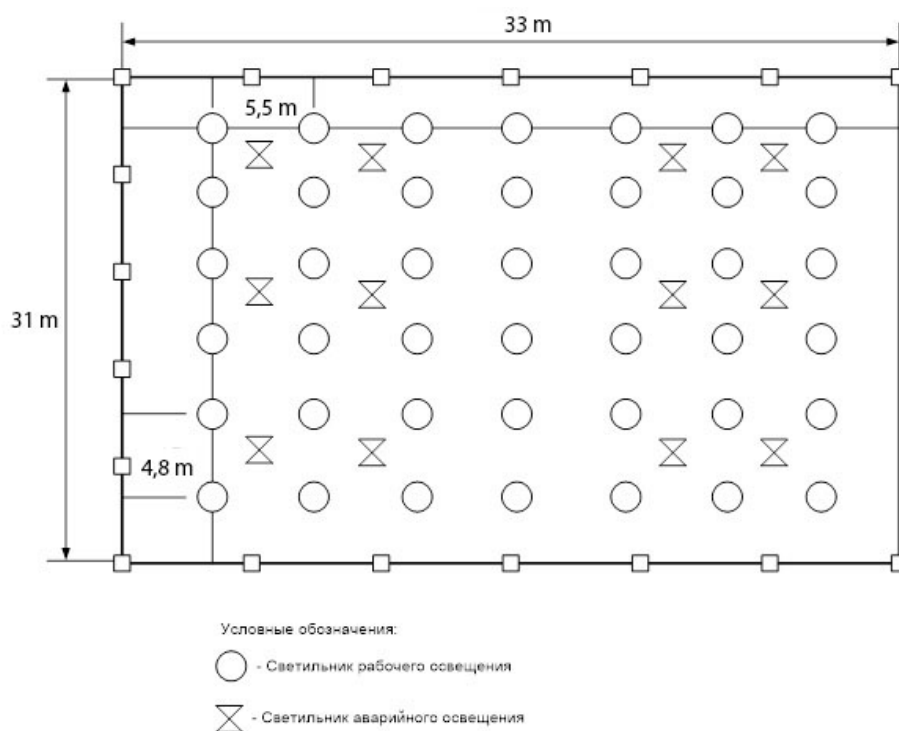


Рисунок 2 – Расположение светильников

В системе общего освещения цеха подвижного состава, с целью энергосбережения использованы светодиодные светильники ML130С. В системе аварийного освещения использованы светильники РН-200 с лампами типа ЛБ.

## 2.5 Расчет электрической силовой части цеха

В расчете силовых нагрузок используем метод коэффициента максимума. Данный метод основан на упорядоченных диаграммах, которые дают возможность определить расчетный максимум нагрузки исходя из номинальной мощности и характеристик электроприемников .

По заданной схеме электроснабжения осуществим группировку электроприемников по отходящим линиям. Каждую группу электроприемников разбиваем на подгруппы однородные по режиму работы с одинаковыми значениями коэффициентов использования и коэффициентов мощности. Номинальную мощность электроприемников с повторно-кратковременным режимом работы, приводим к длительному режиму.

Номинальная мощность кран-балки составит:

$$P_{Н\text{ дл}} = P_{п} \cdot \sqrt{ПВ} = 9,5 \cdot \sqrt{0,4} = 5,985 \text{ кВт.} \quad (13)$$

Аналогичным образом определим значение для прессов кривошипного типа:

$$P_{Н\text{ дл}} = 15 \cdot \sqrt{0,6} = 11,55 \text{ кВт.} \quad (14)$$

Все данные, полученные в ходе расчетов, сводим в таблицу 2.

Из расчетов получен общий коэффициент мощности, который составляет  $K_p = 0,77$ . Полученная величина является невысоким значением, вызывающим непроизводительную нагрузку реактивной мощности электрических сетей, что влечет большие потери активной мощности. С целью увеличения значения  $K_p$  до оптимального значения  $K_p = 0,95$  следует компенсировать реактивную мощность с помощью компенсирующих устройств. Компенсации подлежит следующая величина реактивной мощности:

$$Q_k = P_m \cdot (\operatorname{tg}\varphi_p - \operatorname{tg}\varphi_{\text{опт}}) = 347,23 \times (0,825 - 0,329) = 172,23 \text{ квар,} \quad (15)$$

где  $P_m$ - расчетная максимальная активная мощность, кВт.

$\operatorname{tg}\varphi_p$   $\operatorname{tg}\varphi_{\text{опт}}$  – тангенсы углов расчетного и оптимального коэффициента мощности.

В качестве компенсирующих устройств будем использовать две конденсаторные установки ККУ-0,38-1, установленные в РУ-0,4 кВ ТП и подключенные по одной на каждую секцию шин. Каждая установка имеет мощность 85 квар.

Итоговые расчетные значения нагрузок составят:

$$P_M = 347 \text{ кВт.}$$

$$Q_M = (282,7 - 85 \cdot 2) = 32,76 \text{ квар.}$$

$$S_M = 349,62 \text{ кВА.}$$

$$I_M = 537,88 \text{ А.}$$

$$\cos\varphi = 0,95.$$

$$\operatorname{tg}\varphi = 0,41.$$

## **2.6 Выбор числа и расчет мощности силовых трансформаторов на подстанции**

Силовые понижающие трансформаторы, служат для понижения питающего напряжения 10кВ до рабочего напряжения потребителей - 0,4 кВ. Являясь основными элементами электроснабжения, силовые трансформаторы осуществляют также распределения электроэнергии по КПУ с низкой стороны

Исходя из требований надежности, установим 2 силовых понижающих трансформатора с первичным напряжением  $U_1 = 10$  кВ и вторичным  $U_2 = 0,4$  кВ.

Расчет мощности трансформаторов будем производить с соблюдением следующего условия. Трансформаторы в нормальном режиме должны обеспечивать электроэнергией все электроприемники, при оптимальной загрузке с наименьшими потерями. В случае перехода в аварийный режим (выход из строя одного из трансформаторов), исправный трансформатор должен обеспечивать работу электроприемников первой категории в режиме допустимой перегрузки .

Расчет мощности трансформаторов будем производить исходя из следующих данных для:

- полная расчетная мощность нагрузок 0,4 кВ  $S_p = 350$  кВА;
- доля электроприемников второй категории надежности составляет 93%, третьей категории - 7%;
- полная расчетная мощность электроприемников второй категории составляет:

$$S_{II \text{ кат}} = 0,93 \cdot S_p = 0,93 \cdot 350 = 325,5 \text{ кВА} \quad (16)$$

где  $K_{зт}$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме,  $K_{зт} = (0,5 - 0,77)$ ;

-  $K_{ар}$  – коэффициент перегрузки трансформатора в аварийном режиме, не должен быть выше значения 1,4. Допустимое время работы трансформатора в режиме максимальной перегрузке составляет не более 6-ти часов в сутки, в течение не более чем 5-ти суток подряд.

Произведем предварительный расчет и определим ориентировочную мощность трансформаторов, в соответствии указанными выше условиями:

$$S_{\sim T} = \frac{S_{зт}}{2 \cdot K_{зт}} = \frac{350}{2 \cdot 0,65} = 269 \text{ кВА}. \quad (17)$$

Чтобы определить оптимальную мощность трансформатора, рассмотрим стандартные значения мощности трансформаторов, меньшие и ориентировочные.

1. Два трансформатора, каждый мощностью  $S_T = 620$  кВА.

$$K_{зт} = \frac{S_p}{2 \cdot S_T} = \frac{350}{2 \cdot 620} = 0,28. \quad (18)$$

В результате получили достаточно низкий коэффициент загрузки трансформатора  $K_{зт}$ . Это говорит о том, что в нормальном режиме, даже в часы максимальных нагрузок, трансформаторы будут работать с большой недогрузкой. Это повлечет за собой большие потери электроэнергии, что в свою очередь, вызовет необоснованно завышенные капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Делаем вывод о том, 1 вариант неэкономичен и в дальнейшем не рассматривается.

2. Два трансформатора, каждый мощностью  $S_T = 150$  кВА.

$$K_{зт} = \frac{S_p}{2 \cdot S_T} = \frac{350}{2 \cdot 150} = 1,16. \quad (19)$$

Даже в нормальном режиме трансформатор будет работать с перегрузкой, что неприемлемо для систем электроснабжения, поэтому дальнейшую проверку производить не будем.

3. Два трансформатора, каждый мощностью  $S_T = 320$  кВА.

$$K_{зт} = \frac{S_p}{2 \cdot S_T} = \frac{350}{2 \cdot 320} = 0,54. \quad (20)$$

$$1,4S_T > S_{кат} = 1,4 \cdot 320 > 321,08 = 448 > 321,08 \text{ кВА.}$$

Справочные данные трансформатора представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные силового трансформатора ТМ – 320/6

Марка	Потери, кВт		Ток холостого хода, $I_x$ , %	Напряжение короткого замыкания, $U_K$ , %
	Холостого хода, $\Delta P_x$	Короткого замыкания, $\Delta P_K$		
ТМ – 320/6	1.60	6.08	7.0	5,3

В данном случае, мощность трансформатора соответствует условиям как нормальной эксплуатации, так и аварийного режима, следовательно, в данном дипломном проекте будем использовать трансформаторы марки ТМ –320/6, мощностью  $S_T = 320$  кВА .

## 2.7 Выбор точек и расчет токов короткого замыкания

С целью правильного выбора оборудования и проводящих частей, устойчивых к воздействию токов КЗ, а так же для определения уставок релейной защиты и защитных аппаратов необходимо произвести расчет токов короткого замыкания (КЗ) . Для этого, мощность короткого замыкания на шинах 6 кВ питающей ТП примем равной значению отключающей мощности выключателя на питающей линии:

$$S_K = S_{откл} = 150 \text{ МВА.}$$

Расчет произведем в именованных единицах (Ом, мОм), на основании параметров элементов электрической цепи. Определим активные и



индуктивные сопротивления цепи КЗ, приведенные к базисной ступени напряжения, в условиях нормального режима работы. Для этого составим расчетную схему. В расчетной схеме будем учитывать источник питания и все элементы схемы, оказывающие влияние на величину токов КЗ.

В соответствии с расчетной схемой составим схему замещения, где укажем сопротивления всех элементов и наметим точки для расчета токов КЗ.

Расчетная и эквивалентная схемы, представлены на рисунках 2 и 3 соответственно.

Коммутационные аппараты и сечения проводников предварительно выберем по номинальному току.

Определим значения сопротивления элементов цепи КЗ для ступени напряжения  $U_6 = 400$  В:

$$X_c = \frac{U_6^2}{S_k} = \frac{160000}{150000} = 1,06 \text{ Ом.} \quad (21)$$

Определим значение сопротивления кабельной линии Л1:

$$R_{Л1} = R_0 \cdot L \cdot \left(\frac{U_6}{U_{cp}}\right)^2 = 2,26 \cdot 0,41 \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 = 1,56 \text{ Ом.} \quad (22)$$

$$X_{Л1} = X_0 \cdot L \cdot \left(\frac{U_6}{U_{cp}}\right)^2 = 0,113 \cdot 0,43 \cdot \left(\frac{0,4}{6}\right)^2 = 0,07 \text{ Ом.} \quad (23)$$

где  $R_0$ ,  $X_0$  – активное и индуктивное удельные сопротивления линии Л1, Ом/км.

Расчетная схема приведена на рисунке 3, схема замещения – на рисунке 4.

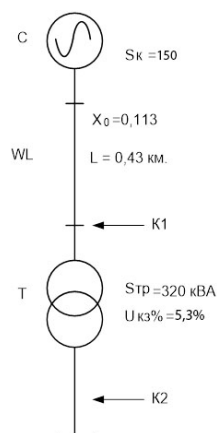


Рисунок 3 – Расчетная схема

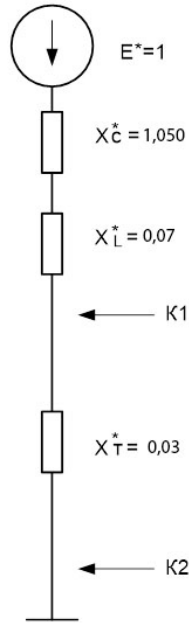


Рисунок 4 – Схема замещения

Далее определим результирующее сопротивление цепи КЗ в точке К1:

$$R_{K1} = R_{л1} = 1,56 \text{ Ом.}$$

$$X_{K1} = X_c + X_{л1} = 1,03 + 0,097 = 1,127 \text{ Ом} \quad (24)$$

$$Z_{K1} = \sqrt{R_{K1}^2 + X_{K1}^2} = \sqrt{1,56^2 + 1,127^2} = 1,92 \text{ Ом.} \quad (25)$$

Определим значения сопротивлений трансформатора ТМ - 320/6:

$$R_{*T} = \frac{\Delta P_K}{S_T} = \frac{3,2}{320} = 0,0101 \text{ Ом.} \quad (26)$$

$$X_{*T} = \sqrt{U_K^2 - R_{*T}^2} = \sqrt{0,053^2 - 0,0101^2} = 0,05 \text{ Ом.} \quad (27)$$

$$R_T = R_{*T} \cdot \left(\frac{U_6^2}{S_T}\right) = 0,0101 \cdot \left(\frac{160000}{320 \cdot 6^3}\right) = 5,03 \text{ Ом.} \quad (28)$$

$$X_T = X_{*T} \cdot \left(\frac{U_6^2}{S_T}\right) = 0,04 \cdot \left(\frac{160000}{320 \cdot 6^3}\right) = 15 \text{ Ом.} \quad (29)$$

В данных выражениях,  $R_{*T}, X_{*T}$  – относительные, соответственно, активное и индуктивное сопротивления трансформатора.

$U_6$  – напряжение КЗ,  $\Delta P_K$  – мощность потерь КЗ.

Результирующее сопротивление цепи КЗ в точке К2 составит:

$$R_{K2} = R_{K1} + R_T + R_{п1} + R_{в1} + R_{пш} + R_{ш} \text{ Ом,} \quad (30)$$

где  $R_{\text{ш}} = 15 \text{ МОм}$  - переходное сопротивление контактных соединений алюминиевых шин при  $D_{\text{ср}} = 300 \text{ мм}$ ,  $r_0 = 0,142 \text{ мОм/м}$  и  $x_0 = 0,2 \text{ мОм/м}$ .  
 Полные сопротивления шин при длине 5м:  $R_{\text{ш}} = 0,71 \text{ мОм}$ ,  $X_{\text{ш}} = 1 \text{ мОм}$ .  
 Тогда:

$$R_{\text{к2}} = 1,57 + 5,03 + 0,15 + 0,1 + 15 + 0,71 = 22,56 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{к2}} = X_{\text{к1}} + X_{\text{т}} + X_{\text{ш}} + X_{\text{в1}} = 1,126 + 15 + 1 + 0,1 = 18,5 \text{ мОм},$$

$$Z_{\text{к2}} = \sqrt{R_{\text{к2}}^2 + X_{\text{к2}}^2} = \sqrt{22,56^2 + 18,5^2} = 29,17 \text{ мОм}. \quad (31)$$

Рассчитаем действующее и ударное значение тока КЗ,  $I_{\text{к}}, i_{\text{у}}$ , а так же определим мощность КЗ,  $S_{\text{к}}$  в намеченных точках.

Для точки К1:

$$I'_{\text{к1}} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к1}}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 1,92} = 120,2 \text{ кА}, \quad (32)$$

$$I_{\text{к1}} = I'_{\text{к1}} \cdot \frac{U_6}{U_{\text{ср.н}}} = 120,2 \cdot \frac{0,4}{6} = 5,1 \text{ кА}, \quad (33)$$

$$i_{\text{у1}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у1}} \cdot I_{\text{к1}} = 1,41 \cdot 1,38 \cdot 5,1 = 9,92 \text{ кА}. \quad (34)$$

$$S_{\text{к1}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.н}} \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 5,1 = 53,00 \text{ МВА}. \quad (35)$$

Аналогично, для точки К2:

$$I_{\text{к2}} = \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{к1}}} = \frac{400}{1,73 \cdot 30} = 6,9 \text{ кА},$$

$$i_{\text{у2}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у2}} \cdot I_{\text{к2}} = 1,41 \cdot 1 \cdot 6,9 = 9,7 \text{ кА}.$$

$$S_{\text{к2}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ср.н}} \cdot I_{\text{к2}} = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 6,9 = 5,01 \text{ МВА}.$$

где  $I'_{\text{к1}}$  – значение тока КЗ в точке К1, при напряжении 0,4 кВ;

$K_{\text{у}}$  – коэффициент, учитывающий соотношение между активным и индуктивным сопротивлением цепи КЗ, и определяемый местом КЗ (ударный коэффициент);

$U_{\text{ср.н}}$  – среднее номинальное напряжение, при котором производится расчет тока КЗ.

Результаты расчетов токов КЗ сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчетные токи короткого замыкания

Точка КЗ	Результирующее сопротивление $Z_K$ , Ом	Ток КЗ $I_K$ , кА	Ударное значение тока КЗ $i_y$ , кА	Мощность КЗ $S_K$ , МВА
К1	$1,92 \cdot 10^{-3}$	5,1	9,92	53,00
К2	$30 \cdot 10^{-3}$	6,9	9,7	5,01

Расчет токов короткого замыкания был произведен в соответствии с расчетной схемой и схемой замещения, где указаны сопротивления всех элементов и намечены точки для расчета токов КЗ.

## **2.8 Выбор основного оборудования и аппаратов защиты на подстанции**

Выбор необходимого, предназначенного для установки на ТП оборудования, производим в соответствии со схемой электроснабжения. При этом, учитываем условие, что расчетные значения элемента электрической цепи в месте установки выбираемого аппарата, не должны быть выше паспортных, номинальных значений данного аппарата. Далее производим проверку на устойчивость к воздействию токов КЗ. Оборудование в РУ-0,4кВ ТП комплектуется на панелях распределительных щитов типа ЩО70-3УЗ .

Перечень выбранного оборудования и его расчетные и номинальные величины приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Оборудование системы электроснабжения

Наименование оборудования	Паспортные данные	Расчетные данные
РУ - 6кВ		
Разъединитель внутренней установки	U <sub>н</sub> =6кВ I <sub>н</sub> =400А I <sub>терм</sub> =16кА I <sub>дин</sub> =41кА	U <sub>н</sub> =6кВ I <sub>р</sub> =24А I <sub>к</sub> =4,79кА i <sub>у</sub> =9,35кА
Ограничитель перенапряжения ОПН-КР/TEL-6/6,9	U <sub>н</sub> =6кВ U <sub>кл</sub> =6,9кВ I <sub>разр</sub> =10кА I <sub>проп</sub> =250А	
0,4кВ		
Автоматические выключатели		
Вводной и межсекционный А3750Б	U <sub>н</sub> =380В I <sub>н</sub> =800А I <sub>к</sub> =6300А i <sub>у</sub> =100кА	U <sub>н</sub> =380В I <sub>р</sub> =231А I <sub>к</sub> =4,79кА i <sub>у</sub> =9,35кА
Отходящие		
РП1, РП2, РП3 ( А3710Б)	U <sub>н</sub> =380В I <sub>н</sub> =50А I <sub>к</sub> =500А i <sub>у</sub> =36кА	U <sub>н</sub> =380В I <sub>р</sub> =20А I <sub>к</sub> =7,28кА i <sub>у</sub> =10,3кА
ЩО-1, ЩО-2, ЩАО, ЩОО ( АЕ2026)	U <sub>н</sub> =380В I <sub>н</sub> =16А I <sub>эм.р.</sub> =192А	U <sub>р</sub> =380В I <sub>р</sub> =14,96А
ТТ Т – 0,66УЗ	U <sub>н</sub> =660В I <sub>н1</sub> =800А I <sub>н2</sub> =5А I <sub>терм</sub> = 50кА I <sub>дин</sub> = 25кА	U <sub>н</sub> =380В I <sub>р</sub> =231А I <sub>к</sub> =4,79кА I <sub>у</sub> =9,35кА
ШП А3720Б	U <sub>н</sub> =380В I <sub>н</sub> =250А I <sub>к</sub> =2500А i <sub>у</sub> =7536кА	U <sub>н</sub> =380В I <sub>р</sub> =120А I <sub>к</sub> =7,28кА i <sub>у</sub> =10,3кА
Ограничитель перенапряжения ОПН – КР/TEL – 0,38/0,5	U <sub>н</sub> =0,4В U <sub>кл</sub> =0,5кВ I <sub>разр</sub> =6кА I <sub>проп</sub> =150А	-
Амперметр	Шкала 0 – 800 А	I <sub>р</sub> =231А
Вольтметр	Шкала 0 – 500 А	U <sub>р</sub> =380В
Электросчётчик ЕА10RL-Р1В4	0-5А, 400В	-

## 2.8.1 Выбор шин и изоляторов

Для монтажа в РУ-0,4 кВ будем использовать шины из алюминия. Данных шины имеют размеры: 45 х 5 мм, сечение полосы - 225мм<sup>2</sup> . Допустимое значения тока шин составляет: I<sub>доп</sub> = 660А. Полоса монтируется на ребро. Пролет между опорными изоляторами принимаем: L = 1100 мм, Расстояние между фазами составит: a = 500 мм.

Далее осуществим проверку шины на динамическую устойчивость при воздействии токов КЗ .

При трехфазном КЗ, усилие, действующее между фазами определим по формуле:

$$F_{\text{расч}} = \left(1,76 \cdot i_{\text{уд}}^2 \cdot \frac{1}{a}\right) \cdot 10^{-1} = \left(1,76 \cdot \frac{9,97}{0,5}\right) \cdot 10^{-1} = 35 \text{ Н.} \quad (36)$$

Механическое напряжение в шинах составит:

$$\delta_{\text{расч}} = \frac{F_1}{10W} = \frac{35}{10 \cdot 0,21} = 16,16 \text{ МПа,} \quad (37)$$

где, W– момент сопротивления шин, который, в свою очередь, определяется как:

$$W = \frac{b^2 \cdot h}{6} = \frac{0,5^2 \cdot 5}{6} = 0,21 \text{ см}^3. \quad (38)$$

Шины сечением 225мм<sup>2</sup> полностью удовлетворяют условию динамической устойчивости:  $\delta_{\text{расч}} = 16,16 \text{ МПа}$ , что меньше допустимого значения  $\delta_{\text{доп}} = 75 \text{ МПа}$ .

Далее осуществим проверку шины на термическую устойчивость к токам КЗ. Сначала рассчитаем минимальное сечение алюминиевых шин, при величине тока КЗ равной 4,79 кА, в течение 1 секунды:

$$S_{\text{мин}} = I_{\text{к}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{пр}}}{C}} = 4790 \cdot \sqrt{\frac{1}{88}} = 54,4 \text{ мм}^2, \quad (39)$$

где, C– коэффициент для алюминиевых шин, равный 88.

Выбранные шины полностью удовлетворяют условию термической устойчивости:  $S_{\text{мин}} = 54,43 \text{ мм}^2$  менее  $S_{\text{ш}} = 225 \text{ мм}^2$ .

Выбор изоляторов осуществляем исходя из номинального напряжения и тока. Далее осуществляем проверку на механическую нагрузку при КЗ, при этом учитываем условие, что рассчитанное значение для данного типа изолятора, не должно быть больше чем 60% от разрушающей нагрузки [14].

В соответствии со сказанным выше, используем опорные изоляторы марки ИО-0,66-375-2УЗ. Параметры данного типа изоляторов следующие:

$$U_n = 0,66 \text{ кВ};$$

$$F_{\text{разр}} = 3750 \text{ Н.}$$

Тогда:

$$0,6 F_{\text{разр}} > F_{\text{расч}} = 16,16 > 35 \text{ Н.}$$

Выбранные изоляторы полностью удовлетворяют условию механической нагрузки при КЗ.

## 2.8.2 Выбор питающих и распределительных линий

Питающую кабельную линию выбирают исходя из значения экономической плотности тока в режиме нормальной работы, из длительно допустимого тока нагрузки в режиме аварии (в случае повреждения одного из кабелей). Далее осуществляют проверку на термическую устойчивость к воздействию токов КЗ, а также на падение напряжения .

Предварительно, в качестве питающей линии выбираем алюминиевый кабель марки АСБГ (Алюминевая жила свинцовая оболочка бронированный стальными лентами).

Рассчитаем сечение кабеля по экономической плотности тока при  $T_m = 4100$  час.

$$S_{\text{ЭК}} = \frac{I_{\text{макс}}}{2 \cdot j_{\text{ЭК}}} = \frac{24}{2 \cdot 1,4} = 8,6 \text{ мм}^2, \quad (40)$$

где  $I_{\text{макс}}$  – максимальный расчетный ток при напряжении 6 кВ;

$j_{\text{эк}}$  – экономическая плотность тока.

Для кабеля АСБГ-6-5х45 допустимый ток  $I_{\text{доп}} = 65 \text{ А}$ .

Питающая линия на основе кабеля АСБГ-6-5х45 полностью удовлетворяет условию нагрева длительным током:

$$I_{\text{доп}} = 65 \text{ А} > I_{\text{макс}} = 24 \text{ А}. \quad (41)$$

Произведем проверку кабеля АСБГ-10-5х45 на термическую устойчивость к воздействию тока КЗ по минимально допустимому сечению:

$$S_{\text{мин}} = I_{\text{к}} \cdot \sqrt{\frac{t_{\text{пр}}}{C}} = 4790 \cdot \sqrt{\frac{0,22}{88}} = 25 \text{ мм}^2. \quad (42)$$

Условию термической устойчивости к воздействию тока КЗ кабель АСБГ-10-5х45 полностью удовлетворяет:  $45 \text{ мм}^2 > 25 \text{ мм}^2$

Далее осуществим проверку выбранного кабеля на потерю напряжения при номинальной нагрузке. Для силовых сетей переменного тока отклонение напряжения от номинального значения не превышает  $\pm 5\%$  [5].

Потеря напряжения в кабельной линии составит:

$$\Delta U = \left( \sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot \frac{L}{U_{\text{н}}} \right) \cdot (R_0 \cdot \cos\varphi + X_0 \cdot \sin\varphi) \cdot 100 = \left( \sqrt{3} \cdot 12 \cdot \frac{0,43}{6000} \right) \cdot (2,26 \cdot 0,92 + 0,101 \cdot 0,35) \cdot 100 = 0,21 \%, \quad (43)$$

Величина потери напряжения находится в пределах нормы:

$$0,19\% < 5\%.$$

На основании представленных расчетов, можно сделать окончательный выбор в пользу кабеля АСБГ-6-5х45 в качестве питающей линии.

В качестве распределительных силовых линий напряжением 0,4 кВ, используем распределительный шинопровод и алюминиевый кабель марки АВВГ. Сечения выбранных кабелей определим по длительно-допустимому току. Это обусловлено небольшой протяженностью силовых линий. Также произведем проверку силовых линий на соответствие аппарату защиты и на термическую устойчивость к воздействию тока КЗ. Параметры распределительных силовых линий представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Распределительные линии напряжением 0,4 кВ



Линия	Расчет н. ток $I_p$ , А	Ток расцепителя $I_{np}$ , А	Коэффициент защиты КЗ	Ток защиты $I_z$ , А	Марка и сечение проводника	Длительно допустимый ток $I_{доп}$ , А
РП-1	15,65	45	1	45	АВВГ – 4х45	65
РП-2	19,12	45	1	45	АВВГ - 4х45	65
РП-3	18,1	45	1	45	АВВГ - 4х45	65
ШП-1	116,50	225	1	225	ШРА-73	225
ШП-2	118	225	1	225	ШРА-73	225
ЩО	15	15	1	15	ПВ-1-5 (1х2,5)	27
Цех ГП	361	400	1	400	АВВГ-1-2(4х150)	2х217

Определим минимально-допустимое сечение кабелей по условию термической устойчивости к воздействию тока КЗ:

$$S_{\min} = I_k \cdot \sqrt{\frac{t_{np}}{C}} = 7280 \cdot \sqrt{\frac{0,065}{75}} = 24,7 \text{ мм}^2. \quad (44)$$

Таким образом, минимально-допустимое сечение кабелей по условию термической устойчивости к воздействию тока КЗ, составляет 24,7 мм<sup>2</sup>.

## 2.9 Организация безопасности жизнедеятельности

### 2.9.1 Приспособления для обслуживания осветительных установок

Обслуживание светильников вызывает особые трудности в процессе эксплуатации осветительных установок. Обычно светильники, устанавливаются на значительной высоте от уровня пола или земной поверхности. В связи с этим, выполнение работ по смене или чистки источников света и загрязненных частей светотехнической схемы

светильников, во многом зависит от наличия специальных приспособлений или устройств, позволяющих обеспечить доступ к светильникам .

Для выполнения указанных работ, в зависимости от высоты подвески светильников могут быть использованы следующие приспособления:

- приставные лестницы или стремянки;
- передвижные телескопические и шарнирно-телескопические вышки;
- спускные устройства;
- подвесные и мостовые грузоподъемные краны;
- стационарные светотехнические мостики;
- автомашины, оборудованные корзинами или площадками на раздвижной телескопической или шарнирно-телескопической вышке.

В соответствии с ПЭУ, приставные лестницы и стремянки могут быть использованы при обслуживании осветительных установок с высотой подвески светильников, не превышающей 5м. При этом работы по обслуживанию должны проводиться не менее чем двумя лицами.

Длина лестниц и стремянок, должна обеспечивать свободный доступ к светильнику со ступеньки, отстоящей на 1м от верхнего края лестницы или стремянки. При наличии на стремянке площадки - она должна иметь ограждения высотой не менее 1м.

Телескопические и шарнирно-телескопические подъемники передвижного типа могут с успехом использоваться при обслуживании светильников наружного освещения, подвешенных на опорах освещения, специальных кронштейнах, на стенах зданий. При этом, высота подвески может достигать 6м и более от уровня земной поверхности или пола .

Использование телескопических подъемников передвижного типа, при обслуживании светильников, расположенных в промышленных зданиях, является малоэффективным. Это обусловлено тем, что подъемники подобного типа обеспечивают узкий фронт работ, ограниченный размерами рабочей корзины. Здесь также сказывается значительное время, затрачиваемое на

подъем и опускание телескопического подъемника перед и после его ручного перемещения с одной рабочей позиции на другую.

Аналогично, как и при применении приставных лестниц и стремянок, светильники должны подвешиваться так, чтобы технологическое оборудование и выступающие части фундаментов не мешали установке подъемника. Данные условия не всегда возможно обеспечить, поэтому телескопические подъемники передвижного типа нашли весьма ограниченное применение при обслуживании промышленных осветительных установок.

### **2.9.2 Планово-предупредительный осмотр, проверка осветительной установки**

С целью обеспечения надежной и эффективной работы осветительной установки, необходимо организовать постоянный контроль над ее составными частями. В период эксплуатации следует проводить предупредительные периодические осмотры, проверки и при необходимости осуществлять ремонт элементов осветительного оборудования. Сроки проведения осмотров и плановых ремонтов определяются службой электрохозяйства предприятия на основании требований правил технической эксплуатации. Периодичность проведения осмотров и плановых ремонтов зависит от среды помещения, особенностей и назначения элементов осветительного оборудования.

В процессе проведения осмотров и проверок светильников должны устанавливаться следующие факторы:

- наличие, целостность и надежность креплений рассеивателей, защитных стекол, экранирующих решеток, отражателей;
- надежность электрических соединений, состояние изоляции проводов,
- исправность ламп, стартеров, ПРА и др.

Осмотр, ремонт и проверка должны проводиться в отношении светильников, щитков группового и магистрального назначения, проводов, выключателей, переключателей, штепсельных розеток. Рекомендуемые сроки проведения планово-предупредительных осмотров и ремонтов всех перечисленных элементов осветительных систем, перечислены в таблице 15.

Таблица 15 – Рекомендуемые сроки планово-предупредительных осмотров и ремонтов

Объекты осмотра и ремонта.	Для помещений с нормальной средой и для установок наружного освещения.	Для помещений сырых, особо сырых, пыльных, с едкими парами или газами, пожаро - или взрывоопасных.
Щитки, выключатели, штепсельные розетки, осветительные приборы и др. осветительные установки.	1 раз в 4 месяца	1 раз в 2 месяца
Те же, но относящиеся к аварийному освещению, за исключением штепсельных розеток.	1 раз в 2 месяца	1 раз в месяц

В осветительных установках, организованных с использованием большого количества люминесцентных светильников, проверку с целью выявления причин повреждения, следует производить на стенде в ремонтном отделении мастерской.

Работы, связанные с осмотром, проверкой и ремонтом светильников, следует организовать в соответствии с периодичностью их чистки. Устранение обнаруженных повреждений или замену неисправных частей и деталей светильников на новые, необходимо осуществлять в процессе ремонта. Это касается только достаточно легко демонтируемых частей светильников, к числу которых можно отнести патроны, рассеиватели, защитные стекла,

экранирующие решетки, стартеры, ПРА, уплотняющие прокладки и др. При невозможности замены негодной части светильника, заменене подлежит весь светильник.

Для обеспечения ремонтных работ в условия мастерских, а также непосредственно на объектах монтажа, могут применяться многочисленные механизмы, инструменты и приспособления, как общестроительного назначения, так и специализированные электромонтажные .

В условиях мастерских организуются технологические линии поточного типа, предназначенные для индустриальной обработки и заготовки труб, листовой и сортовой стали, шин, комплектов электропроводок, кабелей и т.д.

С целью обеспечения производства ремонтных работ непосредственно на объектах, комплектуются специализированные автомашины или автоприцепы, а также передвижные мастерские.

Все машины, механизмы и средства механизации, используемые в электромонтажном производстве, можно подразделить на пять групп:

- инструмент ручного и механизированного типа;
- приспособления и средства малой механизации;
- сварочное оборудование;
- специализированные автомашины и передвижные мастерские;
- монтажные механизмы для погрузочно-разгрузочных и ремонтных работ.

Все перечисленное оборудование применяется в процессе производства работ по ремонту приборов освещения, расположенных на высоте, а также для монтажа и демонтажа элементов осветительной системы, при невозможности проведения ремонта на месте .

При ремонте осветительных систем, широко применяются ручные инструменты, предназначенные для соединения и оконцевания жил проводов и кабелей. Наиболее широко используются клещи КСИ – 1, предназначенные для снятия изоляции с концов проводов, сечение которых может составлять 0,75 - 4 мм<sup>2</sup> . Перекусывание проводов также осуществляется с помощью указанного

инструмента.

Клещи КСИ – 1 состоят из трех, взаимно связанных шарнирно частей:

- рычага для зажатия провода;
- рычага с ножами для надреза изоляции;
- рычага с ползунком - эксцентриком, перемещающим прижим и

фасонный нож в губках клещей.

Клещи КУ (клещи универсальные), по своему внешнему виду, напоминающие обычные плоскогубцы, могут использоваться при проведении шести монтажных операций, а именно:

- перекусывание проводов;
- зачистка жил;
- вырезание перемычки;
- снятие изоляции;
- изготовление колечек;
- зажим провода.

При проведении ремонтных работ, в достаточно большом количестве случаев, необходимым инструментом являются электросверлильные машины различного вида. В зависимости от максимального диаметра применяемого сверла, электросверлильные машины бывают трех исполнений:

- пистолетного типа, предназначенные для сверления отверстий малого диаметра (до 8 - 10 мм);
- с одной верхней закрытой рукояткой, предназначенные для сверления отверстий диаметром до 15 мм;
- с двумя боковыми рукоятками и грудным или винтовым упором, предназначенные для сверления отверстий диаметром более 15 мм .

Ремонт осветительной установки подразделяется на сложный и мелкий. Мелкий ремонт предусматривает замену стеклянной колбы, стартера, дросселя, изоляции провода, расположенного внутри корпуса лампы на небольшой высоте (3 метра). Ремонт лампы производится с помощью стремянки или при помощи складной лестницы двумя лицами, при этом, один из работающих

осуществляет страховку и подает инструмент.

Сложный ремонт предусматривает проведение работ на значительной высоте. При этом, светильник демонтируется и его ремонт осуществляется в условиях мастерской, а после проведения ремонта, осуществляется монтаж светильника на исходное место.

### 2.9.3 Расчет заземления

Исходные данные для расчета заземляющего устройства (ЗУ) следующие: удельное сопротивление грунта в районе подстанции  $\rho_{гр}$  и сопротивление заземляющего устройства  $R_{зу}$ . Последнее зависит от рабочего напряжения электроустановки и режима ее нейтрали .

Подстанция является помещением, встроенным в здание прессового участка. Учитывая это, заземлители расположим вдоль стены здания. В качестве заземлителей будем использовать вертикальные прутковые электроды. Грунт в районе здания – глина, удельное сопротивление которой составляет  $\rho_{гр} = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Определим расчетное сопротивление грунта с учетом коэффициента повышения сопротивления:

$$\rho = \rho_{гр} \cdot \psi = 40 \cdot 1,36 = 54,4 \text{ Ом} \cdot \text{м} = 0,544 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}. \quad (52)$$

Для сети напряжением 6 кВ с изолированной нейтралью, при общем заземлении, сопротивление заземляющего устройства определяется по формуле [34]:

$$R_{зу} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{45}{0,43} = 104,65 \text{ Ом}, \quad (53)$$

где  $U_3 = 45 \text{ В}$  – напряжение прикосновения;

$I_3$  – полный ток замыкания на землю, который в свою очередь, определяется как:

$$I_3 = \frac{U_n(35 \cdot L_k + L_B)}{500} = \frac{10(35 \cdot 0,43 + 0)}{500} = 0,31 \text{ А}. \quad (54)$$

где  $L_k$  и  $L_B$  – длины кабельных и воздушных линий, имеющих электрическую

связь, км.

Сопротивление ЗУ электроустановок с изолированной нейтралью напряжением свыше 1100 В не должно быть более 10 Ом, следовательно, принимаем  $R_{3y} = 10$  Ом.

Сопротивление ЗУ для сети с глухозаземленной нейтралью напряжением 0,4 кВ не должно превышать 4 Ом, поэтому принимаем наименьшее сопротивление общего ЗУ  $R_{3y} < 4$  Ом.

В качестве естественного заземлителя может выступать фундамент здания, с измеренным сопротивлением  $R_e = 9,7$  Ом, что больше допустимого. Следовательно, необходимо применить дополнительные искусственные заземлители, сопротивление которых определяется следующим образом [30]:

$$R_e = \frac{R_e \cdot R_{3y}}{R_e - R_{3y}} = \frac{9,7 \cdot 4}{9,7 - 4} = 6,81 \text{ Ом.} \quad (55)$$

Диаметр прутковых электродов  $d = 12$  мм, длина  $L = 5$  м. Определим сопротивление одиночного электрода с учетом сопротивления грунта:

$$R_{пр} = 0,0027 \cdot \rho = 0,0027 \cdot 0,544 \cdot 10^4 = 12,35 \text{ Ом.} \quad (56)$$

Рассчитаем необходимое количество число заземлителей:

$$n = \frac{R_{пр}}{\eta \cdot R_{и}} = \frac{12,7}{0,68 \cdot 6,81} = 2,67 = 3 \text{ шт,}$$

где  $\eta$  – коэффициент экранирования трубчатых заземлителей, равный 0,68.

Определим сопротивление растеканию искусственных заземлителей:

$$R_{и} = \frac{R_{пр}}{\eta \cdot n} = \frac{12,35}{0,68 \cdot 3} = 6,05 \text{ Ом;}$$

Тогда общее сопротивление ЗУ составит:

$$R_3 = \frac{R_e \cdot R_{и}}{R_e + R_{и}} = \frac{9,7 \cdot 6,23}{9,7 + 6,23} = 3,73 \text{ Ом.}$$

Рассчитанное значение удовлетворяет норме.

Прутковые электроды закапываются в землю вертикально, на глубину 0,7 м., и соединяются стальной лентой между собой. Стальная лента должна иметь типоразмеры 40x4 мм и соединяется с прутками при помощи электросварки. Этой же полосой осуществляется ввод в ТП и присоединение к главной заземляющей шине (ГЗШ) в двух местах. Горизонтальная полоса не вносит



сопротивление в общее заземление, потому как располагается в замерзающем слое грунта .

Для производства работ по измерению сопротивления заземлителя, должна быть предусмотрена возможность отсоединения заземляющего проводника. Щиток заземлителя должен располагаться в удобном месте. Возможность отсоединения заземляющего проводника должна быть, только при наличии специального инструмента.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Спроектированная система электроснабжения автомобильного завода имеет следующую структуру. Предприятие получает питание от энергосистемы по двухцепной воздушной линии электропередач длиной 4,8 км напряжением 110 кВ. В качестве пункта приёма электроэнергии используется двухтрансформаторная ГПП с трансформаторами мощностью 10000 кВА. Вся электроэнергия распределяется на напряжении 6 кВ по кабельным линиям.

В ходе работы была дана характеристика электроприемников цеха заготовок автомобильного завода, произведен расчет схемы электроснабжения. Расчет проведен для силовой и осветительной сетей. Также рассчитаны значения электрических нагрузок, произведен выбор трансформаторов, и расчет токов короткого замыкания. Проведена проверка выбранных защитных устройств и токоведущих частей по токам короткого замыкания.

Выбрано высоковольтное оборудование и рассчитано искусственное заземление.

Произведен технико-экономический расчет затрат на обслуживание электрооборудования цеха заготовок автомобильного завода.

Все параметры системы электроснабжения, полученные в процессе расчета, полностью удовлетворяют нормированным требованиям.

На основании сказанного выше, можно сделать вывод, что спроектированная система электроснабжения может считаться пригодной для практического применения на промышленном предприятии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – М.: Госкомитет по стандартам, 2007. – 30с.
- 2 ГОСТ 27514-87. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ. – М.: Госкомитет по стандартам, 2008. – 40с.
- 3 ГОСТ Р 50270-92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М.: Госстандарт России, 2013. – 60с.
- 4 Правила устройства электроустановок. Шестое издание, с изменениями, исправлениями и дополнениями, принятыми Главгосэнергонадзором РФ в период с 01.01.92. по 01.12.99. – СПб.: ООО «Издательство ДЕАН», 2009. – 925с.
- 5 Рекомендации по проектированию и эксплуатации систем электроснабжения новых, расширяемых и реконструируемых нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий. Под редакцией В.И. Старостина. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 140с.
- 6 Руководящий технический материал. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2002. – 26с.
- 7 СнИП IV-16-84. Искусственное освещение. Нормы проектирования. – М.: Госкомитет по стандартам, 2004. – 60с.
- 8 Правила устройства электроустановок. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 50с.
- 9 Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию. – Р-н-д.: Феникс, 2014. – 480с.
- 10 Аракелов В.Е. Комплексная оптимизация энергоустановок промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 326с.

- 11 Боровиков В.А. Электрические сети энергетических систем. – СПб.: Энергия, 2007. – 350с.
- 12 Блок В.М. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для электроэнергетических специальностей вузов. – Арх.: АГТУ, 2010. – 383с.
- 13 Волков В. М. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. – Арх.: АГТУ, 2005. – 44 с.
- 14 Грунин В.К. Расчет электрических нагрузок, выбор главных схем и оборудования промышленных предприятий: Учеб. пособие. – Омск: ОмГТУ, 2001. – 104с.
- 15 Диев С.Г., Киржбаум А.Я. Методические указания для выполнения курсового проекта по электроснабжению промышленных предприятий. – Омск: ОмГТУ, 2014 г.
- 16 Ершевич В.В. Справочник по проектированию электроэнергетических систем. – М.: Энерго-атомиздат, 2005. – 352с.
- 17 Епанешников М.М. Электрическое освещение. – М.: Энергия, 2013. - 352с.
- 18 Князевский Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Высшая школа, 2006. – 400 с.
- 19 Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. – М.: Мастерство, 2001. – 310 с.
- 20 Кноринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – СПб.: Энергия, 2012. – 410 с.
- 21 Любушин Н.П. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. – 471с.
- 22 Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок – М.: Высшая школа, 2010. – 311с.
- 23 Мельников, Н.А. Электрические сети и системы. М.: Энергия, 2005. – 455 с.

- 24 Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций». Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 2009. – 608 с.
- 25 Орлова И.Н. Электротехнический справочник: Производство и распределение электрической энергии. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 418 с.
- 26 Промышленный каталог электротехнической продукции «Информэлектро». – М.: Энергоатомиздат, 2016. – 120 с.
- 27 Павлович С.Н., Фираго Б.Н., Ремонт и обслуживание электрооборудования. – Р-н-Д.: Феникс, 2002. – 22 с.
28. Поликарпов Е.А. Оптимизация систем промышленного электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 52 с.
- 29 Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 415 с.
- 30 Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий. – М.: ПрофОбрИздат, 2012. – 370 с.
- 31 Сергеев А.А. Экономические основы бизнес планирования: Учеб. пособие для вузов. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. – 303с.
- 32 Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под редакцией Г.М. Кнорринга. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 384с.
- 33 Справочная книга по светотехнике / Под редакцией Ю.Б. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 472с.
- 34 Справочник по проектированию электроснабжения / Под редакцией Ю.Г. Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 2011. – 576с.
- 35 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: Т.1. Электроснабжение / Под редакцией А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 568с.
- 36 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: Т.2. Электрооборудование / Под редакцией А.А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 592с.

37 Справочник по проектированию электроснабжения. Под редакцией Ю.Г.Барыбина и др. – М.: Энергоатомиздат, 2010 г. – 495с.

38 Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация. Под редакцией А.А.Федорова и Г.В.Сербиновского. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 515с.

39 Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети. Под редакцией А.А.Федорова и Г.В.Сербиновского. – М.: Энергия, 2011. – 412с.

40 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. В 2-х томах. Под редакцией А. А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 2006. – 322с.

41 Справочник по проектированию электрических сетей/ Под редакцией Д.Л. Файбисовича. – М.: ЭНАС, 2009. – 392с.

42 Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д.Л. Файбисовича. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 425с.

43 Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 472с.

44 Федоров А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 368с.

45 Фотиев М.М. Электрооборудование предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия, 2010. – 545с.

46 Шведов Г.В. Проектирование электрических сетей 6 (35) кВ: Учебник для вузов. – М.:ЭНАС, 2009. – 270с.

47 Шеховцов В.А. Расчет и проектирование схем электроснабжения. – М.: Форум, 2003. – 365с.

48 Экономика предприятия / Под редакцией О.И. Волкова. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 520с.

49 Электрические системы, т.2. Электрические сети / Под редакцией В.А. Веникова. - М.: Высшая школа, 2001. – 440с.

50 Электрические системы. Математические задачи электроэнергетики /  
Под редакцией В.А. Веникова. Т-1. – М.: Высшая школа, 2011. – 334с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

На DVD-диске