

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  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018г.

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

### **РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛЯРНОГО УЧАСТКА**

Исполнитель:  
студент группы ЗЭС-404С

К.Ю. Татарченков

Руководитель:  
старший преподаватель кафедры ЭТ

И.Ю. Морозова

Нормоконтролер  
старший преподаватель кафедры ЭТ

Т.В. Лискова

Екатеринбург 2018

## АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 56 страницах, содержит 1 рисунок, 16 таблиц, 30 источников информации, 6 приложений на 7 страницах.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ЗАЗЕМЛЕНИЕ, АППАРАТЫ ЗАЩИТЫ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, МАЛЯРНЫЙ УЧАСТОК, РЕКОНСТРУКЦИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ.

Татарченков К. Ю. Реконструкция системы электроснабжения малярного участка: выпускная квалификационная работа / К. Ю. Татарченков; Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. энергетики и транспорта. – Екатеринбург, 2018. – 56 с.

Краткая характеристика содержания ВКР:

1. Тема выпускной квалификационной работы «Реконструкция системы электроснабжения малярного участка». В данной выпускной квалификационной работе произведен выбор необходимого оборудования, выполнен расчет электрических нагрузок, выбор шинпровода, и аппаратов защиты сетей для малярного участка.

2. Цель работы: спроектировать новую систему электроснабжения в замен существующей.

3. При выполнении выпускной квалификационной работы был выполнен выбор необходимого оборудования, расчет электрических нагрузок выбранного оборудования, выбор аппаратов защиты и проводников, расчет токов короткого замыкания, расчет заземляющего устройства.

4. Учитывая все потребности участка было выбрано необходимое оборудование. Выполнен расчет электрических нагрузок, и произведен расчет и выбор аппаратов защиты и проводников.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ МАЛЯРНОГО УЧАСТКА.....	6
1.1 Краткая характеристика объекта .....	6
1.2 План реконструкции.....	7
1.3 Выбор необходимого оборудования.....	9
2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛЯРНОГО УЧАСТКА .....	21
2.1 Расчет электрических нагрузок.....	21
2.2 Выбор аппаратов защиты и проводников.....	32
2.3 Расчет токов короткого замыкания.....	40
2.4 Выбор и проверка силовых выключателей ВН.....	41
2.5 Расчет заземляющего устройства.....	45
3 РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ КАМЕРЫ СУШИЛЬНОЙ Г01.2219.10.000.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	54
Приложение А.....	57
Приложение Б.....	58
Приложение В.....	59
Приложение Г.....	60
Приложение Д.....	61
Приложение Е.....	63

## **ВВЕДЕНИЕ**

Одной из важнейших современных задач в промышленном производстве является экономия электроэнергии в условиях эксплуатации, которая может быть достигнута за счет проведения технологических и электротехнических мероприятий.

Технологические мероприятия направлены на уменьшение расхода электроэнергии путем рациональной организации производственного процесса и заключается:

- в уплотнении технологических циклов;
- в применении интенсивных технологий;
- в автоматизации технологических процессов и др.

Основными электротехническими мероприятиями являются:

- обеспечение оптимальной нагрузки электродвигателей, трансформаторов, преобразователей;
- отключение электродвигателей на время холостого хода;
- компенсация реактивной мощности;
- замена мало загруженных двигателей менее мощными и т.п.

Другой актуальной задачей в настоящее время является повышение электробезопасности и надежности систем цехового электроснабжения.

Для обеспечения безопасности людей в установках напряжением до 1 кВ и выше с глухозаземленной или изолированной нейтралью сооружают заземляющие или зануляющие устройства и заземляют или зануляют металлические части электрических установок.

Степень надежности определяют в зависимости от назначения электроустановки, ее мощности, перспектив развития и т.п.

*Объектом исследования* является малярный участок сборочного цеха машиностроительного предприятия.

*Предметом исследования* является вновь введенное электрооборудование на малярном участке сборочного цеха.

*Цель работы* – спроектировать новую систему электроснабжения в замен существующей.

*Задачи работы:*

- выбрать необходимое оборудование для малярного участка
- рассчитать электрические нагрузки для выбранного оборудования
- выбрать аппараты защиты и проводники
- рассчитать токи короткого замыкания
- рассчитать заземляющее устройство.

# 1 ПРОЕКТ РЕКОНСТРУКЦИИ МАЛЯРНОГО УЧАСТКА

## 1.1 Краткая характеристика объекта

Для преодоления последствий кризиса 90-х годов на заводе были начаты и продолжаются мероприятия по техническому перевооружению и реструктуризации, передислокации ряда заводских подразделений. Это делается для того, чтобы добиться соответствия заводской производственной базы технологическим требованиям современности. Причем сегодня эта работа ведется в условиях роста производства и четкого выполнения плана по спецтехнике и гражданской продукции.

Завод имени М.И. Калинина на всех этапах своей деятельности отличался высокой культурой производства и использованием в работе передовых методов рациональной организации труда. Непрерывное совершенствование производственных процессов было и остается приоритетным направлением развития предприятия.

В обеспечение максимально эффективного использования качественно обновленной производственно – технологической базы в 2014 году на предприятии утвержден план по поэтапному внедрению технологий бережливого производства. Центром ответственности за организацию предусмотренных планом работ определен отдел развития производственной системы, созданный в составе управления по организационно – техническому развитию.

Первые проекты, предусмотренные планом и реализованные в механическом и сборочном цехах, были направлены на выявление и устранение потерь, связанных с простоями технологического оборудования и недостатками

в организации рабочих мест. Они привели к повышению производительности, энергоэффективности и качества изготовленной продукции.

Чтобы выполнить поставленные задачи и обеспечить серийный выпуск новых типов специальной техники, на Машиностроительном заводе имени М. И. Калинина реализуется программы технического перевооружения, направленные как на модернизацию существующего производства, так и на создание новых производственных мощностей. Ведется реконструкция зданий, сооружений, энергетических систем.

Для выпускной квалификационной работы был выбран малярный участок сборочного цеха, который в связи с увеличением объема и разнообразием изготавливаемых изделий нуждается в реконструкции. План существующего участка предоставлен в приложении А.

На данном участке расположено четыре сушильные камеры и четыре окрасочные камеры, которые имеют большой физический износ и не подходящие по своим габаритам для проведения малярных работ, при изготовлении новых изделий. В результате физического износа снижается производительность. Это связано в первую очередь увеличением простоев, вызванных ремонтом и обслуживанием, уменьшающих полезный фонд рабочего времени.

## **1.2 План реконструкции**

Для повышения эффективности производства участка, планируется замена изношенного и устаревшего оборудования на более новое и производительное. Все камеры кроме сушильной камеры позиция б подвергаются полному демонтажу.

В процессе внедрения на заводе технологий бережливого производства, используя полученный опыт для эргономичного использования на данном

участке необходимо учесть все требования к изготавливаемым изделиям, для расположения камер на участке.

В результате замены оборудования планируется заменить питающие кабельные линии. Запитывание камер окрасочных №1 и №2 и сушильных камер №1 и №2 выполнено силовым кабелем АСБ 3\*240. Сушильная камера № 3 и Окрасочная камера № 3 запитаны силовым кабелем АВВГ 4\*70.

Суммарная потребляемая мощность расположенного на малярном участке оборудования составляет около 500 кВт.

В процессе реконструкции планируется поменять существующие электрические сети на шинопровод. Это связано с увеличением мощности потребляемое оборудованием, и заменить существующую третью категорию электроприёмников на вторую категорию.

Третья категория электроприемников электроснабжения могут обеспечиваться электроэнергией от одного источника питания при возможности ремонта вышедших из строя узлов за сутки.

Вторую категорию электроприемников рекомендуется запитывать от двух независимых источников питания. При отсутствии на первом вводе напряжения, второй ввод вручную включается дежурным или работником аварийной бригады. Допустимо для воздушной линии использовать одну линию с возможностью ремонта в течение 24 часов. Для второй категории электроснабжения возможно питание по одной кабельной линии из нескольких кабелей от одного аппарата. При замене трансформатора за 24 часа, допускается запитка от одного трансформатора.

Согласно с требованием по пожарной безопасности и классификации участка планируется заменить существующие теплоизлучатели Т 235 - 500 Е40 А 100 в количестве 94 штук используемых для освещения участка.



Для энергосбережения объекта также планируется замена устаревших деревянных оконных конструкций на новые пластиковые окна с энергосберегающими стеклопакетами.

### **1.3 Выбор необходимого оборудования**

Для повышения эффективности производства участка, планируется замена изношенного и устаревшего оборудования на более новое и производительное. Все камеры кроме сушильной камеры позиция б подвергаются полному демонтажу.

Окрасочная камера является оборудованием, определяющим производительность участка малярных работ. Мощность участка определяется потоком заказов, количеством рабочих мест для их выполнения и пропускной способностью камер. Именно поток заказов и определяет необходимое количество камер. На рынке представлен широкий спектр камер отечественных и зарубежных производителей. Выбор среди них и пропускной способности камер зависит количество постов подготовки.

Окрасочная камера должна обеспечивать экономное расходование материалов, высокую производительность и экономию энергетических ресурсов. Экономия энергетических ресурсов обеспечивают рециркуляцию воздуха, теплоизоляция обеспечивает минимальную потерю тепла, сокращение времени покраски обеспечивает экономию энергии и повышение производительности труда. Автоматический контроль времени и температуры сушки также способствует повышению качества и экономии.

Исходя из технических требований окраски выпускаемых участком изделий и годового объема выпускаемой продукции был выполнен план расположения новых окрасочных и сушильных камер в приложении Б и выбрано оборудование поставщика ООО НПО «Лакопокрытие» положительно

зарекомендовавшего себя на рынке окрасочного оборудования. Выбранное оборудование предоставлено в таблице 1.

Таблица 1- Оборудование для малярного участка

№ Позиции	Тип камеры	Обозначение	Кол-во
1	Камера сушильная	ГО1.2219.10.000	1 шт.
2	Установка окрасочная	В40.2016.00.000	1 шт.
3	Камера сушильная	ГО1.2219.70.000	1 шт.
4	Камера сушильная	ГО1.2219.70.000	1 шт.
5	Камера окрасочная	ВО1.2219.40.000	1 шт.
6	Камера сушильная конвекционная с электрообогревом проходная	ГОО.1925.00.000	1 шт.
7	Камера окрасочная	ВО1.2219.60.000	1 шт.
8	Камера сушильная	ГО1.2219.90.000	1 шт.
9	Установка приточной вентиляции П1	-	1 шт.
10	Установка приточной вентиляции П2	-	1 шт.
11	Установка приточной вентиляции П3	-	1 шт.

**Краткое описание и характеристики выбранного оборудования:**

**Позиция 1.** Камера сушильная ГО1.2219.10.000 предназначена для сушки лакокрасочных покрытий. Максимальные размеры подлежащего сушке изделия должны быть на 300 мм меньше внутренних размеров рабочего объёма камеры. Конструкция камеры сушильной обеспечивает возможность эксплуатации во взрыво- и пожароопасных зонах класса В-1а согласно «Правилам устройства электроустановок».

Для данной камеры предварительно необходимо проложить рельсовый путь по требованию на изготовление изделий длиной 19600 мм, отступив на 500мм от задней стенки сушильной камеры. Приобрести тележку для

транспортировки изделий в камеру для сушки ЛКП. Данная модернизация в свою очередь улучшает логистику участка и обеспечивает экономию оперативного времени на 10%. Технические характеристики предоставлены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики камеры ГО1.2219.10.000

Наименование показателей	Показатели
1. Назначение	Сушка окрашенных изделий
2. Тип камеры	Тупиковая
3. Тип нагрева	Электрообогрев
4. Рабочая температура, °С, не более	200
5. Время разогрева до рабочей температуры, мин., не более	60*
6. Количество воздуха, м <sup>3</sup> /ч, не менее	
рециркулируемого	7800-15000
свежего	780-1500
7. Напряжение питающей сети, В	380
8. Напряжение питающей сети, В	380
9. Потребляемая мощность, кВт, не более	378
10. Масса, кг, не более	6600

**Позиция 2.** Установка окрасочная В40.2016.00.000 предназначена для нанесения лакокрасочных материалов методом пневматического или безвоздушного распыления. Установка окрасочная обеспечивает нормальные санитарно-гигиенические условия труда маляра и производит очистку выбросов без превышения установленных предельно допустимых концентрации вредных веществ. Область применения установки – окраска

изделий различных отраслей промышленности. Технические характеристики предоставлены в таблице 3.

Таблица 3- Технические характеристики установки В40.2016.00.000

Наименование показателей	Показатели
1. Исполнение установки	Бескамерная, с гидрофильтром
2. Площадь рабочего пространства, м <sup>2</sup>	49,6
3. Скорость движения воздуха под экранами, м/сек, не менее	15
4. Производительность вентиляции, м <sup>3</sup> /ч, не менее	110000
5. Коэффициент очистки выбросов в гидрофильтре, %, не менее	95
6. Мощность привода насоса гидросистемы, кВт	15
7. Производительность насоса, м <sup>3</sup> /ч	100
8. Количество насосов на установке, шт.	2
9. Количество погружных дренажных насосов, шт.	2
10. Мощность погружного насоса, кВт	1,1
11. Производительность погружного насоса, м <sup>3</sup> /ч.	10
12. Емкость ванны, не менее, м <sup>3</sup>	15
13. Вытяжной вентилятор, шт	2
14. Мощность вытяжного вентилятора, кВт	37
15. Напряжение питающей сети, В	380

**Позиция 3,4.** Камера сушильная ГО1.2219.70.000 предназначена для сушки лакокрасочных покрытий. Конструкция камеры сушильной обеспечивает возможность эксплуатации во взрыво -и пожароопасных зонах класса В-1а согласно «Правилам устройства электроустановок». Для данных

камер необходимо также выполнить основание из бетона на глубину 200 мм. Технические характеристики предоставлены в таблице 4.

Таблица 4 - Технические характеристики камеры ГО1.2219.70.000

Наименование показателей	Показатели
1. Назначение	Сушка изделий
2. Тип камеры	Тупиковая
3. Тип нагрева	Электрообогрев
4. Рабочая температура, °С, не более	200
5. Время разогрева до рабочей температуры, мин., не более	60*
6. Количество воздуха, м <sup>3</sup> /ч, не менее	
рециркулируемого	7800-15000
свежего	780-1500
7. Напряжение питающей сети, В	380
8. Потребляемая мощность, кВт, не более	180
9. Масса, кг, не более	3140

**Позиция 5.** Камера окрасочная ВО1.2219.40.000 предназначена для нанесения лакокрасочных материалов методом пневматического или безвоздушного распыления. Установка окрасочная обеспечивает нормальные санитарно-гигиенические условия труда маляра и производит очистку выбросов без превышения установленных предельно допустимых концентрации вредных веществ. Предназначение заключается в очистке воздуха от летучих частиц, в удержании мелких частиц пыли, в очистке горячего воздуха при рециркуляции, и в фильтрации воздуха при продуве покрасочной камеры. Область применения установки – окраска изделий различных отраслей промышленности. Технические характеристики предоставлены в таблице 5.

Таблица 5 - Технические характеристики камеры ВО1.2219.40.000

Наименование показателей	Значение
1. Исполнение камеры окрасочной	Тупиковая
2. Метод распыления ЛКМ	Безвоздушный
3. Метод очистки воздуха от окрасочного аэрозоля	Гидрофильтр, сухие фильтры
4. Коэффициент очистки выбрасываемого воздуха, не менее	0,95
5. Количество воздуха удаляемого вытяжной вентиляцией, м <sup>3</sup> /ч	14700...30260
6. Количество воздуха поставляемого приточной вентиляцией, м <sup>3</sup> /ч	14700...30260
7. Скорость воздуха в рабочем проеме, м/с	0,75
8. Мощность привода насоса, кВт	2,2
9. Производительность насоса, м <sup>3</sup> /ч	25
10. Напряжение питающей сети, В	380
11. Потребляемая электрическая мощность, кВт, не более	5,2
12. Масса, не более, кгс	2200

**Позиция 6.** Камера сушильная ГОО.1925.00.000 конвекционная с электрообогревом проходная. Предназначена для сушки лакокрасочных покрытий. Максимальные размеры подлежащего сушке изделия должны быть на 300мм меньше внутренних размеров объема камеры. Данная камера является производительной за счет того что является проходной, в следствии увеличивается изготовление изделий за счет сокращения времени загрузки. В том числе можно организовать процесс сушки по конвейерному типу. Технические характеристики предоставлены в таблице 6.

Таблица 6 - Технические характеристики камеры ГОО.1925.00.000

Наименование показателей	Показатели
1. Назначение	Сушка окрашенных изделий
2. Тип камеры	Проходная
3. Режим работы камеры:	
Температура сушки, °С	150
Время разогрева до рабочей температуры, мин., не более	45*
4. Количество воздуха, м <sup>3</sup> /ч, не менее	
рециркулируемого	2600-5000
свежего	300-500
5. Напряжение питающей сети, В	380
6. Потребляемая мощность, не более, кВт	77
7. Масса, не более, кг	3000

**Позиция 7.** Камера окрасочная ВО1.2219.60.000 предназначена для нанесения лакокрасочных материалов методом пневматического или безвоздушного распыления. Установка окрасочная обеспечивает нормальные санитарно-гигиенические условия труда маляра и производит очистку выбросов без превышения установленных предельно допустимых концентрации вредных веществ. Предназначение заключается в очистке воздуха от летучих частиц, в удержании мелких частиц пыли, в очистке горячего воздуха при рециркуляции, и в фильтрации воздуха при продуве покрасочной камеры. Достаточно мощные системы рекуперации могут быстро выкачать и отфильтровать краску, которая еще не закрепилась на окрашиваемом изделии. Область применения установки – окраска изделий различных отраслей промышленности. Технические характеристики предоставлены в таблице 7.

Таблица 7 - Технические характеристики камеры ВО1.2219.60.000

Наименование показателей	Значение
1. Исполнение камеры окрасочной	Тупиковая
2. Метод распыления ЛКМ	Пневматический
3. Метод очистки воздуха от окрасочного аэрозоля	Гидрофильтр, сухие фильтры
4. Коэффициент очистки выбрасываемого воздуха, не менее	0,95
5. Количество воздуха удаляемого вытяжной вентиляцией, м <sup>3</sup> /ч	16500...32660
6. Количество воздуха поставляемого приточной вентиляцией, м <sup>3</sup> /ч	16500...32660
7. Скорость воздуха в рабочем проеме, м/с	0,75
8. Мощность привода насоса, кВт	3,2
9. Производительность насоса, м <sup>3</sup> /ч	25
10. Аэродинамическое сопротивление камеры, не более, Па <sup>**</sup>	50
11. Напряжение питающей сети, В	380
12. Потребляемая электрическая мощность, кВт, не более	7,5
13. Масса, не более, кгс	2200

**Позиция 8.** Камера сушильная ГО1.2219.90.000 предназначена для сушки лакокрасочных покрытий. Максимальные размеры подлежащего сушке изделия должны быть на 300 мм меньше внутренних размеров рабочего объёма камеры.

Конструкция камеры сушильной обеспечивает возможность эксплуатации во взрыво- и пожароопасных зонах класса В-1а согласно



«Правилам устройства электроустановок». Технические характеристики предоставлены в таблице 8.

Таблица 8 - Технические характеристики камеры ГО1.2219.90.000

Наименование показателей	Показатели
1. Назначение	Сушка окрашенных изделий
2. Тип камеры	Тупиковая
3. Тип нагрева	Электрообогрев
4. Рабочая температура, °С, не более	250
5. Время разогрева до рабочей температуры, мин., не более	60*
6. Количество воздуха, м <sup>3</sup> /ч, не менее рециркулируемого	11800-19000
свежего	1180-1900
7. Напряжение питающей сети, В	380
8. Потребляемая мощность, кВт, не более	285
9. Масса, кг, не более	5240

Вентиляция в производственном цехе представляет собой комплекс взаимосвязанных между собой процессов и устройств, нацеленный на создание качественного воздухообмена внутри производственного помещения.

Система вентиляции цеха играет гораздо более важную роль, чем аналогичная система в любом другом помещении. Главный акцент состоит в том, что это целая система инженерных разработок, которая призвана обеспечить бесперебойную фильтрацию воздуха от вредных и токсичных примесей и его функциональную циркуляцию, не нарушая при этом ход технологических процессов, а способствуя благоприятным условиям для их успешного выполнения.

**Позиция 9,10,11.** Установка приточной вентиляции. Предназначены для обогрева помещения в осеннее - зимний период и для общего обмена воздуха на участке. Перемещаемая среда – воздух, не содержащий включений, агрессивных к сталям обыкновенного качества а также взрывоопасных смесей, липких, волокнистых и абразивных материалов. Данные установки приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Перечень оборудования установки приточной вентиляции.

Обозначение	Наименование и характеристика	количество
ЩУ-П1	Щит управления приточной установкой П1, U= 380В, P = 162кВт	1
	ACE CR2-120-3RO нестандартный /1S/N;	
ЩУ-П2	Щит управления приточной установкой П2, U= 380В, P = 162кВт	1
	ACE CR2-120-3RO нестандартный /1S/N;	
ЩУ-П3	Щит управления приточной установкой П3, U= 380В, P = 142кВт	1
	ACE CR2-150-3R3R/1-1H32-2H32-SM/N	
РП2	Шкаф распределительный 1600А, 380В	1

Суммарная потребляемая мощность предполагаемого к установке оборудования на малярном участке **составляет 1670,7 кВт.** Мощность оборудования предоставлена в таблице 10.

Таблица 10 - Мощность выбираемого оборудования

№ позиции	Наименование	количество	P <sub>эп</sub> , кВт	примечание
1	2	3	4	5
1	Камера сушильная	1	378	380В
2	Установка окрасочная	1	92	380В

Окончание таблицы 10

1	2	3	4	5
3	Камера сушильная	1	180	380В
4	Камера сушильная	1	180	380В
5	Камера окрасочная	1	5,2	380В
6	Камера сушильная конвекционная с электрообогревом проходная	1	77	380В
7	Камера окрасочная	1	7,5	380В
8	Камера сушильная	1	285	380В
9	Установка приточной вентиляции П1	1	162	380В
10	Установка приточной вентиляции П2	1	162	380В
11	Установка приточной вентиляции П3	1	142	380В

Согласно плану реконструкции участка необходимо заменить светильники в количестве 94 штуки. Данному участку присвоена «Категория А» помещений по пожарной и взрывопожарной опасности.

Категория А - взрывопожароопасная. Это горючие газы, ЛВЖ, имеющие температуру вспышки паров не больше 28 °С в таком объеме, что могут легко образовать парогазовоздушные смеси, при загорании которых развивается избыточное давления взрыва в помещении более 5 кПа. Различные вещества и материалы, способные к взрыву и загоранию даже при взаимодействии кислородом воздуха, сводой или между собой в таком объеме, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении составляет больше 5 кПа.

Учитывая все данные условия был выбран светильник взрывозащищенный ГСП 11 Вех -250-411 . Данные светильника предоставлены в таблице 11.

Таблица 11 - характеристики светильника ГСП 11 Вех -250-411

Наименование показателей	Показатели
КПД, %, не менее	55
Номинальная частота, Гц	50
Коэффициент мощности, не менее	0,8
Защитный угол, град, не менее	15
Маркировка по взрывозащите ГОСТ Р51330.0-99	1ExdellCT4
Обозначение документа	ТУ 16-545.350-81
Тип лампы	ДРИ-250
Номинальная мощность, Вт	250
Тип цоколя	Е 40

## 2 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛЯРНОГО УЧАСТКА

### 2.1 Расчет электрических нагрузок

Для расчета электрических нагрузок используем таблицу 10 «Мощность выбираемого оборудования».

Удельная осветительная нагрузка для малярного участка  $P_{уд.осв.} = 12$  Вт/м<sup>2</sup>

Вычисляем осветительную мощность участка:

$$P_{осв} = P_{уд.осв} * S = 10 * 132 * 36 = 47500 \text{ Вт} = 47,5 \text{ кВт},$$

где  $S = A * B$ ;

$$A = 132 \text{ м};$$

$$B = 36 \text{ м}.$$

Полученные данные распределяем по секциям в таблице 12.

Таблица 11 - Распределение нагрузки по секциям

Секция 1	Нагрузка приведённая кВт	Секция 2	Нагрузка приведённая кВт
1	2	3	4
<b>ШМА1</b>		<b>ЩО</b>	
Установка приточной вентиляции П1	162	Освещение	47,5
Установка приточной вентиляции П2	162	<b>РП1</b>	
Установка приточной вентиляции П3	142	Установка окрасочная позиция 2	92
Камера сушильная позиция 3, 4	360	Камера окрасочная позиция 5	5,2

Окончание таблицы 12

1	2	3	4
–	–	Камера сушильно-конвекционная с электрообогревом проходная	77
–	–	Камера окрасочная позиция 7	7,5
–	–	<b>ШМА2</b>	
–	–	Камера сушильная позиция 1	378
–	–	Камера сушильная позиция 8	285

Суммарная приведенная нагрузка для секции 1 составляет: 826 кВт.

Суммарная приведенная нагрузка для секции 2 составляет: 892,2 кВт.

Резервные электроприёмники в расчёте электрических нагрузок не учитываются.

Согласно распределению нагрузки по РУ заполняется таблица «Сводная ведомость нагрузок по участку» приложение В, используя таблицу 12 заполняем колонки 1, 2, 3.

Колонки 5, 6, 7 таблицы «Сводная ведомость нагрузок по участку» приложение В, заполняются из таблицы 1.1, [29].

Для заполнения колонки 4, таблицы приложения В, используем таблицу 12 и ниже приведенные суммарные данные для РП1, ШМА1, ШМА2 и ШМА3.

Для РП1:

Всего электроприёмников  $n = 4$ ;  $P_{н\Sigma} = 181,7\text{кВт}$ .

Для ШМА1:

Всего электроприёмников  $n = 5$ ;  $P_{н\Sigma} = 826\text{кВт}$ .

Для ШМА2:

Всего электроприёмников  $n = 1$ ;  $P_{н\Sigma} = 378\text{кВт}$ .

Для ШМА3:

Всего электроприёмников  $n = 1$ ;  $P_{H\Sigma} = 285\text{кВт}$ .

Далее определяем показатель силовой сборки и полученные данные заносим в колонку 4, приложения В.

$m$  — показатель силовой сборки в группе,

$$m = \frac{P_{H.нб}}{P_{H.нм}}, \quad (1)$$

где  $P_{H.нб}$ ,  $P_{H.нм}$  – номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности электроприемников наибольшего и наименьшего в группе, кВт.

Для РП1 соответственно:

$$m = \frac{P_{H.нб}}{P_{H.нм}} = \frac{92}{5,2} = 17,7 \approx 18 > 3,$$

Для ШМА1 соответственно:

$$m = \frac{P_{H.нб}}{P_{H.нм}} = \frac{360}{142} = 2,53 \approx 3,$$

Для расчета  $P_{см}$ ,  $Q_{см}$ ,  $S_{см}$  используем последующие формулы.

Полученные данные расчетов заносим в колонки 9,10,11 приложения В.

$$P_{см} = K_{и} P_{H\Sigma}, \quad (2)$$

$$Q_{см} = P_{см} \tan \varphi, \quad (3)$$

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2}. \quad (4)$$

Произведем расчет данных для РП1.

Для установки окрасочной позиция 2:

$$P_{см} = K_{и} P_{H\Sigma} = 0,75 * 92 = 69\text{кВт},$$

$$Q_{см} = P_{см} \tan \varphi = 69 * 0,33 = 22,77\text{квар},$$

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2} = \sqrt{69^2 + 22,77^2} = 72,66\text{кВА}.$$

Для камеры окрасочной позиция 5:

$$P_{см} = K_{и} P_{H\Sigma} = 0,7 * 5,2 = 3,64\text{кВт},$$

$$Q_{см} = P_{см} \tan \varphi = 3,64 * 0,75 = 2,73\text{квар},$$

$$S_{см} = \sqrt{P_{см}^2 + Q_{см}^2} = \sqrt{3,64^2 + 2,73^2} = 4,55\text{кВА}.$$

Для камеры сушильно-конвекционной с электрообогревом проходной:

$$P_{\text{CM}} = K_{\text{И}} P_{\text{H}\Sigma} = 0,75 * 77 = 57,75 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}} = P_{\text{CM}} \tan \varphi = 57,75 * 0,33 = 19,06 \text{ квар},$$

$$S_{\text{CM}} = \sqrt{P_{\text{CM}}^2 + Q_{\text{CM}}^2} = \sqrt{57,75^2 + 19,06^2} = 60,81 \text{ кВА}.$$

Для камеры окрасочной позиция 7:

$$P_{\text{CM}} = K_{\text{И}} P_{\text{H}\Sigma} = 0,75 * 7,5 = 5,63 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}} = P_{\text{CM}} \tan \varphi = 5,63 * 0,33 = 1,86 \text{ квар},$$

$$S_{\text{CM}} = \sqrt{P_{\text{CM}}^2 + Q_{\text{CM}}^2} = \sqrt{5,63^2 + 1,86^2} = 5,92 \text{ кВА}.$$

Расчет для ШМА1.

Для установки приточной вентиляции П1 и П2:

$$P_{\text{CM}} = K_{\text{И}} P_{\text{H}\Sigma} = 0,7 * 162 = 113,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}} = P_{\text{CM}} \tan \varphi = 113,4 * 0,55 = 62,37 \text{ квар},$$

$$S_{\text{CM}} = \sqrt{P_{\text{CM}}^2 + Q_{\text{CM}}^2} = \sqrt{113,4^2 + 62,37^2} = 129,42 \text{ кВА}.$$

Для установки приточной вентиляции П3:

$$P_{\text{CM}} = K_{\text{И}} P_{\text{H}\Sigma} = 0,7 * 142 = 99,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}} = P_{\text{CM}} \tan \varphi = 99,4 * 0,55 = 54,67 \text{ квар},$$

$$S_{\text{CM}} = \sqrt{P_{\text{CM}}^2 + Q_{\text{CM}}^2} = \sqrt{99,4^2 + 54,67^2} = 113,44 \text{ кВА}.$$

Для камеры сушильной позиция 3, 4:

$$P_{\text{CM}} = K_{\text{И}} P_{\text{H}\Sigma} = 0,75 * 180 = 135 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}} = P_{\text{CM}} \tan \varphi = 135 * 0,33 = 44,55 \text{ квар},$$

$$S_{\text{CM}} = \sqrt{P_{\text{CM}}^2 + Q_{\text{CM}}^2} = \sqrt{135^2 + 44,55^2} = 142,16 \text{ кВА}.$$

Расчет для ШМА2.

Для камеры сушильной позиция 1:

$$P_{\text{CM}} = K_{\text{И}} P_{\text{H}\Sigma} = 0,75 * 378 = 283,5 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{CM}} = P_{\text{CM}} \tan \varphi = 283,5 * 0,33 = 93,56 \text{ квар},$$

$$S_{\text{CM}} = \sqrt{P_{\text{CM}}^2 + Q_{\text{CM}}^2} = \sqrt{283,5^2 + 93,56^2} = 298,54 \text{ кВА}.$$

Расчет для ШМА3.

Для камеры сушильной позиция 8:



$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} P_{\text{н}\Sigma} = 0,75 * 285 = 213,75 \text{кВт},$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \tan \varphi = 213,75 * 0,33 = 44,55 \text{квар},$$

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} = \sqrt{213,75^2 + 44,55^2} = 298,54 \text{кВА}.$$

Расчет для ЩО:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} P_{\text{н}\Sigma} = 0,85 * 47,5 = 40,38 \text{кВт},$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \tan \varphi = 40,38 * 0,33 = 13,32 \text{квар},$$

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} = \sqrt{40,38^2 + 13,32^2} = 42,52 \text{кВА}.$$

Рассчитаем  $K_{\text{и.ср}}$ ,  $\cos \varphi$ ,  $\tan \varphi$  по ниже приведенным формулам для ШМА1 и ШМА2, полученные данные занесем в колонки 5,6,7 приложения В.

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см.}\Sigma}}{P_{\text{н.}\Sigma}}, \quad (5)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{см.}\Sigma}}{S_{\text{см.}\Sigma}}, \quad (6)$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_{\text{см.}\Sigma}}{P_{\text{см.}\Sigma}}. \quad (7)$$

Расчеты для РП1:

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см.}\Sigma}}{P_{\text{н.}\Sigma}} = \frac{136,02}{181,7} = 0,75,$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{см.}\Sigma}}{S_{\text{см.}\Sigma}} = \frac{136,02}{143,95} = 0,94,$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_{\text{см.}\Sigma}}{P_{\text{см.}\Sigma}} = \frac{46,41}{136,02} = 0,34.$$

Расчеты для ШМА1:

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см.}\Sigma}}{P_{\text{н.}\Sigma}} = \frac{596,2}{826} = 0,72,$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{см.}\Sigma}}{S_{\text{см.}\Sigma}} = \frac{596,2}{656,6} = 0,91,$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_{\text{см.}\Sigma}}{P_{\text{см.}\Sigma}} = \frac{268,51}{596,2} = 0,45.$$

Определяется  $n_{\Sigma} = F(n, m, K_{\text{и.ср}}, P_{\text{н}})$  согласно «таблице 1.2», «Шеховцов В.П. [29]» результат заносится в 12 колонку.

Рассчитаем  $n_{\Sigma}$  для РП1:

$$n_{\Sigma} = F(n, m, K_{\text{и.ср}}, P_{\text{н}}) = F(4; 18; 0,75; \text{переменная}) = 1$$

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum_1^n P_H)^2}{\sum_1^n P_H^2} = \frac{(92+5,2+77+7,5)^2}{92^2+5,2^2+77^2+7,5^2} = 2,28 \approx 2.$$

Рассчитаем  $n_{\text{э}}$  для ШМА1:

$$n_{\text{э}} = F(n, m, K_{\text{и.ср}}, P_H) = (5; 1; 0,72; \text{переменная}) = 5.$$

Определяем  $K_M = (K_{\text{и.ср}}, P_H)$  по «таблице 1.3», «Шеховцов В.П. [29]» результат заносится в колонку 13.

Рассчитаем  $K_M$  для РП1:

$$K_M = (K_{\text{и.ср}}, n_{\text{э}}) = (0,72; 1) = 1,87.$$

Также  $K_M$  при отсутствии таблицы можно найти по формуле:

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{\text{э}}}} \sqrt{\frac{1-K_{\text{и.ср}}}{K_{\text{и.ср}}}}. \quad (8)$$

Так как в таблице нет этих значений произведём расчёт по формуле:

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{\text{э}}}} \sqrt{\frac{1-K_{\text{и.ср}}}{K_{\text{и.ср}}}} = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{1}} \sqrt{\frac{1-0,72}{0,72}} = 1,93,$$

Рассчитаем  $K_M$  для ШМА1:

$$K_M = (K_{\text{и.ср}}, n_{\text{э}}) = (0,75; 5) = 1,19,$$

В соответствии с практикой проектирования принимается  $K'_M = 1,1$  при  $n_{\text{э}} \leq 10$ ;  $K'_M = 1$  при  $n_{\text{э}} > 10$ .

То есть для РП1 и ШМА1  $K'_M = 1,1$  так как  $n_{\text{э}} \leq 10$  для обоих случаев.

Расчет  $P_M$ ,  $Q_M$ ,  $S_M$ , для максимальной нагрузки используем ниже приведённые формулы и полученные результаты заносим в колонки 15,16,17.

$$P_M = K_M P_{\text{ср}}, \quad (9)$$

$$Q_M = K'_M Q_{\text{ср}}, \quad (10)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}. \quad (11)$$

Произведем расчет для РП1:

$$P_M = K_M P_{\text{ср}} = 1,93 * 136,02 = 262,51 \text{ кВт},$$

$$Q_M = K'_M Q_{\text{ср}} = 1,1 * 46,41 = 51,06 \text{ квар},$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{262,51^2 + 51,06^2} = 267,43 \text{ кВА}.$$

Расчет для ШМА1:

$$P_M = K_M P_{CM} = 1,19 * 596,2 = 709,48 \text{ кВт},$$

$$Q_M = K_M Q_{CM} = 1,1 * 268,5 = 295,36 \text{ квар},$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{709,48^2 + 295,36^2} = 768,5 \text{ кВА}.$$

Для ШМА2 и ШМА3 данные за смену переписываются в 15, 16, 17 соответственно.

Для определения тока на РУ, используем формулу  $\frac{S_{M(ПП1)}}{U_L \sqrt{3}}$ , полученные результаты заносим в колонку 18, приложение В.

Расчет  $I_M$  для РП1:

$$I_{M(ПП1)} = \frac{S_{M(ПП1)}}{U_L \sqrt{3}} = \frac{267,43}{0,38 \sqrt{3}} = 411,55 \text{ А}.$$

Расчет  $I_M$  для ШМА1:

$$I_{M(ШМА1)} = \frac{S_{M(ШМА1)}}{U_L \sqrt{3}} = \frac{768,5}{0,38 \sqrt{3}} = 1182,68 \text{ А}.$$

Расчет  $I_M$  для ШМА2:

$$I_{M(ШМА2)} = \frac{S_{M(ШМА2)}}{U_L \sqrt{3}} = \frac{298,54}{0,38 \sqrt{3}} = 459,43 \text{ А}.$$

Расчет  $I_M$  для ШМА3:

$$I_{M(ШМА3)} = \frac{S_{M(ШМА3)}}{U_L \sqrt{3}} = \frac{225,09}{0,38 \sqrt{3}} = 346,4 \text{ А}.$$

Расчет  $I_M$  для ЩО:

$$I_{M(ЩО)} = \frac{S_{M(ЩО)}}{U_L \sqrt{3}} = \frac{37,51}{0,38 \sqrt{3}} = 57,73 \text{ А}.$$

Определяем среднюю нагрузку за смену на ШНН, результат заносится в колонки 9, 10, 11, приложения В:

$$P_{CM(НН)} = P_{CM(ПП1)} + P_{CM(ШМА1)} + P_{CM(ШМА2)} + P_{CM(ШМА3)} + P_{CM(ЩО)} = \\ 136,02 + 596,2 + 283,5 + 213,75 + 35,63 = 1265,09 \text{ кВт}.$$

$$Q_{CM(НН)} = Q_{CM(ПП1)} + Q_{CM(ШМА1)} + Q_{CM(ШМА2)} + Q_{CM(ШМА3)} + Q_{CM(ЩО)} = \\ 46,41 + 268,51 + 93,56 + 70,54 + 11,76 = 490,77 \text{ квар}.$$

$$S_{\text{см(НН)}} = S_{\text{см(РП1)}} + S_{\text{см(ШМА1)}} + S_{\text{см(ШМА2)}} + S_{\text{см(ШМА3)}} + S_{\text{см(ЩО)}} = \\ 143,95 + 656,6 + 298,54 + 225,09 + 37,51 = 1361,69 \text{кВА.}$$

Аналогично рассчитываем максимальные нагрузки на ШНН, результат заносится в колонки 15, 16, 17 приложения В:

$$P_{\text{М(НН)}} = P_{\text{М(РП1)}} + P_{\text{М(ШМА1)}} + P_{\text{М(ШМА2)}} + P_{\text{М(ШМА3)}} + P_{\text{М(ЩО)}} = 262,51 + \\ 709,48 + 283,5 + 213,75 + 35,63 = 1504,87 \text{кВт.}$$

$$Q_{\text{М(НН)}} = Q_{\text{М(РП1)}} + Q_{\text{М(ШМА1)}} + Q_{\text{М(ШМА2)}} + Q_{\text{М(ШМА3)}} + Q_{\text{М(ЩО)}} = 51,06 + \\ 295,36 + 93,56 + 70,54 + 11,76 = 522,28 \text{квар.}$$

$$S_{\text{М(НН)}} = S_{\text{М(РП1)}} + S_{\text{М(ШМА1)}} + S_{\text{М(ШМА2)}} + S_{\text{М(ШМА3)}} + S_{\text{М(ЩО)}} = 267,43 + \\ 1182,68 + 459,43 + 346,4 + 57,73 = 1597,07 \text{кВА.}$$

Определим значения  $\cos \varphi$ ;  $\tan \varphi$  по ниже приведенным формулам для ШНН, полученные результаты занесем в колонки 5, 6, 7 приложения В:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{М(НН)}}}{S_{\text{М(НН)}}}, \quad (12)$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_{\text{М(НН)}}}{P_{\text{М(НН)}}}, \quad (13)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{М(НН)}}}{S_{\text{М(НН)}}} = \frac{1504,87}{1597,07} = 0,94,$$

$$\tan \varphi = \frac{Q_{\text{М(НН)}}}{P_{\text{М(НН)}}} = \frac{522,28}{1504,28} = 0,35.$$

Определим потери в трансформаторе по ниже приведенным формулам, результаты заносим в колонки 15, 16, 17 приложения В:

$$\Delta P_{\text{T}} = 0,02 S_{\text{М(НН)}} = 0,02 * 1597,07 = 31,94 \text{кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{T}} = 0,1 S_{\text{М(НН)}} = 0,1 * 1597,07 = 159,7 \text{квар},$$

$$\Delta S_{\text{T}} = \sqrt{\Delta P_{\text{T}}^2 + \Delta Q_{\text{T}}^2} = \sqrt{31,94^2 + 159,7^2} = 162,87 \text{кВА.}$$

Определяются значения  $P_{\text{М(ВН)}}$ ,  $Q_{\text{М(ВН)}}$ ,  $S_{\text{М(ВН)}}$  с учётом потерь:

$$P_{\text{М(ВН)}} = P_{\text{М(НН)}} + \Delta P_{\text{T}} = 1504,87 + 31,94 = 1536,81 \text{кВт},$$

$$Q_{\text{М(ВН)}} = Q_{\text{М(НН)}} + \Delta Q_{\text{T}} = 522,28 + 159,7 = 681,98 \text{квар},$$

$$S_{\text{М(ВН)}} = S_{\text{М(НН)}} + \Delta S_{\text{T}} = 1597,07 + 162,87 = 1759,94 \text{кВА.}$$

Расчётная мощность трансформатора с учётом потерь, но без компенсации реактивной мощности определяется:

$$S_T \geq S_{\text{потр}} = 0,7S_{M(\text{ВН})} = 0,7 * 1759,94 = 1231,96 \text{кВА},$$

Находим мощность типового трансформатора:

$$S_{\text{тип}} = K_{\text{выг}} S_T n_T, \quad (14)$$

где  $K_{\text{выг}}$ -коэффициент выгоды;

$S_T$ -номинальная мощность выбранного трансформатора;

$n_T$ -количество трансформаторов подключенных к нагрузке НН.

Для расчета  $K_{\text{выг}}$  необходимого для расчета мощности типового трансформатора, данную величину необходимо рассчитать по ниже приведенной формуле:

$$K_{\text{выг}} = 1 - \frac{1}{K_{T(\text{BC-CH})}}, \quad (15)$$

где  $K_{T(\text{BC-CH})}$  - это коэффициент трансформации;

$$K_{T(\text{BC-CH})} = \frac{V_{\text{ВН}}}{V_{\text{СН}}}; \quad (16)$$

$V_{\text{ВН}}, V_{\text{СН}}$  - значения напряжения на обмотках ВН, СН, кВ;

$$K_{T(\text{BC-CH})} = \frac{V_{\text{ВН}}}{V_{\text{СН}}} = \frac{10000}{400} = 25,$$

$$K_{\text{выг}} = 1 - \frac{1}{K_{T(\text{BC-CH})}} = 1 - \frac{1}{25} = 0,75,$$

$$S_{\text{тип}} = K_{\text{выг}} S_T n_T = 0,75 * 1231,96 * 2 = 1847,94 \text{кВА},$$

Расчёт и выбор КУ.

Таблица 12 – исходные данные

Параметр	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$P_M, \text{кВт}$	$Q_M, \text{квар}$	$S_M, \text{кВА}$
Всего на НН без КУ	0,94	0,35	1504,87	522,28	1597,07

Требуется:

- рассчитать и выбрать КУ;
- выбрать трансформатор с учётом КУ;
- сравнить с трансформатором без КУ.

Так как компенсацию реактивной мощности производят до значений косинуса 0,92-0,95 то нам рассчитывать КУ нет необходимости.

Определяется расчётная КУ.

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий повышение  $\cos\varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ .

$$Q_{к.р.} = \alpha P_M (\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\varphi_k) = 0,9 * 1427,21(0,36 - 0,33) = 41 \text{квар},$$

Принимается  $\cos\varphi_k = 0,95$ , тогда  $\operatorname{tg}\varphi_k = 0,33$ .

По [29, с.127] выбирается 2 х УК1 0,415-20 со ступенчатым регулированием по 20квар, по одной на каждую секцию.

Определяются фактические значения  $\operatorname{tg}\varphi_\phi$  и  $\cos\varphi_\phi$  после компенсации реактивной мощности:

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha P_M} = 0,36 - \frac{2*20}{0,9*1427,21} = 0,32, \text{ тогда } \cos\varphi_k = 0,98,$$

Результаты заносятся в таблицу 14 «Сводную ведомость нагрузок».

Таблица 13 - Сводная ведомость нагрузок.

Параметр	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВА
Всего на НН без КУ	0,94	0,36	1427,21	508,07	1518,13
КУ				2х20	
Всего на НН с КУ	0,98	0,32	1427,21	468,07	1518,13
Потери			31,13	155,66	158,74
Всего ВН с КУ			1458,34	623,73	1676,87

Расчёт потерь с учётом КУ:

$$\Delta P_T = 0,02 S_{M(НН)} = 0,02 * 1556,57 = 31,13 \text{кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1S_{M(HH)} = 0,1 * 1556,57 = 155,66\text{квар},$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{31,13^2 + 155,66^2} = 158,74\text{кВА}.$$

Определяется расчётная мощность трансформатора с учётом потерь и компенсации реактивной мощности:

$$S_T \geq S_P = 0,7S_{M(BH)} = 412,03\text{кВА},$$

$$K_3 = \frac{S_{HH}}{S_T} = \frac{1556,57}{2*1600} = 0,48.$$

Выбранная мощность трансформатора без учёта компенсации реактивной мощности была 2 х ТМ 1600-10/0,4 после произведения расчётов и выбора компенсационного устройства 2 х УК1 0,415-20 трансформатор остался неизменным. Схема подключение трансформаторов предоставлена в приложении Ж.

Выбрано 2 х УК1 0,415-20;

трансформаторы 2 х ТМ 1600-10/0,4; для КТП - 2х1600-10/0,4

$$K_3 = 0,48.$$

Для выбора рекомендуемых значений коэффициентов используем таблицу 15.

Таблица 15 - Рекомендуемые значения коэффициентов

Наименование механизмов и аппаратов	$K_n$	$K_c$	$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$
1	2	3	4	5
Металлорежущие станки мелкосерийного производства с нормальным режимом работы (токарные, фрезерные, сверлильные и т. п.)	0,14	0,16	0,5	1,73
Металлорежущие станки крупносерийного производства с нормальным режимом работы	0,16	0,2	0,6	1,33

Окончание таблицы 14

1	2	3	4	5
Металлорежущие станки с тяжелым режимом работы (штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, фрезерные, и т.п.)	0,17	0,25	0,65	1,17
Переносной электроинструмент	0,06	0,1	0,65	1,17
Вентиляторы, сантехническая вентиляция	0,6	0,7	0,8	0,75
Насосы, компрессоры, дизельгенераторы	0,7	0,8	0,8	0,75
Краны, тельферы	0,1	0,2	0,5	1,73
Сварочные трансформаторы	0,25	0,35	0,35	2,67
Сварочные машины (стыковые и точечные)	0,2	0,6	0,6	1,33
Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75	0,8	0,95	0,33

## 2.2 Выбор аппаратов защиты и проводников

Для выбора аппарата защиты нужно знать ток в линии, где он установлен, тип его и число фаз.

Токи (в амперах) в линии определяются по формуле:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{н.т}}, \quad (17)$$

где  $S_T$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;



$U_{н.т}$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ. Принимается  $U_{н.т}$  равное 0,4 кВ.

Для расчета  $I_{ру}$  применяется формула:

$$I_{ру} = \frac{S_{м.ру}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.ру}}, \quad (18)$$

где  $S_{м.ру}$  — максимальная расчетная мощность РУ (или ШМА), кВ·А;

$U_{н.ру}$  — номинальное напряжение РУ, кВ.

Принимается  $U_{н.ру} = 0,38$  кВ.

Для расчета  $I_{рв}$  применяется формула:

$$I_{рв} = \frac{P_{д}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.д} \cdot \eta_{д} \cdot \cos \varphi_{д}}, \quad (19)$$

где  $P_{д}$  — мощность ЭД переменного тока, кВт;

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

$\eta_{д}$  — КПД электродвигателя, относительная единица.

Если электродвигатель повторно-кратковременного режима, то  $P_{д}$  и  $I_{св}$  рассчитывается по формулам:

$$P_{д} = P_{д.п.} \sqrt{ПВ}, \quad (20)$$

$$I_{св} = \frac{S_{св} \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} \cdot V_{н}}, \quad (21)$$

где  $S_{св}$  — полная мощность сварочного 3-фазного трансформатора, кВ·А;

ПВ — продолжительность включения, относительная единица.

В сетях напряжения менее 1 кВ в качестве аппаратов защиты могут применяться автоматические выключатели (автоматы), предохранители и тепловые реле.

Автоматы выбираются согласно условиям:

- для линий без электродвигателей:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р.}; I_{н.р.} \geq I_{д.л.}, \quad (22)$$

- для линий с одним электродвигателем:

$$U_{н.а.} \geq U_{с}; I_{н.р.} \geq 1,1 I_{м}, \quad (23)$$

- для групповой линии с несколькими электродвигателями:

$$I_{н.р.} \geq 1,25I_{д.л.}, \quad (24)$$

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

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

$I_{д.л}$  — длительный ток в линии, А;

$I_{м}$  — максимальный ток в линии, А;

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

$U_{с}$  — напряжение сети, В.

Для расчета кратности отсечки применяется следующая формула:

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{н.р.}}, \quad (25)$$

где  $K_0$  — кратность отсечки;

$I_0$  — ток отсечки, А;

$I_{н}$  — пусковой ток, А.

Для тока отсечки в зависимости линии применяются следующие условия:

$I_0 \geq I_{д.л.}$  — для линии без электродвигателя,

$I_0 \geq 1,2I_{н}$  — для линии с одним электродвигателем,

$I_0 \geq 1,2I_{пик}$  — для групповой линии с несколькими электродвигателями.

Для расчета  $I_{п}$  применяется следующая формула:

$$I_{п} = K_{п} * I_{н.д.}, \quad (26)$$

где  $K_{п}$  — кратность пускового тока.

Принимается:  $K_{п} = 6,5...7,5$  — для АД;  $K_{п} = 2...3$  — для СД и МПТ;

$I_{н.д}$  — номинальный ток, А;

Для расчета пикового тока  $I_{пик}$ , (А) применяется следующая формула:

$$I_{пик} = I_{п.нб.} + I_{м} - I_{н.нб.}, \quad (27)$$

где  $I_{п.нб.}$  — пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя, А;

$I_{н.нб.}$  — номинальный ток наибольшего в группе электродвигателя, А;

$I_{м}$  — максимальный ток на группу, А.

Зная тип,  $I_{н.а}$  и число полюсов автомата, выписываются все каталожные данные.

Предохранители выбираются согласно условиям:

- для линии без электродвигателя:

$$I_{вс} \geq I_{д.л.}, \quad (28)$$

- для линии с электродвигателем и легким пуском:

$$I_{вс} \geq I_{вс} \geq \frac{I_{п}}{2,5}, \quad (29)$$

- для линии к РУ (РП или шинопровод):

$$I_{вс} \geq \frac{I_{п} + I_{д.л.}}{1,6}, \quad (30)$$

- для линий к сварочному трансформатору:

$$I_{вс} \geq I_{св} \sqrt{ПВ}, \quad (31)$$

где  $I_{вс}$  — ток плавкой вставки, А.

$$I_{н.п.} \geq I_{вс},$$

где  $I_{н.п.}$  — номинальный ток предохранителя, А.

Тепловые реле выбираются согласно условию:

$$I_{тр} \geq 1,25 I_{н.д.},$$

где  $I_{тр}$  — ток теплового реле, номинальный, А.

Наиболее современными являются автоматы серии ВА и АЕ, предохранители серии ПР и ПН, тепловые реле серии РТЛ.

Проводники для линий ЭСН выбираются с учетом соответствия аппарату защиты согласно условиям:

- для линии защищенной автоматом:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{у(п)}, \quad (32)$$

- для линии защищенной только от КЗ предохранителем:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{вс}, \quad (33)$$

- для линии с тепловым реле:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{тр}, \quad (34)$$

где  $I_{\text{доп}}$  — допустимый ток проводника, А;

$K_{\text{зщ}}$  — коэффициент защиты.

Принимают  $K_{\text{зщ}} = 1,25$  — для взрыво- и пожароопасных помещений;

$K_{\text{зщ}} = 1$  — для нормальных (неопасных) помещений;

$K_{\text{зщ}} = 0,33$  — для предохранителей без тепловых реле в линии.

По типу проводника, числу фаз и условию выбора формируется окончательно марка аппарата защиты.

Для выполнения селективности автоматы начинаем выбирать с первого уровня, выбираем автоматический выключатель из [29, с40] и записываем его характеристики в таблицу, приложение Г.

1. РП1-(ЭП1) Установка окрасочная позиция 2,  $P_{\text{н}} = 92$  кВт.

Используя формулу:

$$I_{\text{дл}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.п}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \cos \varphi_{\text{п}}}, \quad (35)$$

$$I_{\text{дл}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.п}}} = \frac{92}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 172,57 \text{ А},$$

Автоматический выключатель QF1 выбираем из условия, что  $I_{\text{н.р.}} > 1,25 I_{\text{дл}}$ , для линии с одним электродвигателем то есть  $172,57 \cdot 1,25 = 215,71 \text{ А} \leq 250 \text{ А}$ .

Вычисляем пусковой ток установки окрасочной, так как в ней есть двигатели АСД, то рассчитаем пусковой ток привода насоса так как он имеет самую большую мощность:

$$I_{\text{дл}} = \frac{P_{\text{п}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.п}}} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 28,14 \text{ А},$$

$I_{\text{н.р.}} > 1,25 I_{\text{дл}}$ , для линии с одним электродвигателем то есть:  $28,14 \cdot 1,25 = 35,17 \text{ А}$ .

$$I_{\text{п.нб}} = K_{\text{п}} \cdot I_{\text{н.дв}} = 6,5 \cdot 35,17 = 228,6 \text{ А}.$$

Рассчитанный пусковой ток будем использовать в дальнейших расчетах:

Вычисляем расчётный ток отсечки:

$$I_0 = 1,2 I_{\text{п}} = 1,2 \cdot 228,6 = 274,32 \text{ А}.$$

Определяем кратность отсечки :

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{н.р}} = \frac{274,32}{250} = 1,1.$$

Кратность отсечки принимается 3.

Питание для установки окрасочной выбираем кабель ВВГнг по условию нагрева длительно допустимым током  $I_{доп.} > I_{дл.}$ .

Выбирают ВВГнг 4x120  $I_{доп.}=385A$  выбранное сечение проверяется по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$I_{доп.} > 1,35 I_{н.р.} = 1,35 * 250 = 337,5A$ , условие выполняется выбранный провод подходит.

2. РП1-(ЭП2) Камера окрасочная позиция 5,  $P_n = 5,2кВт$ .

$$I_d = \frac{P_d}{\sqrt{3} * U_{н.д} * \eta_d * \cos \varphi_d} = \frac{5,2}{\sqrt{3} * 0,38 * 0,82 * 0,79} = 12,2A.$$

Автоматический выключатель QF2 выбираем из условия:

$I_{н.р.} \geq 1,25 I_{дл} \Leftrightarrow I_{н.р.} \geq 1,25 * 12,2 = 15,25A \leq 16A$ , исходя из этих данных выбираем автомат и заносим его характеристики в таблицу, приложение Г.

Вычисляем пусковой ток электродвигателя:

$$I_{п.нб} = K_{п} * I_{н.дв} = 6,5 * 15,25 = 99,09A.$$

Вычисляем расчётный ток отсечки:

$$I_0 = 1,2 I_{п.нб} = 1,2 * 99,09 = 118,91A.$$

Кратность отсечки определяем по формуле:

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{н.р}}, \tag{36}$$

$$K_0 = \frac{I_0}{I_{н.р}} = \frac{118,91}{16} = 7,4.$$

Кратность отсечки  $K_0$  принимается равным 7.

Для питания камеры окрасочной выбирается кабель ВВГнг по условию нагрева допустимо длительным током.

$$I_{доп.} > I_{дл.}$$

Выбираем кабель ВВГнг 4x2,5  $I_{доп.} = 30A$ .

Выбранное сечение проверяется по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$$I_{\text{доп}}=30A>1,35*16 = 21,6A \text{ условие выполняется.}$$

Остальные приемники рассчитываются аналогичным способом и результаты заносятся в таблицу, приложение Г.

### 3. ШНН-ШМА1.

Автомат выбирается по условию:

$$I_{\text{н.р}} \geq 1,1 I_{\text{м}} \Leftrightarrow I_{\text{н.р}} = 1,1 * 1182,68 = 1300,95A \Leftrightarrow I_{\text{н.р}} = 1600A.$$

Выбираем автомат и технические характеристики записываем в таблицу «Приложение Г».

Для данного автомата рассчитываем пиковый ток:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.нб}} + I_{\text{м.гр}} - I_{\text{н.нб}} * K_{\text{и}} \quad (37)$$

где  $I_{\text{пуск.нб}}$  - пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя;

$I_{\text{м.гр}}$  - максимальный ток группы;

$I_{\text{н.нб}}$  - номинальный ток наибольшего двигателя в группе;

$K_{\text{и}}$  - коэффициент использования группы.

Наиболее мощным ЭП в данной группе является камера сушильная позиция 3 с  $P_{\text{н.нб}} = 180 \text{ кВт}$ .

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{пуск.нб}} + I_{\text{м.гр}} - I_{\text{н.нб}} * K_{\text{и}} = 1266,11 + 411,55 - 422,0 * 0,75 = 1361,13A.$$

Рассчитываем ток отсечки:

$$I_{\text{о}} > 1,2 I_{\text{п}} = 1,2 * 1361,13 = 1633,36A.$$

Рассчитываем кратность отсечки:

$$K_{\text{о}} = \frac{I_{\text{о}}}{I_{\text{н.нб}}} = \frac{1633,36}{422,04} = 3,8.$$

Принимаем кратность равную 4.

Выбирают кабель для питания от ШМА1 до ШРА1, по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$$I_{\text{доп.}} = 1250A > 1,35 * 1600 = 2160A.$$

Для питания ШМА1 выбираем шинопровод ШМА-4-2500-44-УЗ.

4. ШНН2-ЩО (освещение 47,5кВт, 0,38кВ).

Определяем длительный ток в линии:

$$I_{д} = \frac{P_{д}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.д} \cdot \eta_{д} \cdot \cos \varphi_{д}} = \frac{47,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 89,1 \text{ А},$$

выбираем из условия, что  $I_{дл} = I_{д}$ ;

$$I_{н.р.} \geq I_{дл} \Rightarrow I_{н.р.} \geq 89,1 \text{ А} \geq 100 \text{ А}$$

Выбираем автомат и заносим его характеристики в таблицу «Сводная ведомость аппаратов защиты и кабельных линий», приложение Г.

$$I_{н.а} \geq I_{н.р.},$$

$$I_{н.а} = 100 \text{ А} \geq I_{н.р.} = 100 \text{ А}, \text{ условие соблюдается.}$$

Вычисляем расчётный ток отсечки:

$$I_{о} \geq I_{дл}.$$

Кратность отсечки определяется по формуле:

$$K_{о} = \frac{I_{о}}{I_{н.р.}} = \frac{100}{89,1} = 1,12.$$

$K_{о}$  принимается равным 3.

Для питания цехового освещения выбирается кабель ВВГнг по условию нагрева допустимо длительным током:  $I_{доп.} > I_{д}$ .

Выбираем ВВГнг 4х25  $I_{доп.} = 140 \text{ А}$ .

Выбранное сечение проверяется по условию соответствия выбранному аппарату защиты:

$$I_{доп.} > 1,35 \cdot 100 = 135 \text{ А} \Rightarrow 135 \text{ А} < 140 \text{ А} \text{ условие выполняется.}$$

5. ШНН1-ШМА1 и ШНН2-ШМА2, АВР (так как трансформаторы одинаковые).

Ток протекающий по этой линии равен:

$$I_{Т} = \frac{S_{Т}}{U_{н.Т} \sqrt{3}} = \frac{1600}{0,4 \cdot \sqrt{3}} = 2339,2 \text{ А},$$

$$I_{н.р.} \geq I_{Т} \Rightarrow 2339,2 \text{ А} \geq 2500 \text{ А}.$$

В соответствии с этим выбираются шинопроводы ШМА-4-2500-44-УЗ.

Выбираем автоматический выключатель и записываем его характеристики в таблицу, приложение Г.

Для прокладки питающей линии до трансформаторной подстанции разработана схема расположение шинпровода, приложение Д, Е.

### 2.3 Расчет токов короткого замыкания

При расчетах токов КЗ за трансформаторами 10(6) кВ считается, что напряжение питающей энергосистемы на стороне ВН трансформатора остается неизменным в течение всего процесса КЗ. Это допущение объясняется тем, что распределительные сети 10 (6) кВ, как правило, электрически удалены от генерирующих источников энергосистемы и КЗ в этих сетях, и тем более за трансформаторами 10 (6) кВ мало сказываются на работе электрических генераторов. По этой же причине вычисляется только периодическая составляющая тока КЗ, а влияние апериодической составляющей тока КЗ учитывается при выборе параметров некоторых типов защиты путем введения повышающих коэффициентов.

Ток КЗ для ВН в точке К1 считаем по формуле:

$$I_{к,маx}^{(3)} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} * Z_{тр}}, \quad (38)$$

где  $U_{ср}$  – это напряжение к которой стороне отнесено  $Z_{тр}$ , для 10кВ  $Z_{тр} = 4,06\text{Ом}$  данные взяты из таблицы. 5.1.1. [16].

$$I_{к,маx}^{(3)} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} * Z_{тр}} = \frac{10500}{\sqrt{3} * 4,06} = 1493,15\text{А} \approx 1,5\text{кА},$$

для 0,4кВ  $Z_{тр} = 6,5\text{мОм}$  данные взяты из табл. 5.1.1. [16].

$$I_{к,маx}^{(3)} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3} * Z_{тр}} = \frac{400}{\sqrt{3} * 6,5 * 10^{-3}} = 35524\text{А} \sim 35,52\text{кА},$$

Так мы нашли токи короткого замыкания на выводах трансформатора со стороны ВН и НН они равны соответственно 1,5кА и 35,52кА.

Рассчитаем ударные токи для ВН и НН.



Используем для этого формулу:

$$i_{ук} = \sqrt{2} * K_y * I_k, \quad (39)$$

где  $K_y$  берём из графика: «рисунок 1.9.1» [29] на нём изображена зависимость

$$K_y = F\left(\frac{x_k}{R_k}\right), \quad (40)$$

Получаем  $K_y=1,5$ .

Получаем для 10кВ:

$$i_{ук.ВН} = \sqrt{2} * K_y * I_k = 1,41 * 1,5 * 1500 = 3172\text{А} \sim 3,17\text{кА}.$$

Получаем для 0,4кВ:

$$i_{ук.НН} = \sqrt{2} * K_y * I_k = 1,41 * 1,5 * 35520 = 75124,8\text{А} \sim 75,12\text{кА},$$

Действующее значение ударного тока можно вычислить по формуле:

$$I_y = q * I_k^{(3)}, \quad (41)$$

где  $q$  рассчитывается по формуле:

$$q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)}, \quad (42)$$

Подставляем данные формулы в уравнение ударного тока и получаем:

$$I_y = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)} * I_k^{(3)}, \quad (43)$$

Вычисляем для ВН 10кВ:

$$I_y = \sqrt{1 + 2(1,5 - 1)} * 1500 = 2115\text{А}.$$

Вычисляем для ВН 0,4кВ:

$$I_y = \sqrt{1 + 2(1,5 - 1)} * 35520 = 50038,2\text{А} \approx 50,04\text{кА}.$$

## 2.4 Выбор и проверка силовых выключателей ВН

Выключатели ВН выбираются по напряжению, току категории размещения, конструктивному исполнению, коммутационной способности.

Должны быть выполнены условия:

$$U_{н.в} \geq U_{н.у}, \quad (44)$$

$$I_{н.в} \geq I_{н.у}, \quad (45)$$

где  $U_{н.в}$  – номинальное напряжение выключателя, кВ;

$U_{н.у}$  – номинальное напряжение установки, кВ;

$I_{н.в}$  – номинальный ток выключателя, кА;

$I_{н.у}$  – номинальный ток установки, кА.

Выключатели проверяются:

а) на отключающую способность.

Должны быть выполнены следующие условия:

$$I_{н.откл} \geq I_{р.откл},$$

где  $I_{н.откл}$  – номинальное значение токов отключения, кА;

$I_{р.откл}$  – расчётное значение токов отключения, кА.

$$S_{н.откл} \geq S_{р.откл},$$

где  $S_{н.откл}$  – номинальная мощность отключения, МВ\*А;

$S_{р.откл}$  – расчётная мощность отключения, МВ\*А.

$$I_{р.откл} \geq I_{\infty}^{(3)},$$

$$S_{р.откл} = \sqrt{3} * I_{р.откл} * U_{н.у}, \quad (46)$$

$$S_{н.откл} = \sqrt{3} * I_{н.откл} * U_{н.в}, \quad (47)$$

где  $I_{\infty}^{(3)}$  - трёхфазный ток кз в момент отключения выключателя, действующее значение в установившемся режиме, кА;

б) на динамическую стойкость.

Должно быть выполнено условие:

$$i_{ск} \geq i_y,$$

где  $i_{ск}$ -амплитуда предельного сквозного ударного тока кз выключателя, кА;

$i_y$  - амплитуда ударного тока установки, кА.

Амплитуда ударного тока установки рассчитывается по формуле:

$$i_y = K_y \sqrt{2} I_k^{(3)}, \quad (48)$$

в) на термическую стойкость.

Должно быть выполнено условие:

$$I_{TC} \geq I_{p.TC}$$

где  $I_{p.TC}$  рассчитывается по формуле:

$$I_{p.TC} = I_{p.откл} \sqrt{\frac{t_{пр}}{t_{TC}}}, \quad (49)$$

где  $I_{TC}$ ,  $I_{p.TC}$  - токи термической стойкости, каталожный и расчётный, кА;

$t_{пр}$  - приведённое время действия кз, если отключение произойдёт в зоне переходного процесса, с.

Приближённо  $t_{пр} \sim t_d$  - время действия кз фактическое, с.

$$t_d = t_{рз} + t_{ов}, \quad (50)$$

где  $t_{рз}$  - время срабатывания релейной защиты, с;

$t_{ов}$  - собственное время отключения выключателя, с

Величина  $t_{рз}$  определяется при расчёте конкретной РЗ.

Время одного периода при частоте 50Гц составляет 0,02с. Время срабатывания кз ( $t_d$ ) для сетей 10кВ составляет 1-3с, значит, самое быстрое отключение произойдёт через 50 периодов, что соответствует зоне давно установившегося кз (через 8-10 периодов).

Согласно полученным данным выбираем ВЭЭ-10-20/630 УЗ

Каталожные данные выключателя:

$$I_{н.в.} = 630 \text{ А};$$

$$U_{н.в.} = 10 \text{ кВ};$$

$$i_{ск} = 52 \text{ кА};$$

$$I_{TC} = 20 \text{ кА};$$

$$I_{н.откл.} = 20 \text{ кА};$$

$$t_{TC} = 3 \text{ с};$$

$$t_{ов} = 0,055 \text{ с}.$$

Определяем расчетные данные.

Токи короткого замыкания на ВН:

$$I_{к, \max}^{(3)} = 1,5 \text{кА} - \text{берём из предыдущего пункта расчётов}$$

$$i_{ук} = 3,17 \text{кА} - \text{берём из предыдущего пункта расчётов, } I_{\infty}^{(3)} = 1,5 \text{кА}$$

Отключающая способность:

$$I_{р.откл} = I_{\infty}^{(3)} = 1,5 \text{кА},$$

$$S_{р.откл} = \sqrt{3} * I_{р.откл} * U_{н.у} = \sqrt{3} * 1,5 * 10 = 25,62 \text{МВА},$$

$$S_{н.откл} = \sqrt{3} * I_{н.откл} * U_{н.в} = \sqrt{3} * 20 * 10 = 346 \text{МВА}.$$

Ток термической стойкости вычисляем по формуле:

$$I_{р.тс} = I_{р.откл} \sqrt{\frac{t_{пр}}{t_{тс}}}, \quad (51)$$

где  $t_{пр} \sim t_{д} \Rightarrow t_{д} = t_{рз} + t_{ов}$  (примем  $t_{рз} = 1 \text{с}$ ) тогда получим:

$$I_{р.тс} = I_{р.откл} \sqrt{\frac{t_{пр}}{t_{тс}}} = 1,5 * \sqrt{\frac{1+0,055}{3}} = 0,9 \text{кА}.$$

Все полученные результаты и данные из каталога занесены в таблицу 16.

Таблица 16 - Ведомость выключателя ВН.

Параметры	Условн. обознач.	изм	Условие выбора	Данные выключателя		Дополнительные сведения
				Расчёт.	Каталожн.	
<b>ВЫБОР</b>						
Номинальное напряжение	$U_n$	В	$U_{н.в} \geq U_{н.у}$	10	10	ВЭЭ-10-20/630 УЗ (табл. 1.11.1)
Номинальный ток	$I_n$	А	$I_{н.в} \geq I_{н.у}$	23,8	630	
<b>ПРОВЕРКА</b>						
Ток отключения	$I_{н.откл}$	А	$I_{н.откл} \geq I_{р.откл}$	1,5	20	Отключающая способность
Мощность отключения	$S_{н.откл}$	ВА	$S_{н.откл} \geq S_{р.откл}$	25,62	346	
Амплитуда предельного сквозного тока	$i_{ск}$	А	$i_{ск} \geq i_y$	2,12	52	Динамическая стойкость
Предельн. ток термической стойкости	$I_{тс}$	А	$I_{тс} \geq I_{р.тс}$	0,9	20	Термическая стойкость

Условия выбора выполнены.

Для ТП выбраны 2хВЭЭ-10-20/630 УЗ

## 2.5 Расчет заземляющего устройства

Расчитать заземляющее устройство (ЗУ) в электроустановках (ЭУ) это значит:

- определить расчётный ток замыкания на землю  $I_3$  и сопротивление заземляющего устройства  $R_3$ ;
- определить расчетное сопротивление грунта ( $\rho_p$ );
- выбрать электроды и рассчитать их сопротивление;
- уточнить число вертикальных электродов и разместить их на плане.

Исходные данные:

Расстояние от электрощитовой малярного участка до питающей подстанции - 5км;

Грунт - суглинок с температурой  $+8^0\text{C}$   $\rho_p=100\text{Ом}\cdot\text{м}$ ;

Размеры здания 132х36х8;

$t=0,5\text{м}$ ;

Вертикальный электрод - круглая сталь ( $\phi 16$ ),  $L_B = 5\text{м}$ ;

Горизонтальный электрод - полоса 40х4;

Вид заземляющего устройства - рядный.

При использовании искусственных заземлителей сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R_{И} = \frac{R_E R_3}{R_E + R_3}, \quad (52)$$

где  $R_{И}$  и  $R_E$  - сопротивление искусственных и естественных заземлителей, Ом.

Сопротивление железобетонных фундаментов здания, связанных между собой металлическими конструкциями, определяется по формуле:

$$R_E = \frac{\rho}{\sqrt{S}}, \quad (53)$$

где  $\rho=100\text{Ом}\cdot\text{м}$  (суглинок);

$S$  - площадь ограниченная периметром здания,  $\text{м}^2$ .

Определение  $I_3$  и  $R_3$ :

Определяем расчётное сопротивление одного вертикального электрода:

$$r_B = 0,3\rho K_{\text{сез.в}} = 0,3 * 100 * 1,7 = 51\text{Ом},$$

$$\rho_p = \rho K_{\text{сез.в}}.$$

По таблице примем расположение малярного участка в климатической зоне II и получим  $K_{\text{сез.в}}=F(\text{верт.};\text{II})=1,7$ .

$$\text{Согласно ПУЭ в любое время года } R_3 \leq \frac{250}{I_3}.$$

Расчетный (емкостной) ток замыкания на землю определяется приближённо:

$$I_{31} = \frac{U_H(35L_{\text{кл}}+L_{\text{вл}})}{350} = \frac{10*35*5}{350} = 5\text{А (для ВН)},$$

$$R_{31} \leq \frac{125}{I_3} = \frac{125}{5} = 25\text{Ом}.$$

Требование по  $R_{32} \leq 40\text{Ом}$  на НН, но допустимое при данном грунте определяется:

$$R_{3у} \leq R_{32} \frac{\rho}{100} = 4 \frac{100}{100} = 40\text{Ом}.$$

Определяем количество вертикальных электродов:

- без учёта экранирования (расчётное):

$$N_{\text{ВР}} = \frac{r_B}{R_{3у}} = \frac{51}{4} = 12,75 \text{ принимается } 10.$$

- с учётом экранирования

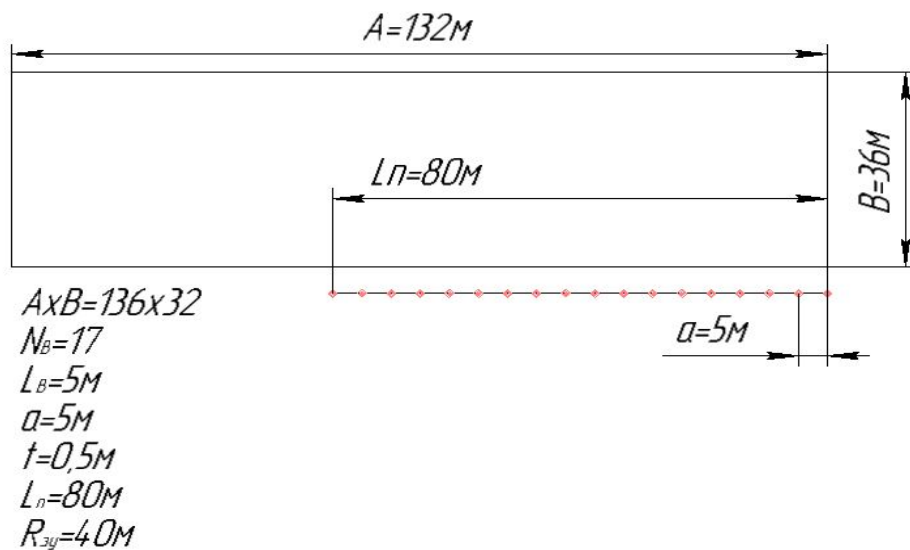
$$N_{\text{ВР}} = \frac{N_{\text{ВР}}}{\eta_B} = \frac{10}{0,59} = 16,9 \sim 17.$$

По таблице  $\eta_B=F(\text{тип ЗУ; вид заземления; } a/L; N_B) = F(\text{рядный; вертикальное; } 1) = 0,59$ .

Так как выбрано  $a/L=1$ , то  $a=5\text{м}$ , а  $L=5\text{м}$ . Минимальное расстояние от объекта  $1\text{м}$ .

$$L_{\text{п}}=a(N_B - 1) = 5(17-1) = 80\text{м}.$$

Размещение заземляющего устройства на плане рисунок 1.



**Рисунок 1 - План заземляющего устройства**

В моём случае лучше всего заземляющее устройство необходимо расположить вдоль стенки участка. Следовательно учитывая длины сторон цеха и минимальное расстояние от стен цеха окончательная длина  $L_{\Pi} = 80 \text{ м}$ .

Определяем уточненные значения сопротивлений вертикальных и горизонтальных электродов:

$$R_B = \frac{r_B}{N_B \eta_B} = \frac{51}{17 * 0,59} = 5,08 \text{ Ом},$$

$$R_{\Gamma} = \frac{0,4}{L_{\Pi} \eta_{\Gamma}} \rho K_{\text{сез.г}} \lg \frac{2 * L_{\Pi}^2}{bt} = \frac{0,4}{50 * 0,62} 100 * 4 \lg \frac{2 * 60^2}{40 * 10^{-3} * 0,5} = 21,05 \text{ Ом}.$$

Определяем фактическое сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{з.у.ф} = \frac{R_B R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}} = \frac{5,08 * 21,05}{5,08 + 21,05} = 4 \text{ Ом},$$

$R_{з.у.ф}(4 \text{ Ом}) \leq R_{з.у}(\text{Ом})$  следовательно ЗУ эффективно.

### **3 РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ КАМЕРЫ СУШИЛЬНОЙ Г01.2219.10.000**

Настоящее руководство по эксплуатации содержит сведения о технических характеристиках, подготовке к работе, устройству и принципу действия изделия, необходимые для его правильной и безопасной эксплуатации, а также правила его монтажа, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Весь обслуживающий персонал должен быть из ремонтной бригады либо специально обучен. Электромонтер по ремонту электрооборудования: группа по электробезопасности не ниже 3 разряда.

Конструкция камеры сушильной обеспечивает возможность эксплуатации во взрыво- и пожароопасных зонах класса В-Ia согласно «Правилам устройства электроустановок» (ПУЭ).

#### **Описание и назначение**

Камера сушильная предназначена для сушки лакокрасочных покрытий. Максимальные размеры подлежащего сушке изделия должны быть на 300 мм меньше внутренних размеров рабочего объема камеры.

Камера сушильная конвекционная с электрообогревом тупиковая работает как самостоятельная единица оборудования и может быть включена в участок по окраске.

Процесс нагрева и сушки изделий в камере осуществляется за счет конвекции горячего воздуха. Нагрев воздуха в камере осуществляется посредством электрокалориферов. Нагревательными элементами электрокалорифера являются ТЭНы.

Для непрерывного измерения температуры в рабочем объеме камеры установлен термопреобразователь сопротивления ДТС - 065.



## **Эксплуатационные ограничения**

*Запрещается* допускать к эксплуатации (работе, техническому обслуживанию и ремонту) неквалифицированный и не ознакомленный с данным руководством по эксплуатации персонал.

*Запрещается* эксплуатировать камеру сушильную с неисправными контрольно-измерительными приборами, приборами аварийной сигнализации и приборами аварийного отключения.

*Запрещается* эксплуатировать камеру сушильную без заземления и с неисправным заземлением.

*Запрещается* эксплуатировать камеру сушильную при неисправной или отключенной вентиляции.

## **Наладка и испытания**

После монтажа, подключения к источникам питания и системе управления, регулирования, произвести отладку кинематических характеристик камеры сушильной.

После окончательной сборки и наладки камеры сушильной провести ее испытания. При проведении испытаний соблюдать общие правила техники безопасности и правила безопасности.

Испытать камеру сушильную без обрабатываемых изделий. Проверить работу исполнительных механизмов камеры в ручном режиме.

Контролировать плавность работы приводов вентиляторов, отсутствие посторонних и нехарактерных шумов в работе двигателей, надёжность срабатывания датчиков.

Проверить работу электрокалориферов.

Испытать камеру сушильную в автоматическом режиме в течение одного технологического цикла сушки изделий. При этом контролировать

отсутствие посторонних и нехарактерных шумов в работе двигателей, надёжность срабатывания датчиков.

Проверить работу электроавтоматики:

проверить предохранительные, блокировочные и защитные устройства не менее чем пятикратным их включением;

проверить функциональные устройства автоматического останова и сигнализации аварийных режимов не менее чем пятикратным имитированием аварийных режимов.

### **Текущий ремонт (общие указания)**

При возникновении неисправностей в период гарантийного срока эксплуатации предприятие - изготовитель (Поставщик) выполняет ремонт в сроки и объёмах, установленных договором.

Для устранения неисправностей камеры сушильной после истечения гарантийного срока эксплуатации необходимо привлекать для этого специально обученный персонал соответствующей квалификации.

Ремонт производить в производственных цехах или службах, имеющих специальное оборудование и оснастку, позволяющую выполнять ремонт в полном объёме и требуемого качества. Вышедшие из строя детали заменять только на детали, соответствующие требованиям конструкторской документации на камеру сушильную предприятия - изготовителя.

При проведении ремонтных работ выполнять требования данного руководства и конструкторской документации на камеру сушильную.

### **Поиск отказов, повреждений и их последствий**

Камера сушильная сложная установка, состоящая из непосредственно камеры, электротехнических установок – блоков вентиляторных и электрокалориферов, а также контрольных приборов и датчиков, управляемых

со шкафа электрического.

В случае возникновения неисправности или сбоя в работе поиск причин производить в следующей последовательности (за исключением случаев визуального обнаружения неисправности или поступления сигналов - сообщений, выдаваемых со шкафа электрического):

а) для электрокалориферов:

- проверить правильность работы управляющей программы;
- проверить параметры настройки и работоспособность датчиков;
- проверить работу ТЭНов.

б) для вентилятора:

- проверить правильность работы управляющей программы;
- проверить параметры настройки и работоспособность датчиков;
- проверить работу электродвигателя;
- проверить работу крыльчатки.

В случае механического повреждения одного из составных элементов камеры сушильной (удар, столкновение с внутрицеховыми движущимися механизмами, попадание посторонних предметов в движущиеся части оборудования камеры) поиск неисправности необходимо начинать с проверки состояния агрегатов или узлов, подвергшихся нештатному воздействию.

### **Устранение отказов, повреждений и их последствий**

После определения причины отказа (сбоя) камеры сушильной и места (узла) неисправности определить порядок его устранения, степень разборки поврежденного агрегата или узла. Разборку поврежденного составного элемента камеры производить только в той степени, какая требуется для устранения неисправности.

При сбое управляющих программ необходимо произвести их отладку. При сбое настройки датчиков - перенастроить датчики. При выходе их из строя

– заменить.

При повреждении двери произвести ремонт или замену поврежденной створки двери.

При повреждении дроссель - клапана произвести его ремонт или замену.

При выходе из строя электрокалорифера с помощью приборов или визуально определить вышедший из строя составной элемент (ТЭНы, электропроводка). Произвести ремонт или замену вышедшего из строя элемента. При проведении работ использовать штатный инструмент электромонтера по ремонту оборудования.

При выходе из строя вентилятора визуально определить вышедший из строя составной элемент (электродвигатель, крыльчатка). Произвести ремонт или замену вышедшего из строя элемента. При проведении работ использовать штатный инструмент слесаря - ремонтника или электромонтера по ремонту оборудования.

### **Указание мер безопасности**

К работе с камерой сушильной допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности, пожарной безопасности .

Работа по сборке оборудования, а также работы по устранению сбоев, отказов, аварий осуществлять при отключенной электроэнергии, полной остановке всех движущихся частей оборудования и температуре частей оборудования в зоне работ не более 45°C!

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В квалификационной выпускной работе на тему «Реконструкция системы электроснабжения малярного участка были решены все поставленные задачи.

Учитывая все потребности участка с применением эргономичного использования используемых площадей, было выбрано необходимое оборудование для выполнения малярных работ.

На основании выбранного оборудования был выполнен расчет электрических нагрузок, для системы электроснабжения выбранного участка.

Произведен расчет и выбор аппаратов защиты и проводников. Выполнен расчет и выбор кабельных линий, шинопроводов и проводов системы электроснабжения участка.

Произведен расчет токов короткого замыкания на линиях электроснабжения малярного участка, на основании которого выполнена проверка правильности выбора аппаратов защиты.

В методической части для цеховых электромонтеров обслуживающих электроустановки было составлено руководство по эксплуатации одной из аналогичных на выбранном малярном участке по эксплуатации сушильной камеры Г01.2219.10.000.

Все поставленные цели и задачи в выпускной квалификационной работе выполнены. Разработанная система электроснабжения малярного участка выполнена с учетом требований действующих норм и правил и соответствует им.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Бороздин И. В. Электроснабжение предприятий. Практикум. – Москва : Дизайн ПРО, 2000. – 214 с.
2. Быстрицкий Г. Ф. Общая энергетика Учебное пособие. – Москва: КноРус, 2013. – 293 с.
3. Григорьев В. В., Киреева Э. А. Справочные материалы по электрооборудованию систем электроснабжения промышленных предприятий. - Москва: Энергоатомаиздат, 2002. -142с.
4. Иванов С. С, Васильев А. С., Пошаговая инструкция по разработке проекта внутреннего электроснабжения. – СПб.: Заневская площадь, 2015. -78с.
5. Кабышев А. В., Обухов С. Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок. Учебное пособие. - Томск: ТПУ, 2006. – 248 с.
6. Карякин Р. Н. Нормы устройства сетей заземления. – Москва: Энергосервис, 2002. – 242 с.
7. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебник для студ. Учреждений высш.образования. - Москва: КноРус, 2013. -368 с.
8. Кабышев А. В., Обухов С. Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения объектов и установок: - Томск: ТПУ, 2006. -248 с.
9. Климова Г. Н. Энергоснабжение на промышленных предприятиях: учебное пособие. Томский политехнический университет.- 2-е изд. - Томск: ТПУ, 2014. – 180 с.
10. Кондратьева М. Н., Баландина М. Н. Экономика и организация производства: учебное пособие.- Ульяновск: УлГТУ, 2013. – 98 с.

11. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов. Учебное пособие для студентов. – Москва: изд-во «Мастерство», 2001. – 320 с.
12. Конюхова Е. А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры): учебное пособие- Москва: РУСАЙНС, 2017. – 160 с.
13. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий. - Москва, 1990 г. - 326 с.
14. Машиностроительный завод имени М. И. Калинина, г. Екатеринбург [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.zik.ru/about/berezhlivoe-proizvodstvo> / (дата обращения 09.11.2017).
15. Мельников М. А. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. – Томск: Изд –во ТПУ, 2000. -144 с.
16. Назмеев Ю. Г. Теплоэнергетические системы и энергобалансы промышленных предприятий. - Москва: МЭИ, 2003. - 408 с.
17. НПО ЛКП // Оборудование для промышленной окраски [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.niilkp.ru/equipment/sushilnye-kamery> / (дата обращения 10.11.2017).
18. Пособие по дипломному проектированию: комплекс учебно-методических материалов / Вагин Г.Я., Соснина Е.Н., Мамонов А.М., Бородин Е.В. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2009. – 172 с.
19. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / утверждены приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://base.consultant.ru> / (дата обращения 07.11.2017).
20. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск, Сиб.унив.изд-во, 2010. – 464 с.

21. Расчет заземляющего устройства: метод. указания к выполнению контрольной работы / сост. Петухов С.В., Бутаков С.В., Радюшин В.В. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2011. - 22 с.
22. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю., Яшков В. Я. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. – Москва: Высш. шк., 2001. – 336 с.
23. Сибикин Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий. Учебник для нач. проф. образования. – Москва: Издательский центр «Академия», 2012. – 213 с.
24. Сибикин Ю.Д.. Электроснабжение промышленных предприятий и установок – Москва: Высш.Шк., 2001. – 336 с.
25. Фролов Ю. А., Шелякин В. П. Основы электроснабжения.- СПб.: Лань, 2012. – 480 с.
26. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. - Москва: МЭИ, 2001. – 472 с.
27. Хавроничев С. В., Рыбкина И. Ю. Расчет токов коротких замыканий и проверка электрооборудования: учеб. Пособие. – Волгоград: ИУНЛ ВолгГТУ, 2012. – 56 с.
28. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - Москва: ФОРУМ: Инфра – М, 2004. -214 с.
29. Шлейников В.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Часть 1 Учебник для учащихся электротехнических специальностей средних спец. учебн. Заведений. – Оренбург: Бибком, 2012. -110 с.