

**ФГБОУ ВПО  
КУРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ им. проф. И.И.Иванова**

**Учебно-методическое пособие по выполнению курсового проекта  
по дисциплине «Электроснабжение»**

## **РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**



**2014**

УДК 631.371.621.311(075)

*Печатается по решению методической  
комиссии инженерного  
факультета КГСХА*

Расчет электроснабжения объектов сельскохозяйственного производства (учебно-методическое пособие по курсовому проектированию по дисциплине «Электроснабжение») / Сост. В.И. Серебровский, Е.Е. Бриндукова, Р.И. Сафронов - Курск: Изд-во Курск. гос. с.-х. ак., 2014 – 58 с.

Изложены методики расчета электрических нагрузок, выбора защитной аппаратуры, элементов распределительной сети, элементов питания и расчета токов короткого замыкания.

Для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по направлению подготовки: 35.03.06 Агроинженерия, профиль «Электрооборудование и электротехнологии».

Рецензенты:

Воскобойников Д.В., кандидат технических наук, доцент КГСХА

Алехин Ю.Г., кандидат технических наук, доцент КГСХА

УДК 631.171:636(072)

© ФГБОУ ВПО «Курская ГСХА», 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

### ВВЕДЕНИЕ

#### РАЗДЕЛ 1 ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ДОКУМЕНТОВ

- 1.1 Общие положения
- 1.2 Построение текстового документа
- 1.3 Оформление текста документа
- 1.4 Оформление иллюстраций и приложений
- 1.5 Построение таблиц
- 1.6 Правила выполнения электрических схем

#### РАЗДЕЛ 2 СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### ВВЕДЕНИЕ

- 2.1 Краткая характеристика производства и электропотребителей участка
- 2.2 План участка. Ведомость установленной мощности
- 2.3 Расчет электрических нагрузок
  - 2.3.1 Расчет силовой нагрузки
  - 2.3.2 Расчет осветительной нагрузки
    - 2.3.2.1 Расчет освещенности точечным методом
    - 2.3.2.2 Расчет освещенности методом коэффициента использования светового потока
    - 2.3.2.3 Расчет мощности, необходимой для питания осветительной сети
  - 2.3.3 Определение потерь мощности в трансформаторе и определение расчетных нагрузок объекта
- 2.4 Выбор защитной аппаратуры
  - 2.4.1 Выбор предохранителей
  - 2.4.2 Выбор автоматических выключателей
  - 2.4.3 Выбор устройства защитного отключения (УЗО)
- 2.5 Выбор элементов распределительной сети
  - 2.5.1 Выбор проводов и кабелей
  - 2.5.2 Выбор шинпровода
  - 2.5.3 Выбор троллейных линий
  - 2.5.4 Выбор шкафа распределительного пункта
- 2.6 Выбор элементов питания
  - 2.6.1 Выбор числа и места расположения трансформаторов.
  - 2.6.2 Выбор вводного аппарата защиты
- 2.7 Расчет токов короткого замыкания
  - 2.7.1 Расчет токов короткого замыкания до 1кВ
  - 2.7.2 Проверка выбора защитной аппаратуры

### ПРИЛОЖЕНИЯ

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

## ВВЕДЕНИЕ

В методическом пособии изложены вопросы выполнения и оформления курсового проекта по дисциплине «Электроснабжение» для специальности 35.03.06 Агроинженерия.

Курсовое проектирование – это завершающий этап в изучении дисциплины «Электроснабжение» и направлено на закрепление и систематизацию полученных студентом знаний, на развитие навыков самостоятельной работы и является формой контроля качества освоения основной профессиональной образовательной программы, разработанной на основании Государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальности.

Выполнение курсовой работы (курсовое проектирование) рассматривается как вид учебной работы по дисциплине и реализуется в пределах времени, отведенного на ее изучение.

Целью проекта является:

- проектирование электроснабжения цеха или участка производственного предприятия по заданной планировке и параметрам электроприемников;
- закрепление практических навыков в комплексных расчетах параметров электрических сетей предприятия;
- умение пользоваться справочной и технической литературой для выбора необходимой аппаратуры или определения ее характеристик, выбора средств защиты от короткого замыкания, перегрузок и перенапряжения.

Исходные данные для проектирования студент получает в «Задании для курсового проектирования по дисциплине «Электроснабжение»», которое содержит тему проекта, технические данные электрооборудования, планировку цеха или участка, а также указывает какие необходимо выполнить расчеты, какую необходимо выбрать аппаратуру.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Все текстовые и графические материалы выполняются в строгом соответствии с требованиями Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), изложенных в государственных стандартах (ГОСТах).

# РАЗДЕЛ 1

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ДОКУМЕНТОВ

### 1.1 Общие положения

Для выполнения текстовых документов используют формы, установленные соответствующими стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.105-95 и 2.106-68).

Текстовый документ выполняется одним из следующих способов:

машинописным с учетом требований (ГОСТ 13.1.002-80), причем шрифт пишущей машинки должен быть четким. А лента только черного цвета;

рукописным – чертежным шрифтом (ГОСТ 2.304-81) высотой не менее 2,5 мм и только черной тушью;

с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004-88);

на магнитных носителях данных (ГОСТ 28388-83).

Вписывать в текстовые документы, изготовленные машинописным способом, отдельные слова, формулы, условные знаки, а также выполнять иллюстрации следует черными чернилами, пастой или тушью.

Расстояния от рамки формы до текста документа показано на рисунке 1.1 .

Опечатки и графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения документа, допускается подчищать или закрашивать белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста (графики) машинописным способом или черными чернилами, пастой, тушью рукописным способом.

### 1.2 Построение текстового документа

Листы документа нумеруют в основной надписи, выполненной по формам 2 и 2а (ГОСТ 2.104-68) и форме 3 (ГОСТ Р21.101-97), представленных на рис. 1.2-4.

Текст документа разделяют на разделы и подразделы. Разделы нумеруются в пределах всего документа арабскими цифрами без точки и записывается с абзацного отступа. Нумерация подразделов производится в пределах каждого раздела и включает в себя номер раздела и порядковый номер подраздела, разделенные точкой. После номера подраздела точка не ставится. Например:

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Расчет силовой нагрузки

2.1.1 Расчет силовой нагрузки распределительного пункта 1

2.1.2 Расчет силовой нагрузки распределительного пункта 2

2.2 Расчет осветительной нагрузки

2.2.1 Расчет рабочего освещения

2.2.2 Расчет аварийного освещения

2.3 Суммарная нагрузка по участку

Внутри пункта или подпунктов могут приведены перечисления, причем перед каждым перечислением ставят тире, а при необходимости ссылки на него в тексте документа – строчную букву со скобкой. При дальнейшей детализации перечислений используют арабские цифры со скобкой, а запись производят с абзацного отступа, например:

- а) условия выбора силового выключателя;
- б) параметры силового выключателя:
  - 1) номинальное напряжение;
  - 2) номинальный ток;
  - 3) коэффициенты уставки;
  - 4) ток отключения.

**Разделы и подразделы** должны иметь заголовки, которые должны четко отражать их содержание.

**Заголовки** пишут с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы в словах заголовков не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

**Расстояние** между заголовком и текстом при выполнении документа машинописным способом должно составлять 3...4 интервала, а при выполнении рукописным способом – 15 мм.

Расстояние между заголовком раздела и подраздела составляет 2 интервала, или 8 мм.

Каждый раздел текстового документа рекомендуется начинать с нового листа (страницы).

**Содержание** документа по разделам помещают на первом (заглавном) листе и включают в общую нумерацию листов данного документа.

Заголовок «СОДЕРЖАНИЕ» пишут по центру листа с прописной буквы. Названия, включенные в содержание, пишут с прописной буквы.

**Список использованной литературы** приводится в конце текста и включают в содержание документа. Оформляется список литературы и ссылка на него по ГОСТ 7.32-91. При оформлении списка литературы используют следующие правила.

1. Фамилия и инициалы автора с точкой. Если работа написана двумя или тремя авторами, их фамилии с инициалами перечисляют через запятую. Если авторов четыре и более, указывают лишь первого, а вместо фамилий остальных пишут «и др.».

2. Название работы пишут без сокращений и кавычек и заканчивают двоеточием, после чего пишут подзаголовок также без кавычек и ставят точку и тире.

3. Выходные данные включают в себя место издания, издательство и год издания.

3.1. Названия мест издания, такие как Москва, Ленинград и Санкт-Петербург, пишут сокращенно – с прописной буквы с точкой (например, М., Л., СПб.), а названия других городов – полностью, после чего ставят двоеточие.

3.2. Название издательства пишут без кавычек с прописной буквы и ставят запятую.

3.3. Том и часть книги обозначают прописной буквой с точкой (Т., Ч.) , а после номера тома или части ставят точку и тире. Выпуск пишут сокращенно с прописной буквы (Вып.) и отделяют точкой и тире.

3.4. Порядковый номер издания указывают арабской цифрой с наращением (Изд. 2-е) и отделяют точкой и тире.

3.5. Год издания указывают просто арабскими цифрами и ставят точку и тире. Затем пишут прописную букву С с точкой и указывают число страниц (например, С.20).

### 1.3 Оформление текста документа

Текст документа должен быть кратким, четким и не допускать различных толкований.

Наименования, употребляемые в тексте документа и на иллюстрациях, должны быть одинаковыми.

Допускается **использование повествовательной формы** для изложения документа, например применяют, указывают, и т.п.

При изложении обязательных требований в тексте используют слова: должен, следует, требуется и т.д.

При оформлении текстовых документов следует применять стандартизированные единицы измерения физических величин.

Наряду с единицами СИ (ГОСТ 8.417-91) при необходимости в скобках указывают единицы ранее применявшихся систем, разрешенных к применению.

В тексте документа числовые значения физических величин при наличии единиц измерения следует писать цифрами, а числовые значения без указания единиц измерения от единицы до девяти пишут словами, например:

1. Выбираем три выключателя, для которых номинальный ток равен 25А.
2. На участке размещены 15 фрезерных станков.

**В формулах** следует применять обозначения величин, установленные стандартами. Пояснения обозначений величин и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не приведены ранее в тексте, дают непосредственно под формулой. И начинают со слова «где» без каких-либо знаков после него.

Формулы, если по тексту на них есть ссылки (за исключением формул в приложении), должны иметь сквозную нумерацию арабскими цифрами в круглых скобках в конце строки. Допускается нумеровать формулы в пределах раздела. В этом случае перед номером формулы указывают номер раздела, разделяя их точкой, например:

Пусковой ток двигателя  $I_p$ , А, вычисляют по формуле

$$I_p = bI_n,$$

где  $I_n$  – номинальный ток двигателя, А.

**Ссылки** в тексте на формулу также дают в круглых скобках, например: «Найдем эту величину по формуле (1)».

Ссылки можно давать на документ в целом или отдельные его разделы и приложения. Ссылки на подразделы, пункты, таблицы и иллюстрации других до-

кументов не допускаются (только на подразделы, пункты, таблицы и иллюстрации данного документа).

**Примечания** приводят в документах, если необходимо дать какие-либо пояснения или указать справочные данные по тексту, к таблицам или графическому материалу.

Примечания не должны содержать требования.

Примечание помещают непосредственно после текстового, графического материала или таблицы, к которым они относятся, начиная с прописной буквы. Одно примечание не нумеруют.

**Сноски** используют, если необходимо пояснить отдельные данные, приведенные в документе.

Поясняющие сноски располагают с абзацного отступа в конце страницы, к тексту которой они относятся, и отделяют от текста короткой тонкой горизонтальной линией, с левой стороны. Сноску к данным в таблице располагают в конце таблице над линией ограничивающей ее снизу.

Знак сноски выполняют арабскими цифрами со скобкой и помещают на уровне верхнего обреза шрифта, например, «... используется марка провода АПВ<sup>2)</sup> ...».

Знак сноски ставят непосредственно после того слова, числа, символа, предложения, которое необходимо пояснить, и перед поясняющим текстом.

Нумеруются сноски отдельно на каждой странице.

Допускается обозначать сноски звездочками (\*), причем применять более четырех звездочек не рекомендуется.

**В тексте документа не допускается:**

применять обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы; применять для обозначения одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу, а также использовать иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;

применять сокращения слов, не установленные соответствующими государственными стандартами;

использовать сокращенные обозначения единиц физических величин, если они применяются без цифр (за исключением таблиц, формул и рисунков).

**В тексте документа не допускается (за исключением таблиц, формул и рисунков):**

использовать математический знак «-» перед отрицательными значениями величин (следует писать слово «минус»);

использовать знак  $\varnothing$  для обозначения диаметра, следует писать слово «диаметр»;

использовать без числовых значений математические знаки  $<$  (меньше),  $>$  (больше),  $\leq$  (меньше или равно),  $\geq$  (больше или равно),  $=$  (равно),  $\neq$  (не равно),  $\%$  (процент), № (номер);

отделять единицу измерения от числового значения физической величины (переносить их на разные строки или страницы);

указывать обозначение стандартов, технических условий и других документов без регистрационных номеров.



## 1.4 Оформление иллюстраций и приложений

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут располагаться либо по тексту (как можно ближе к ссылкам на них в тексте), либо отдельно в конце документа. Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД и ЕСТД.

**Нумерация иллюстраций** (за исключением иллюстраций приложений) выполняется арабскими цифрами сквозной по всему тексту, например, «Рисунок 1». Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации будет состоять из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенной точкой, например, «Рисунок 1.1».

Иллюстрации при необходимости могут иметь название и пояснительные данные (текст). Слово «Рисунок» и его название помещают после пояснительных и располагают следующим образом: «Рисунок 1 – Расчетная схема».

На электрических схемах, которые приводятся в документе, около каждого элемента указывают позиционное обозначение, установленное стандартами, и при необходимости номинальное значение соответствующей величины.

**Приложение** – это материал, дополняющий текст документа, например, графический материал таблицы большого формата, расчеты, описание аппаратуры и приборов и т.д.

В тексте документа на все приложения должны быть даны ссылки. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение располагают, начиная с новой страницы, при этом сверху посередине страницы пишут «Приложение . . .» (с указанием его обозначения).

Приложение должно иметь заголовок, располагаемый отдельной строкой симметрично относительно текста и начинающийся с прописной буквы.

**Приложения обозначают** по порядку прописными буквами русского алфавита, начиная с А (за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь). Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита (за исключением букв I, O).

Приложения должны иметь общую с остальной частью документа сквозную нумерацию страниц.

Все имеющиеся приложения должны быть перечислены в содержании документа с указанием их номеров и заголовков.

## 1.5 Построение таблиц

Таблицы применяют для большей наглядности материала и удобства сравнения показателей. Название таблицы (если оно имеется) должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Название помещают над таблицей. При переносе части таблицы на другую страницу название помещают только над первой ее частью.

Для таблиц (за исключением таблиц приложений) используется сквозная нумерация арабскими цифрами. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы будет состоять из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. Таблицы каждого приложения нумеруются отдельно арабскими цифрами с добавлением перед порядковым номером обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она обозначается «Таблица 1», а в приложении, например, «Таблица А.1»

Оформляют таблицы, как показано на рисунке 1.1.

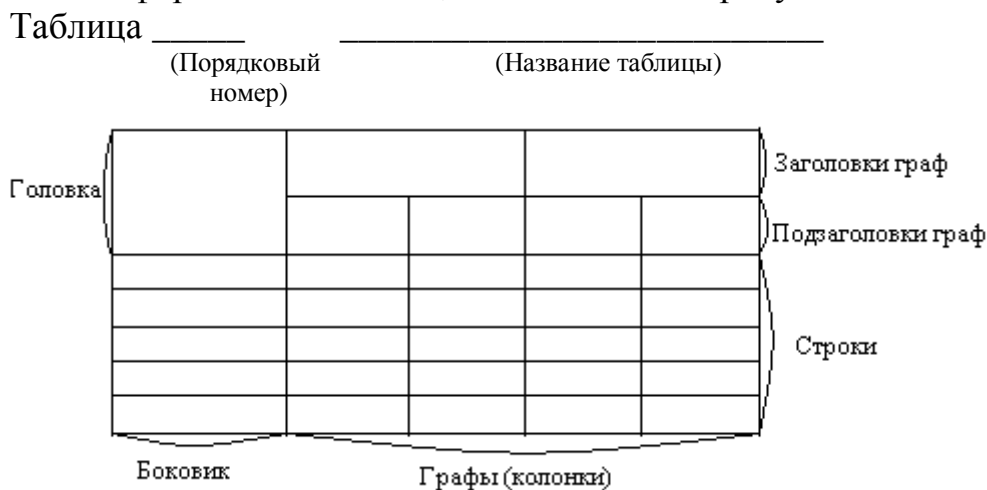


Рисунок 1.1 Оформление таблиц текстового документа.

На все таблицы документа должны быть ссылки в тексте. При ссылке в тексте пишут слово «таблица» с указанием ее номера. Таблицу в зависимости от размера помещают под текстом при первой ссылке на нее или на следующей странице, а при необходимости в приложении к документу. Допускается располагать таблицу вдоль длинной стороны листа документа.

Заголовки граф и строк таблицы следует писать с прописной буквы, а подзаголовки – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф пишут в единственном числе.

Разделять заголовки и подзаголовки боковика и граф диагональными линиями не допускается.

Таблицы с небольшим числом граф допускается делить на части и помещать одну часть рядом с другой на одной странице, повторяя головку, как показано на рисунке 1.2, разделяя части двойной линией.

Таблица ...

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Номинальный ток, А	Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Номинальный ток, А	Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Номинальный ток, А
2	25	5	34	10	50
2,5	26	6	40	16	75
4	30	8	46	25	90

Рисунок 1.2

Графу «Номер по порядку» в таблицу включать не допускается.

Нумерация граф таблиц арабскими цифрами допускается, если в тексте документа имеются ссылки на них, при делении таблицы на части, а также при переносе таблицы на следующую страницу.

Для сокращения текста заголовков и подзаголовков граф наименования величин можно заменять буквенными обозначениями в соответствии с ГОСТ 2.321-84 или другими обозначениями, если они пояснены в тексте.

Если числовые значения величин в графах таблицы выражены в разных единицах физической величины, их обозначения указывают в подзаголовке каждой графы.

## **1.6 Правила выполнения электрических схем**

Правила выполнения электрических схем устанавливают ГОСТ 2.702 – 75 и 2.701-84 (см. подразд. 6.1 и 6.2).

Схема – это графический конструкторский документ, содержащий составные части изделия и связи между ними в виде условных обозначений или изображений.

Схемы, согласно ГОСТу 2.701-84 имеют классификацию и общие требования к их выполнению для изделий всех отраслей промышленности, а также определяет термины, используемые в конструкторской документации.

### **1.6.1 Общие правила к выполнению схем**

Согласно ГОСТу 2.701-84 при выполнении схем необходимо соблюдать следующие правила.

1. Схемы выполняют без соблюдения масштаба и действительного пространственного расположения составных частей изделия.

2. Число схем, определяемое разработчиком, должно быть минимальным, но достаточным для обеспечения его проектирования, изготовления и т.п.

3. При выполнении схем, как правило, используют стандартные условные графические обозначения (УГО). Если для некоторых элементов необходимо использовать нестандартные обозначения, на схеме делают соответствующие пояснения.

4. Число изломов и пересечений линий связи на схеме должно быть минимально возможным, а расстояние между параллельными линиями – не менее 3 мм.

5. На схемах допускается помещать необходимые технические данные: либо около соответствующих графических обозначений, либо на свободном поле, как правило, над основной надписью.

6. Разрешается объединенную или комбинированную схему выполнять на нескольких листах.

### **1.6.2 Построение схемы**

При выполнении схем действительное пространственное расположение составных частей не учитывается.

Элементы, совместно выполняющие определенные функции, должны быть расположены соответственно развитию процесса слева направо.

Расположение элементов внутри функциональных групп должно обеспечивать наиболее простую конфигурацию с минимальным количеством изломов и пересечений линий связи.

### 1.6.3 Линии

Толщина линий выбирается в зависимости от формата и размеров условных графических обозначений.

Линии условных графических обозначений и линии связи должны быть одной толщины. Допускается для выделения наиболее важных цепей использование утолщенных и толстых линий.

Длину штрихов в штриховых и штрихпунктирных линиях выбирают в зависимости от размеров схемы, однако штрихи, а также промежутки между штрихами должны быть приблизительно одинаковыми в пределах всех конструкторских документов данного изделия.

Допускается обрывать линии связи, если они затрудняют чтение схемы, заканчивая их стрелкам. При этом около стрелок указывают место подключения и необходимые характеристики цепи (полярность, потенциал, и т.п.).

При наличии нескольких одинаковых элементов (устройств, функциональных групп), соединенных параллельно, разрешается показывать только один из них с указанием их общего числа цифровым индексом или графическим ответвителем (рис1.3,а).

При последовательном соединении трех и более одинаковых элементов рекомендуется изображать на схеме только первый и последний из них, соединенные штриховой линией взаимосвязи с указанием над ней общего числа этих элементов (рис1.3,б).

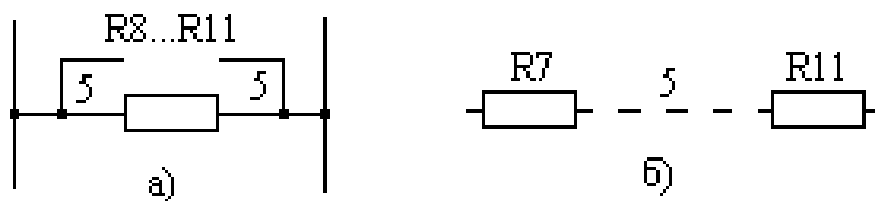


Рис1.3

### 1.6.4 Классификация и обозначение схем

В зависимости от состава элементов и связей между ними различают следующие виды схем, обозначаемые русскими прописными буквами: электрические – Э, гидравлические – Г, пневматические – П, газовые (кроме пневматических) – Х, кинематические – К, вакуумные – В, оптические – Л, энергетические – Р, комбинированные – С, деления – Е.

По основному назначению различают следующие типы схем, обозначаемые арабскими цифрами: структурные – 1, функциональные – 2, принципиальные (полные) – 3, соединений (монтажные) – 4, подключения – 5, общие – 6, расположения – 7, объединенные – 0.

**Структурная электрическая схема.** Функциональные части изделия изображают в виде прямоугольников или принятых условных графических обозначений, причем при использовании прямоугольников наименование, обозначение и тип элементов рекомендуется вписывать внутрь этих прямоугольников. На линиях связи допускается обозначать направление хода процесса в изделии

Допускается размещение на схеме поясняющих надписей, диаграмм, графиков и таблиц, разъясняющих последовательность процессов во времени и требуемые параметры (ток, напряжение, форму и т.п.) в характерных точках (рис 1.4,а).

При большом количестве функциональных частей допускается нумеровать их справа от изображения или над ним, как правило, сверху вниз в направлении слева направо (рис 1.4,б).

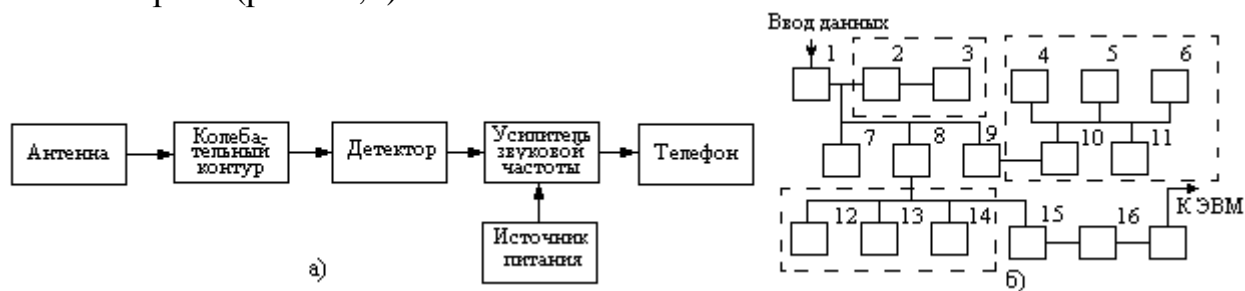


Рис. 1.4

**Функциональная электрическая схема.** Для сложного изделия разрабатывают несколько функциональных схем, поясняющих происходящие процессы при различных предусмотренных режимах работы. Графическое построение схемы должно наглядно отражать последовательность иллюстрируемых функциональных процессов. Действительное расположение в изделии элементов и устройств может не учитываться

На функциональной схеме указывают:

для функциональных групп - обозначения, присвоенные им на принципиальной схеме, или наименование;

для каждого устройства и элемента, изображенного в виде условного графического обозначения – буквенно-цифровое позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, и его тип;

для каждого устройства, изображенного прямоугольником, - позиционное обозначение, присвоенное ему на принципиальной схеме, его наименование и тип или обозначение документа, на основании которого это устройство применено.

**Принципиальная электрическая схема** является наиболее полной электрической схемой, на которой изображают все электрические элементы и устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все связи между ними, а также элементы подключения (разъемы, контакты), которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

На схеме также можно изображать соединительные и монтажные элементы, устанавливаемые в изделии по конструктивным соображениям.

Все элементы и устройства должны быть выполнены в виде условных графических обозначений, установленных стандартами ЕСКД (ГОСТ 2.709-89) и УГО (условно графические обозначения).

## РАЗДЕЛ 2

# СОДЕРЖАНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### ВВЕДЕНИЕ

Основой экономики всех индустриальных стран мира является электроэнергетика. Интенсивное развитие промышленности определено не только выработкой электроэнергии электростанциями, но развитием структуры энергосистемы.

В этом разделе необходимо кратко осветить важность развития электроэнергетики для промышленных или гражданских предприятий (в зависимости от тематики курсового проекта) в рамках развития экономики страны.

Во введении должны быть освещены цели и задачи курсового проектирования.

Целью курсового проектирования является:

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Определить нагрузку участка, цеха по заданным параметрам (планировке оборудования и его характеристикам).
2. Выбрать элементы распределительной сети (провод, кабель).
3. Выбрать защитную аппаратуру для электропотребителей и главных элементов распределительной сети.
4. Произвести расчет токов короткого замыкания.
5. Рассчитать внешний контур заземления.

Объем материала, изложенного во введении, должен быть не менее одной страницы.

#### **2.1 Краткая характеристика производства и электропотребителей участка**

В данном разделе необходимо изложить информацию о назначении производства, о выпускаемой продукции данным участком или цехом, а также технологическом процессе и выполняемых работах.

Дать характеристику электропотребителям и их назначение в технологическом процессе или в выполняемых работах.

#### **2.2 План участка. Ведомость установленной мощности**

План участка или цеха представляется в графической части курсового проекта. В подразделе необходимо привести «Ведомость установленных мощностей электроприемников» (см. Приложение А, Таблица 1).

## 2.3 Расчет электрических нагрузок

При разработке проекта электроснабжения предприятия необходимо определить максимальную электрическую мощность, передачу которой требуется обеспечить для нормальной работы объекта. В зависимости от этого значения, называемого *расчетной нагрузкой*, выбирается источник электроснабжения и все оборудование электрической сети, обеспечивающее передачу требуемой мощности: линии, трансформаторы, распределительные устройства. Неточность определения расчетной нагрузки ведет к перерасходу проводникового материала или ухудшению надежности электроснабжения.

Расчетная нагрузка состоит из силовой и осветительной нагрузки.

Для определения расчетной силовой нагрузки представлен метод упорядоченных диаграмм.

Для определения осветительной нагрузки изложены методы: точечного расчета освещенности; коэффициента использования светового потока.

Результаты расчетов сводятся в «Сводную ведомость расчетных нагрузок» (см. Приложение А, Таблица А.2).

### 2.3.1 Расчет силовых электрических нагрузок

Для расчета силовой нагрузки необходимо:

- по заданной планировке определить количество расчетных узлов электроснабжения;
- нагрузку электроприемников, работающих в повторно-кратковременном режиме (ПКР), привести к длительному режиму (ДР);
- мощность однофазных электроприемников привести к условной трехфазной;
- рассчитать нагрузки по распределительным пунктам и заполнить «Сводную ведомость расчетных нагрузок».

**Для определения количества расчетных узлов** электроснабжения необходимо разбить электроприемники на группы по территориальному признаку, т.е. определить количество распределительных шкафов и присоединенных в них электроприемников.

Распределительные шкафы должны быть размещены вдоль стен, а при необходимости около опорных колонн, но не загромождать проход к оборудованию и не на проезжей части.

Количество присоединенных трехфазных электроприемников к шкафам не должно превышать 12 штук, а при наличии в расчетной группе однофазных электроприемников – 8, что обусловлено конструктивными особенностями шкафов.

Расстояние от электроприемника до распределительного шкафа должно быть минимальным.

Пример распределения электроприемников по расчетным группам приведен на рисунке 2.1

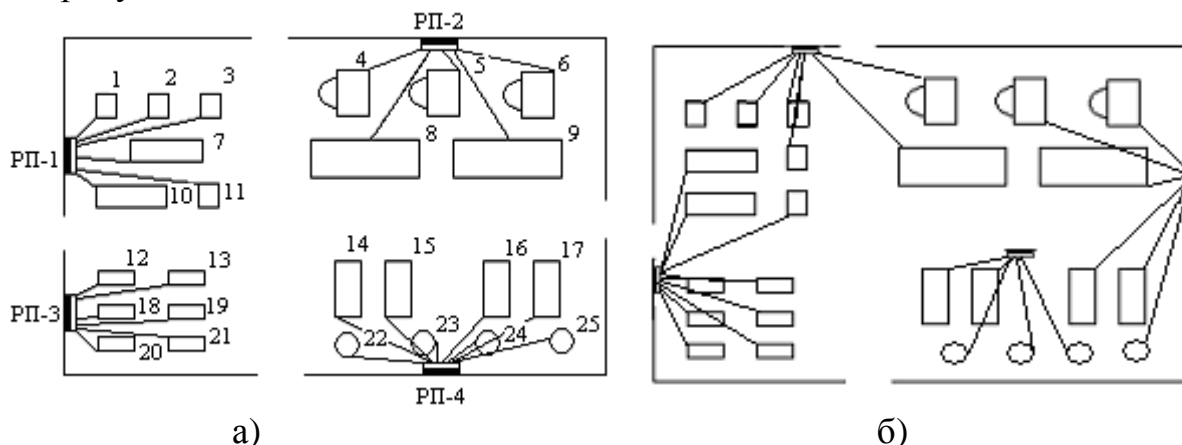


Рис. 2.1 а) правильное распределение; б) неправильное распределение электроприемников по расчетным группам.

Для двигателей повторно-кратковременного режима номинальная мощность приводится к длительному режиму по формуле

$$P_{ном} = P_{пв} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}}, \quad (2.1)$$

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность электродвигателя при длительном режиме, Вт;  $P_{пв}$  – мощность электродвигателя при повторно-кратковременном режиме, Вт;  $ПВ$  – коэффициент, характеризующий продолжительность включения электродвигателя в повторно-кратковременном режиме, %.

**Однофазные электроприемники**, включенные на фазные или линейные напряжения, должны быть распределены по фазам и учитываются как эквивалентная трехфазная мощность.

Для определения эквивалентной расчетной трехфазной мощности - распределяют однофазные электроприемники на фазные или линейные напряжения с минимальной неравномерностью (см. рис. 2.2);

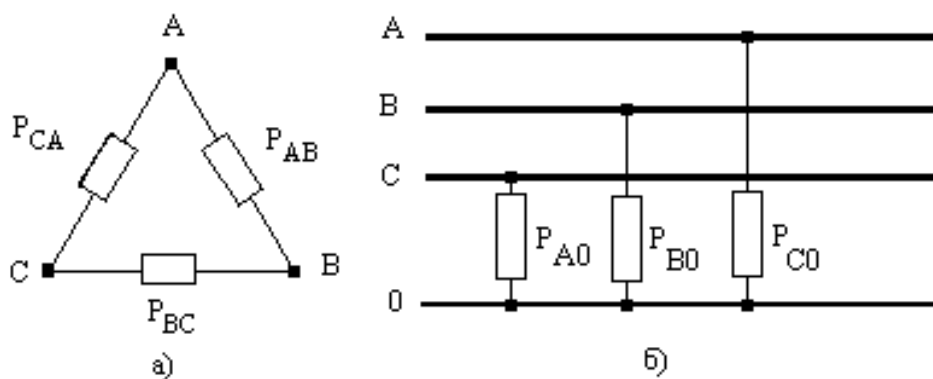


Рис 2.2 Распределение однофазных электроприемников при включении на а) линейное б) фазное напряжение.



- определяем наиболее загруженную фазу.

При включении электроприемников на линейное напряжение наиболее загруженная фаза определяется по формулам

$$\begin{aligned} P^{(1)}_A &= \frac{P_{AB} + P_{CA}}{2}; \\ P^{(1)}_B &= \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}; \\ P^{(1)}_C &= \frac{P_{CB} + P_{CA}}{2}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где  $P^{(1)}_A, P^{(1)}_B, P^{(1)}_C$  – однофазная нагрузка на фазы А, В, С соответственно, Вт.

- условная трехфазная номинальная мощность  $P^{(3)}_{ном}$  определяется по формуле

$$P^{(3)}_{ном} = 3P^{(1)}_{max}, \quad (2.3)$$

**Для определения нагрузки расчетных узлов электроснабжения** необходимо заполнить колонки 1, 2, 3, 4 в таблице 2 (Приложения А).

В колонке 1 записываем номер(а) электроприемника(ов) присвоенные на планировке. Во 2-ой - наименование электроприемника, в 3-ей - номинальную мощность электроприемника  $P_{ном}$ , кВт, причем для однофазных и работающих в режиме ПКР электроприемников записываем данные в виде дроби: в числителе исходную мощность, т.е.  $P_{пв}$  и  $P^{(1)}$ , в знаменателе номинальную мощность электроприемника  $P_{ном}$ , кВт. В колонках 4, 6, 7, 8 записываем параметры электроприемников, где  $n$  – количество электроприемников данного наименования,  $K_{и}$  – коэффициент использования,  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности, а

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi}.$$

В колонке 5 записываем общую мощность, которая находится по формуле

$$\sum P_{ном} = n * P_{ном} \quad (2.4)$$

Определяем среднюю активную и реактивную мощность за смену  $P_{см}$ , кВт;  $Q_{см}$ , кВАр соответственно по формулам

$$\begin{aligned} P_{см} &= K_{и} \cdot \sum P_{ном}; \\ Q_{см} &= P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Результаты заносятся в колонки 10, 11.

В строке «Всего» заполняем колонки 4, 5, 10, 11 суммированием соответствующих параметров и находим  $\sum n$ ,  $\sum P_{ном.гр.}$ ,  $\sum P_{см}$ ,  $\sum Q_{см}$ .

Полная мощность за смену для расчетной группы, кВА,

$$S_{см} = \sqrt{P^2_{см} + Q^2_{см}}. \quad (2.6)$$

Параметры  $K_{и.гр.}$ ,  $\cos\varphi_{гр.}$ ,  $\operatorname{tg}\varphi_{гр.}$  для расчетного узла определяется по формулам

$$K_{и.гр.} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном.гр}}; \quad \cos\varphi_{гр.} = \frac{\sum P_{см}}{S_{см}}; \quad \operatorname{tg}\varphi_{гр.} = \frac{\sum Q_{см}}{\sum P_{см}} \quad (2.7)$$

Параметр  $m$ , определяющий разброс мощностей для расчетного узла, определяется отношением наибольшей и наименьшей номинальных мощностей в группе

$$m = \frac{P_{ном.макс}}{P_{ном.мин}} \quad (2.8)$$

Образец заполнения для одного расчетного узла (колонки 1-12) представлен на рис. 2.3

Таблица 2 - Расчет электрической нагрузки											
№ по плану	Наименование узла питания и электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка средняя за смену		
		Одного ЭП P <sub>ном</sub> , кВт	n	Общая ΣP <sub>ном</sub> , кВт	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ	m	P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>см</sub> , кВАр	S <sub>см</sub> , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
РП-1											
1	Сварочные преобразователи	12	1	12	0,2	0,4	2,29		2,4	5,496	
2	Сварочный полуавтомат	10	1	30	0,2	0,4	2,29		6	13,74	
3,4	Кондиционер	16	2	32	0,7	0,8	0,75		22,4	16,8	
18,20	Электродвигатели	48	2	96	0,75	0,87	0,56		72	40,32	
	Всего		6	160	0,643				102,8	76,36	128,05

Рис. 2.3

Эффективное число электроприемников  $n_3$  зависит от параметров  $n$ ,  $K_{и.гр.}$ ,  $m$ . Упрощенные варианты определения  $n_3$  представлены в таблице 2.1

Таблица 2.1

n	K <sub>и.гр.</sub>	m	Формула для определения $n_3$
<5	≥0,2	≥3	$n_3 = \frac{\left( \sum_1^n P_{ном.гр} \right)^2}{\sum_1^n P_{ном}^2}$
≥5	≥0,2	<3	$n_3 = n$
≥5	≥0,2	≥3	$n_3 = \frac{2 \sum P_{ном.гр}}{P_{ном.макс}}$
≥5	≤0,2	≥3	$n_3 = \frac{2 \sum P_{ном.гр}}{P_{ном.макс}}$

\*) В тех случаях когда при расчете получается  $n_3 > n$ , следует принимать  $n_3 = n$ .

\*\*) Если  $n > 3$ , а  $n_3 < 4$  расчетная максимальная нагрузка рассчитывается  $P_m = k_3 \cdot \sum P_{ном.гр}$ , где  $k_3 = 0,9$  – коэффициент загрузки для длительного режима.

Определяем коэффициенты максимума для активной и реактивной мощности  $K_m$ ,  $K_m'$  (колонки 14,15).

Для активной мощности коэффициент максимума  $K_m$  зависит от эффективного числа электроприемников  $n$ , и коэффициента использования для расчетного узла  $K_{игр}$  и определяется по таблице 2.2

Таблица 2.2 – Зависимость коэффициента максимума от  $n$ , и  $K_{игр}$ .

$n_{\Sigma}$	$K_{игр}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03

Для реактивной мощности коэффициенты максимума  $K_m'$  зависит от числа электроприемников в расчетном узле  $\sum n$ . В соответствии с практикой проектирования принимается  $K_m'=1,1$  при  $\sum n \leq 10$  и  $K_m'=1$  при  $\sum n > 10$ .

Определяем максимальную расчетную нагрузку (активную,  $P_m$ , кВт, реактивную,  $Q_m$ , кВАр, полную,  $S_m$ , кВА, мощности) и максимальный ток,  $I_m$ , А, результат заносится в колонки 16-19.

$$\begin{aligned}
 P_m &= K_m \cdot P_{см}, \\
 Q_m &= K_m' \cdot Q_{см}, \\
 S_m &= \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}, \\
 I_m &= \frac{S_m}{\sqrt{3} \cdot U_{л}},
 \end{aligned}
 \tag{2.9}$$

где  $U_{л}$  – линейное напряжение, кВ.

Расчет выполняется для всех расчетных узлов объекта. Расчетная нагрузка и максимальный ток всех узлов суммируются и заносятся в строку «Всего на НН» в колонки 16-19 таблицы 2 и представляют собой расчетную силовую нагрузку на стороне низкого напряжения.

### 2.3.2 Расчет осветительной нагрузки

В настоящем разделе необходимо выполнить расчет освещения объекта. Конечной целью расчета освещения является:  
 - выбор осветительных приборов;

- определение количества светильников и их расположение (расстояние между светильниками, высота подвеса).

ПУЭ предусматривает три системы освещения (общее, местное и комбинированное) и два вида освещения (рабочее и аварийное).

При общем освещении освещенность рабочих поверхностей и всего помещения обеспечивается светильниками, размещенными равномерно по всей площади помещения или локализовано путем группировки их в местах, требующих повышенной освещенности.

При местном освещении требуемую освещенность создают только на рабочих поверхностях. Светильники местного освещения чаще устанавливают в непосредственной близости к рабочему месту. Местное освещение рассчитывается, как правило, на напряжение 12 и 40 В.

При комбинированном освещении необходимую освещенность рабочих поверхностей обеспечивают светильниками общего и местного освещения. Их применяют для особо точных работ.

*Применение только одного местного освещения ПУЭ запрещают.*

Рабочее освещение создает требуемую по нормам освещенность, обеспечивая этим необходимые условия работы при нормальной эксплуатации.

Аварийное освещение должно давать возможность в одних помещениях продолжать работу при сниженной освещенности (аварийное освещение для продолжения работы), в других – безопасно выйти людям из помещения (эвакуационное аварийное освещение) при отключении рабочего освещения.

Аварийное освещение для продолжения работы предусматривают для помещений и на открытых площадках, где отсутствие света может стать причиной взрыва, пожара, или привести к длительному нарушению технологического процесса или вызвать опасность травматизма в местах большого скопления людей.

Наименьшая допустимая освещенность рабочих поверхностей, требующих обслуживания при аварийном освещении должна составлять не менее 5% освещенности, нормируемой для рабочего освещения при системе общего освещения, но не менее 2 лк.

Необходимо учитывать, что для производственных помещений, освещения взрывоопасных помещений, наружного освещения выбирают светильники определенного типа.

**Для производственных помещений применяют светильники:**

- с лампами накаливания – НСПОЗХ100, НСП-22(УП24), УПД, ППД-100, ППД-200, ППД-500, ГСП15, Н4Т14, НСП-19;
- с лампами ДРЛ – СД2ДРЛ, С34ДРЛ, С35ДРЛ, УПДДРЛ, РСР07, РСР-08, РСР-10, РСР11-001, РСР-002, РСР05, РСР005, РСР15, ГСП18, СЗЛ;
- с люминесцентными лампами – ПВЛМ, ЛОУП, ЛД, ЛСП02, ЛСП04, ЛСП06, ПВЛП, ЛСП13, ЛСП18, ЛВП02.

**Примеры схем питания осветительных приборов в производственных помещениях представлены на рисунке 2.3.**

При расчетах освещения используют методы: точечный и коэффициента использования светового потока.

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей и при отсутствии крупных затеняющих предметов. Точечный метод служит для расчета освещения как угодно расположенных поверхностей и при любом распределении освещенности.

### 2.3.2.1 Расчет освещенности точечным методом

1. Выбрать тип светильника и лампы в соответствии с освещаемым объектом (Таблицы В.1 - В.4 Приложения В).

2. Определяем высоту подвеса светильников  $h$ , расстояние между рядами светильников  $a$ , принять расстояние между светильниками в ряду  $\ell$ .

Высота установки светильников  $h$  на территории промышленных предприятий выбирается по условиям слепящего действия (таблица 2.3).

Правилами безопасности устанавливается расстояние между светильниками  $\ell = 3 \dots 5$  м.

Таблица 2.3 - Высота установки светильников  $h$  на территории промышленных предприятий выбирается по условиям слепящего действия

Суммарный световой поток ламп, лм	Наименьшая высота установки светильников, м, с лампами		
	накаливания натриевыми	ДРЛ ДРИ	люминесцентными
5000	6	6	6
5000 – 10000	6	6	6,5
10000 - 20000	6,5	7	7,5
20000 - 30000	7,5	8,5	9
30000 - 40000	9	10	10,5
40000	10,5	11	12

3. Определяем световой поток  $F_{\text{л}}$  для выбранного светильника и лампы по таблицам В.1 - В.4 Приложения В.

4. Определяем углы наклона лучей от светильников к точкам наибольшей  $\beta_1$  и наименьшей  $\beta_2$  освещенности по формулам

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{a}{h}; \quad \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{\sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{\ell}{2}\right)^2}}{h}, \quad (2.10)$$

где  $a$  – расстояние между рядами светильников, м;

$\ell$  – расстояние между светильниками в ряду, м;

$h$  – высота подвеса светильника, м;

$\beta_1, \beta_2$  – углы наклона луча, см. рисунок 2.4.

Для определения градусной меры углов  $\beta_1, \beta_2$  можно использовать таблицу В.5 Приложения В.

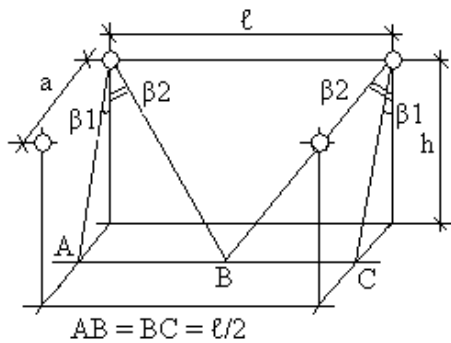


Рисунок 2.4

5. По светотехнической характеристике выбранного светильника определяем условную силу света  $I_{\beta_1}$ ,  $I_{\beta_2}$ , кд, по таблицам В.6 - В.9 Приложения В.

6. Определяем горизонтальную освещенность в точках наибольшей и наименьшей освещенности

$$E_{\max} = \frac{F \cdot I_{\beta_1} \cdot \cos^3 \beta_1}{1000 \cdot h \cdot K_3}; \quad (2.11)$$

$$E_{\min} = \frac{F \cdot I_{\beta_2} \cdot \cos^3 \beta_2}{1000 \cdot h \cdot K_3};$$

где  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$  – сила света светильника, соответствующая углам  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , кд;

$I_{\beta_1}$ ,  $I_{\beta_2}$  - условная сила света для светильника, кд, см. п.5;

$h$  – высота подвеса светильника, м;

$\beta_1$ ,  $\beta_2$  – углы наклона луча, см. рисунок 2.4.

$K_3$  – коэффициент запаса, определяемый по таблице В.10 Приложения В.

7. Определяем суммарную освещенность в точке наименьшей освещенности (в точке В, см. рисунок 2.4.)  $E_{\text{общ}}$ , которая должна быть меньше допустимой минимальной освещенности помещения  $E_p$ , определяемой по таблице В.11 Приложения В.

$$E_{\text{общ}} = 2 E_{\min} \geq E_p. \quad (2.12)$$

где  $E_{\text{общ}}$  – суммарная освещенность в точке наименьшей освещенности, кд;

$E_{\min}$  - минимальная горизонтальная освещенность в точке наименьшей освещенности, кд;

$E_p$  – минимальная освещенность помещения принятая в соответствии с нормами освещенности, кд;

8. Определяем общее количество светильников.

Количество светильников в ряду определяем по формуле

$$n = \frac{L - \ell}{\ell} \quad (2.13)$$

где  $n$  – количество светильников в ряду, шт;

$L$  – длина освещаемого объекта, м;

$\ell$  - расстояние между светильниками в ряду, м;

### 2.3.2.2 Расчет освещенности методом коэффициента использования светового потока

1. Определяем площадь освещаемого помещения по формуле

$$S = a \cdot b \quad (2.14)$$

где  $S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;

$a, b$  – длина, ширина помещения, м.

2. Выбрать тип светильника в соответствии с освещаемым объектом (Таблицы В.1 - В.4 Приложения В).

3. Равномерно разместить светильники по площади помещения. При размещении светильников необходимо придерживаться следующих принципов:

- расстояние между светильниками в ряду должно быть 4-6 м;
- межрядное расстояние между светильниками должно быть 6-8 м;
- минимальное расстояние от стены до светильника – 2 м;
- на чертеже должны быть указаны расстояния между светильниками и расстояние крайних светильников от стен помещения;
- допускается на чертеже не изображать все светильники в ряду, а только первые и последние два из них, соединенные штриховой линией взаимосвязи с указанием над ней общего числа светильников.

4. Исходя из чертежа расположения светильников определить их количество  $n$ , шт;

5. Определяем показатель помещения по формуле

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}, \quad (2.15)$$

где  $i$  – показатель помещения;

$a, b$  – длина, ширина помещения, м.

$h$  - высота подвеса светильников, выбирается по условиям слепящего действия (см. таблица 2.3).

6. Определяем коэффициенты отражения стен  $R_c$ , %, потолка  $R_p$ , %, рабочей поверхности  $R_r$ , %, по таблице В.12, приложения В.

7. Определяем для принятого светильника значение коэффициента использования светового потока  $K_{ис}$ , % по таблице В.13, приложения В.

8. Определяем минимальную допустимую освещенность  $E_p$ , определяемую по таблице В.11 Приложения В.

9. Определяем коэффициент запаса  $K_z$  по таблице В.10, приложения В.

10. Определяем световой поток от светильников по формуле

$$F = \frac{1,15 \cdot E_p \cdot S \cdot K_z}{n \cdot K_{ис}} \quad (2.16)$$

где  $F$  - световой поток от светильников, лм;

$E_p$  - минимальная допустимая освещенность помещения, лк;

$S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;

$K_z$  - коэффициент запаса;

$n$  – количество светильников, шт;

$K_{ис}$  - коэффициент использования светового потока, выраженный не в процентах, а в долях единицы.

11. По таблицам В.6-9, приложения В определяем лампу со световым потоком  $F_{л}$ , лм. Поток лампы не должен отличаться от расчетного значения потока  $F$  более чем на  $-10...+20\%$ . Если невозможно подобрать лампу, поток которой отличался от расчетного в указанных пределах, необходимо изменить количество ламп и произвести перерасчет.

12. Определяем фактическую освещенность помещения от принятых ламп по формуле

$$E_{ф} = \frac{F_{л} \cdot n \cdot K_{ис}}{1,15 \cdot S \cdot K_{з}} \quad (2.17)$$

где  $F_{л}$  – световой поток выбранной лампы, лм;

$n$  – количество светильников, шт;

$K_{ис}$  - коэффициент использования светового потока, выраженный не в процентах, а в долях единицы;

$S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;

$K_{з}$  - коэффициент запаса.

13. Полученное значение  $E_{ф}$  должно быть больше чем минимальная допустимая освещенность помещения  $E_{п.лк}$

### 2.3.2.3 Расчет мощности, необходимой для питания осветительной сети

1. Определяем значения коэффициента мощности светильника  $\cos\varphi_{св}$ , коэффициент полезного действия светильника  $\eta_{св}$  по таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Значения коэффициента мощности светильников  $\cos\varphi_{св}$ , коэффициент полезного действия светильников  $\eta_{св}$  для различных типов ламп

Параметр	Лампы накаливания	Лампы ДРЛ	Лампы люминесцентные	Лампы ДКсТ
$\cos\varphi_{св}$	1,0	0,57	0,9...0,95	0,95
$\eta_{св}$	1,0	0,82...0,87	0,83	0,8...0,98

2. Определяем мощность, необходимую для питания осветительной сети по формуле

$$S_{ос} = \frac{n \cdot P_{л} \cdot 10^{-3}}{0,95 \cdot \cos\varphi_{св} \cdot \eta_{св}}, \quad (2.18)$$

Где  $S_{ос}$  - мощность, необходимая для питания осветительной сети,  $kB \cdot A$ ;

$n$  – количество светильников, шт;

$P_{л}$  – мощность выбранного светильника, кВт;

$\cos\varphi_{св}$  - коэффициента мощности светильников;

$\eta_{св}$  - коэффициент полезного действия светильников.



### 2.3.3 Определение потерь мощности в трансформаторе и определение расчетных нагрузок объекта

Потери мощности в трансформаторах складываются из потерь активной мощности  $\Delta P_T$ , и потерь реактивной мощности  $\Delta Q_T$ .

**Потери активной мощности** складываются в свою очередь из потерь на нагревание обмоток трансформатора, зависящих от тока нагрузки, и потерь на нагревание стали, не зависящих от тока нагрузки.

**Потери реактивной мощности** состоят из потерь, вызванных рассеянием магнитного потока в трансформаторе, зависящих от квадрата тока нагрузки, и потерь на намагничивание трансформатора, определяемых током холостого хода и не зависящих от тока нагрузки.

Числовые значения потерь активной, реактивной и полной мощности и соответствующего им тока определяют по формулам

$$\begin{aligned}\Delta P_T &= (0,02 \dots 0,025) S_M; \\ \Delta Q_T &= (0,105 \dots 0,125) S_M. \\ \Delta S_T &= \sqrt{\Delta P_T^2 + Q_T^2}, \\ \Delta I_T &= \frac{\Delta S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}\end{aligned}\quad (2.19)$$

Результаты расчета заносятся в строку «Потери в трансформаторе» в колонки 16-19.

**Итог расчета нагрузки объекта** получают суммированием максимальной силовой нагрузки, нагрузки осветительной сети и потерь в трансформаторах, и заносятся в строку «Всего на ВН» в колонки 16-19.

## 2.4 Выбор защитной аппаратуры

В качестве низковольтной аппаратуры используют: плавкие предохранители, автоматические выключатели с расцепителями, реле, магнитные пускатели, контакторы и др..

В сетях и установках напряжением до 1кВ возможны ненормальные режимы, связанные с увеличением силы тока. К увеличению силы тока приводят перегрузки, пуск и самозапуск электродвигателей, короткое замыкание.

Защитные аппараты устанавливаются в начале каждой ветви сети, т.е. на каждой линии, отходящей от шин подстанции, силовых пунктах, на каждом отвлении от линий, на трансформаторных вводах.

Согласно ПУЭ, сети разделяют на защищаемые от перегрузки и токов короткого замыкания и защищаемые от токов короткого замыкания.

**Защите от перегрузки подлежат сети:**

внутри помещений, проложенные открыто незащищенными изолированными проводниками и с горючей оболочкой;

внутри помещений, выполненные защищенными проводниками в трубах, в несгораемых строительных конструкциях и т.п.;

осветительные сети общественных и торговых помещений, служебно-бытовых помещений промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников, а также в пожароопасных производственных помещениях;

силовые – в промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, когда по условиям технологического процесса или режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей;

сети всех видов во взрывоопасных наружных установках независимо от условия технологического процесса или режима работы сети.

Все остальные сети не требуют защиты от перегрузки и защищаются от токов короткого замыкания.

В качестве аппаратов управления и сигнализации используют реле различного типа, а коммутирующих аппаратов – выключатели, разъединители, контакторы, магнитные пускатели.

### 2.4.1 Выбор предохранителей

Предохранители применяют в основном для защиты от токов короткого замыкания.

К наиболее распространенным предохранителям, применяемым для защиты электроустановок напряжением до 1000 В, относятся ПР-2 – предохранитель разборный, НПН – насыпной предохранитель неразборный, ПН-2 – предохранитель насыпной разборный.

По конструктивному выполнению предохранители (табл.2.5) можно разделить на две группы: 1) с наполнителем (например, ПН-2, НПН, ПП-17, ПП-18), наполненные мелкозернистым кварцевым песком; 2) без наполнителя (например, ПР-2).

В предохранителях без наполнителя с закрытыми разборными патронами из фибры дуга гасится газами, образующимися при разложении фибры во время горения дуги. Электрическая дуга при перегорании плавкой вставки предохранителей с наполнителем из кварцевого песка разветвляется между его зернами и охлаждается вследствие интенсивной отдачи теплоты наполнителю, что значительно сокращает время ее горения.

**Предохранители выбирают по условиям:**

а) номинальный ток предохранителя,  $I_{пр}$ , А, должен быть не меньше силы тока защищаемой цепи в рабочем режиме  $I_{ном}$ , т.е.

$$I_{пр} \geq I_{ном}, \quad (2. 20 ,а)$$

б) плавкая вставка не должна перегорать во время пуска самого крупного электродвигателя, подключенного к данной цепи, уменьшенного в  $K_n$  раз:

$$I_B \geq \frac{I_{мгн}^n}{K_n}. \quad (2. 20 ,б)$$

$I_{ном}$  – номинальный ток электроприемника, А, определяемый по формуле

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_{л}Cos\varphi} \quad (2.21,а)$$

А для двигателей работающих в повторно - кратковременном режиме

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}}}{\sqrt{3}U_{лл}Cos\varphi} \quad (2.21,б)$$

$I_{в}$  – номинальный ток плавкой вставки, А;

$I_{мгн}^{II}$  – сила мгновенного максимального тока линии, А, ПВ - коэффициент кратковременности, %.

для одного электроприемника сила мгновенного максимального тока равна пусковому току электроприемника  $I_{пуск}$ , А;

$$I_{мгн}^{II} = (5...7) \cdot I_{ном} = I_{пуск}. \quad (2.22,а)$$

Для группы электроприемников

$$I_{мгн}^{II} = I_{пуск} + I_{рп} - K_{и} \cdot I_{ном}, \quad (2.22,б)$$

$I_{пуск}$  – пусковой ток самого мощного электроприемника,

$I_{рп}$  – максимальный расчетный ток линии группы электроприемников,

$K_{и}$ ,  $I_{ном}$  – коэффициент использования и номинальный ток самого мощного электроприемника.

$K_{п}$  – коэффициент кратковременной перегрузки плавкой вставки,

$K_{п} = 2,5$  для двигателей, пускаемых без нагрузки (легкий режим пуска),

$K_{п} = 2$  для двигателей, пускаемых при наличии нагрузки на валу,

$K_{п} = 1,6$  – для сварочных постов.

Таблица 2.5 – Технические данные предохранителей

Тип предохранителя	Сила номинального тока патронов $I_{п}$ , А	Сила номинального тока плавкой вставки $I_{в}$ , А	Характеристика предохранителя
ПР-2	15	6,10,15	Трубчатый, с закрытым разборным патроном, без наполнителя, токоограничивающий
	60	15,20,25,35,45,60	
	100	60,80,100	
	350	200,225,260,300,350	
	600	350,430,500,600	
	1000	600,700,850,1000	
НПН-2	15	6,10,15	Трубчатый, с закрытым неразборным патроном, с наполнителем, безынерционный
	60	15,20,25,35,45,60	
ПН-2	100	30,40,50,60,80,100	Трубчатый, с разборным патроном, с наполнителем, безынерционный
	400	200,250,300,350,400	
	600	300,400,500,600	
	1000	500,600,750,800,1000	
ПНБ-3	100	63,100	Трубчатый, с закрытым патроном, с наполнителем, быстродействующий
	300	250,300	
	500	400,500	
ПНБ-5	100	40,63,100	То же
	250	160,250	
	400	300,400	
	600	500,600	

## 2.4.2 Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели обеспечивают одновременно функции коммутации силовых цепей и защиты от перегрузки и коротких замыканий. Аппараты имеют тепловой и электромагнитный расцепитель.

Применяют следующие автоматические выключатели:

- а) установочные – для защиты двигателей электроприемников и цепей электроустановок различного назначения, автоматы серии АЕ, ВА;
- б) подстанционные – для защиты отходящих линий комплектных трансформаторных подстанций (КТП), серии АВМ, «Электрон».

**Автоматические выключатели выбираются по условиям:**

- а) номинальный ток автомата  $I_{н.а}$  и номинальный ток расцепителя  $I_{н.р}$  должны быть больше тока защищаемой цепи в рабочем режиме  $I_{ном}$ , т.е.

$$I_{н.а} \geq I_{ном}; \quad I_{н.р} \geq I_{ном}. \quad (2. 23 ,а)$$

- б) уставка силы тока мгновенного срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя  $I_{ср}$  принимается по мгновенному максимальному току линии  $I_{мгн}$ :

$$I_{ср} \geq I_{мгн}, \quad (2. 23 ,б)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток электроприемника, А, определяемый по формуле (2. 21),

Уставка силы тока мгновенного срабатывания  $I_{ср}$  либо указана в справочных данных, либо определяется по формуле

$$I_{ср} = K_{уэ} \cdot I_{н.р} \quad (2.24)$$

где  $K_{уэ}$  – коэффициент уставки электромагнитного расцепителя автомата, определяемый из справочных данных,

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

Мгновенный максимальный ток линии  $I_{мгн}$  определяется по формулам: для одного электроприемника

$$I_{мгн} = 1,1 \cdot I_{пуск}; \quad (2. 25,а)$$

для группы электроприемников, присоединенных к РП

$$I_{мгн} = 1,25 \cdot (I_{пуск} + I_{рп} - K_{и} \cdot I_{ном}), \quad (2. 25,б)$$

для защиты объекта (на стороне НН трансформатора или КТП)

$$I_{мгн} = 1,25 \cdot (I_{пуск} + I_{об} - K_{и} \cdot I_{ном}), \quad (2. 25,в)$$

где  $I_{пуск}$  – пусковой ток самого мощного электроприемника,

$I_{рп}$  – максимальный расчетный ток линии группы электроприемников,

$I_{об}$  – максимальный расчетный ток линии объекта,

$K_{и}$ ,  $I_{ном}$  – коэффициент использования и номинальный ток самого мощного электроприемника.

Параметры выключателей можно найти в [1] и другой справочной литературе.

При проектировании сетей напряжением до 1000В рекомендуется широко применять плавкие предохранители как более дешевое оборудование по сравнению с автоматами и обладающее свойством ограничения силы тока короткого

замыкания благодаря перегоранию вставки до того, как сила тока достигнет амплитудного значения. Автоматы этим свойством не обладают.

*Пример 2.4.2.1 Выбор автоматического выключателя для одиночного электроприемника.*

Токарно-револьверный одношпиндельный станок с параметрами:

$P_n = 5,5$  кВт; - номинальная мощность электроприемника

$\cos\varphi = 0,5$  – коэффициент мощности;

Определяем номинальный ток по формуле (2.21), пусковой (2.22,а) и мгновенный по формуле (2.25,а):

$$I_{ном} = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5} = 16,6 \text{ А};$$

$$I_{пуск} = 6 \cdot 16,6 = 100 \text{ А}; \quad I_{мгн} = 1,1 \cdot 100 = 110 \text{ А}$$

Согласно условиям (2.25,а) выбираем выключатель ВА 51-25 с параметрами:

$$I_{на} = 25 \text{ А}; \quad I_{нр} = 20 \text{ А}; \quad K_{уэ} = 7; \quad K_T = 1,35;$$

$$I_{ср} = K_{уэ} \cdot I_{нр} = 7 \cdot 20 = 140 \text{ А}; \quad I_{отк} = 3 \text{ кА}.$$

Проверка:  $16,6 \text{ А} < 25 \text{ А}; \quad 110 \text{ А} < 140 \text{ А}.$

*Пример 2.4.2.2 Выбор автоматического выключателя для распределительного пункта*

Из Таблицы 2 - Расчет электрической нагрузки

ток распределительного пункта  $I_m = I_{рп} = 50,6 \text{ А}$

Электроприемник данного распределительного пункта с наибольшей мощностью - токарно-револьверный станок с параметрами:

$P_n = 15$  кВт;  $K_i = 0,14$ ;  $\cos\varphi = 0,5$ ;

По формуле (2.21), (2.22,а) для данного электроприемника

$$I_{ном} = 45,5 \text{ А}; \quad I_{пуск} = 273 \text{ А}$$

По формуле (2.25,б)

$I_{мгн} = 1,25 \cdot (I_{пуск} + I_{рп} - K_i \cdot I_{ном})$  – мгновенный ток РП.

$$I_{мгн} = 1,25 \cdot (273 + 50,6 - 0,14 \cdot 45,5) = 396,5 \text{ А}$$

Для выключателя ВА 51-31

$$I_{ном\ выкл} = 100 \text{ А}; \quad I_{ном\ расц} = 50 \text{ А}; \quad K_{у} = 10; \quad K_T = 1,35$$

$$I_{ср\ расц} = K_{у} \cdot I_{ном\ расц} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ А}, \quad I_{отк} = 6 \text{ кА}.$$

Проверка:  $45,5 \text{ А} < 100 \text{ А}; \quad 45,5 \text{ А} < 50 \text{ А}; \quad 396,5 < 500 \text{ А}.$

*Пример 2.4.2.3 Выбор автоматического выключателя для объекта*

Из таблицы 2- Расчет электрической нагрузки определяем ток участка или цеха  $I_{ц} = 158 \text{ А}$  – суммарный ток цеха, А.

Самый мощный электроприемник в цеху: кран мостовой

$P_p = 30$  кВт;  $K_i = 0,05$ ;  $\cos\varphi = 0,5$ ;

По формуле (2.21), (2.22,а) для данного электроприемника

$$I_{ном} = 91,3 \text{ А}; \quad I_{пуск} = 547,8 \text{ А}$$

Определяем мгновенное значение тока по формуле (2.25, в)

$$I_{мгн} = 1,25 \cdot (I_{пуск} + I_{ц} - K_i \cdot I_{ном}) =$$

$$= 1,25 \cdot (547,8 + 158 - 0,05 \cdot 91,3) = 1,25 \cdot 701,2 = 876,5 \text{ А}$$

Для выключателя ВА 53-33

$I_{ном\ выкл} = 160\text{ А}; I_{ном\ расц} = 160\text{ А}; K_u = 5;$   
 $I_{ср\ расц} = K_u \cdot I_{ном\ расц} = 5 \cdot 160 = 800\text{ А}, I_{отк} = 25\text{ кА}$   
Проверка:  $158\text{ А} < 160\text{ А}; 91,3\text{ А} < 160\text{ А};$   
 $701,2\text{ А} < 800\text{ А} < 876,5\text{ А}$  – что допустимо.

### 2.4.3 Выбор устройства защитного отключения (УЗО)

В качестве устройства защитного отключения используем электромеханическое устройство АСТРО УЗО отвечающее требованиям ГОСТ Р 51 326.1-99 Номинальные токи УЗО  $I_n = 6; 16; 25; 40; 63; 80; 100; 125; 200\text{ А}$ .

Согласно ГОСТ Р 50 571.17-2000 п. 482.2.10 промышленных предприятий Ток утечки не должен превышать  $0,5\text{ А}$ .

Условия выбора У.З.О.:

1. Номинальный ток У.З.О. должен быть больше номинального тока электроприёмника

$$I_{н.у.з.о.} \geq I_n \quad (26)$$

2. По номинальной включающей отключающей способности (коммутационной способности)

$$K_u \cdot I_{нр} \leq 10 I_{н.у.з.о.} \quad (27)$$

- значение тока, которое У.З.О. способно пропускать в течении времени и отключать при заданных условиях эксплуатации без нарушения работоспособности.

Пример 2.4.3 Выбор устройства защитного отключения

Вентиляционная установка с параметрами

$I_n = 9,4\text{ А}; K_u \cdot I_{нр} = 7 \cdot 10 = 70\text{ А};$

Согласно условий (26), (27) выбираем АСТРО У.З.О. с  $I_{н.у.з.о.} = 16\text{ А}$   
 $70\text{ А} \leq 10 \cdot 160\text{ А}$

## 2.5 Выбор элементов распределительной сети

К элементам распределительной сети относим сеть из кабельных линий и проводов, а также распределительные пункты (шкафы распределительные – ШР).

Для выполнения сети предприятий и цехов используют шинопроводы, кабельные линии и электропроводки напряжением до  $1\text{ кВ}$ .

Шинопроводы разделяют на магистральные (ШМА), распределительные (ШРА) и осветительные (ШОС).

Кабельные линии чаще всего применяют для выполнения сети внутри предприятий и цехов от трансформаторного пункта до распределительного узла электроснабжения. При прокладке кабелей внутри зданий их располагают открыто по стенам, колоннам, в блоках, трубах, каналах, лотках и коробах. Наиболее широко используют небронированные кабели.

Электропроводки применяют для электроснабжения изолированными проводами, а также небронированными кабелями малых площадей сечений (до  $16\text{ мм}^2$ ) с резиновой и пластмассовой изоляцией. Открытая электропроводка предпочтительней для электромонтажных работ, но в некоторых случаях недопустима (высокая запыленность, воздействие агрессивной среды и излучений и т.д.). Трубная прокладка проводов и кабелей защищает от механических поврежде-

ний и воздействий, а также позволяет выполнить проводку по кратчайшим расстояниям.

Сети передвижных электроприемников состоят из троллейных и кабельных (из гибких шлангов) линий. Троллеи выполняют из круглой, полосовой и уголковой стали. В цехах с несколькими кранами применяют троллейные токопроводы ШТМ.

### 2.5.1 Выбор проводов и кабелей

Провода используются для выполнения сети от электроприемника до распределительного щита.

Марки проводов с медными и алюминиевыми жилами и области их применения приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Марки медных\* и алюминиевых (А) проводов и области их применения

Марка	Конструкция	Область применения
ПР, АПР	Одножильный, с резиновой изоляцией, в пропитанной оплетке из хлопчатобумажной ткани	Для открытой прокладки на роликах, клицах, изоляторах, в коробках и на лотках
ПВ, АПВ	То же, с поливинилхлоридной изоляцией	То же, а также для прокладки в трубах (открыто и скрыто) и в каналах строительных конструкций
ПРТО, АПРТО	То же	Для прокладки в стальных и изоляционных трубах
ПВТО	»	Для прокладки в стальных трубах
АПРВ	С резиновой изоляцией, в полихлорвиниловой оболочке	Для прокладки на лотках, в трубах и коробках, в канале строительных конструкций
ПРГ	Гибкий, одножильный, с резиновой изоляцией	Для подвижной электропроводки
ПРВ	То же, но с поливинилхлоридной изоляцией	То же
ППВ, АППВ	Двух- и трехжильный, с поливинилхлоридной изоляцией и перемычкой между жилами, плоский	Для открытой прокладки по стенам и перекрытиям
ППВС, АППВС	То же	Для беструбной скрытой прокладки
АРТ	Провод с несущим тросом с алюминиевыми жилами, резиновой изоляцией	Для тросовой прокладки внутри помещений в сетях напряжением до 1000 В
АТВ	То же, но с утолщенной поливинилхлоридной изоляцией	Для наружной прокладки в сетях 380 В

\* Марки проводов с медными жилами; ПР; ПВ; ПРТО; ПВТО; ПРВ; ПРГ; ППВ; ППВС.

Сечение проводов линий электропередачи должно быть таким, чтобы провода не перегревались при любой нагрузке в нормальном режиме, чтобы

потеря напряжения в линии не превышала установленные пределы ( $\delta U = \pm 5\%$ ) и чтобы плотность тока в проводах соответствовала экономической.

**Сечение проводника определяется из следующих условий.**

1) Ток, протекающий по проводнику, зависящий от мощности электроприемника,  $I_{ном}$ , А, должен быть меньше чем допустимый ток для провода,  $I_{доп}$ , А, определяемый по условиям ПУЭ

$$I_{доп} \geq k \cdot I_{ном}, \quad (2.28, а)$$

где  $I_{доп}$  – допустимый ток для проводника определяемый по таблицам С.1- С.8 , Приложения С ;  $k$  – поправочный коэффициент, вводимый в формулу, если температура воздуха отличается от  $25^\circ\text{C}$ , а земли – от  $15^\circ\text{C}$ , определяемый по таблице 2.7. При нормальной температуре  $k=1$ ;  $I_{ном}$  - номинальный ток электроприемника, А, определяемый по формуле (2. 21);

2)  $\delta U = \pm 5\%$  (2.28, б)

где  $\delta U$  – колебания напряжения, %, определяемые по формуле

$$\delta U = \sqrt{3} I_{ном} L (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi) \cdot 100\% / U_n, \quad (2.29)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток электроприемника, А, определяемый по формуле (2. 21);  $L$  – длина линии, м;  $r_0$ ,  $x_0$  - активное и реактивное сопротивление проводника, определяемое по таблице 2.8, Ом.

$\cos \varphi$  ;  $\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$  – параметры линии.

*Пример 2.5.1 Выбор провода для электроприемника*

Токарно-револьверный одношпиндельный станок с параметрами:

$P_n = 5,5$  кВт; - номинальная мощность электроприемника

$\cos \varphi = 0,5$  – коэффициент мощности;

Определяем номинальный ток по формуле (2.21)

$$I_{ном} = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,5} = 16,6 \text{ А};$$

С учетом температурного поправочного коэффициента  $k=1,11$  ( $0^\circ\text{C}$ ) по (2.28)

$$I = k \cdot I_{ном} = 1,11 \cdot 16,6 = 18,43 \text{ А}$$

По справочным данным (Таблица 2.6, С.8) выбираем провод ПВ 2,5 с допустимым током  $I_{пр} = 19$  А. По таблице 2.8 определяем активное и реактивное сопротивление для данного провода  $r_0 = 12,5$  Ом,  $x_0 = 0,116$  Ом;

Длина провода от распределительного пункта до электроприемника определяется по планировке участка  $L=5$ м;  $\cos \varphi = 0,8$   $\sin \varphi = 0,6$  – параметры электроприемника. По формуле (2.29) определяем падение напряжения  $\Delta U$   
 $\Delta U = \sqrt{3} \cdot 18,43 \cdot 5 \cdot (12,5 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 0,116) / 380 = 4,22\% \quad (4,22\% < 5\%).$

*Пример 2.5.2 Выбор кабеля для распределительного пункта*

Максимальный ток РП и коэффициент мощности из таблицы 2- Расчет электрической нагрузки:  $I_{рп} = 71,78$ А,  $\cos \varphi = 0,5$ ;  $\sin \varphi = 0,86$ .

От щитовой до распределительного пункта длина кабеля  $L=36$ м

По приложению С.1 выбираем кабель ВВГ 70 с допустимым током



Идоп = 210 А. Из таблицы 2.8 для кабеля ВВГ 70 активное и реактивное сопротивление  $r_0 = 0,447 \text{ Ом}$ ,  $x_0 = 0,082 \text{ Ом}$ ;

По формуле (2.29) определяем падение напряжения  $\Delta U$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 71,78 \cdot 36 \cdot (0,447 \cdot 0,5 + 0,082 \cdot 0,86) / 380 = 4,78 \% < 5\%$$

Таблица 2.7 – Поправочный коэффициент  $k$  на температуру земли и воздуха для нагрузок кабелей, голых и изолированных проводов

Исходная температура, °С		Фактическая температура, °С											
среды	жилы	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,2	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,65	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	-
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	-

Таблица 2.8 – Значения удельных сопротивлений кабелей, проводов

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	$r_0$ , мОм/м при 20 °С		$x_0$ , мОм/м при 20 °С	
	алюминиевая жила	медная жила	кабель с бумажной поясной изоляцией	три провода в трубе или кабель с любой изоляцией (кроме бумажной)
1	-	18,5	-	0,133
1,5	-	12,3	-	0,126
2,	12,5	7,4	0,104	0,116
4	7,81	4,63	0,095	0,107
6	5,21	3,09	0,09	0,1
10	3,12	1,84	0,073	0,099
16	1,95	1,16	0,0673	0,095
25	1,25	0,74	0,0675	0,091
35	0,894	0,53	0,0662	0,088
50	0,625	0,37	0,0625	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,08
150	0,208	0,124	0,0596	0,079
185	0,169	0,1	0,0596	0,078
240	0,13	0,077	0,0587	0,077

## 2.5.2 Выбор шинпровода

Шинпровод представляет собой жесткий, составленный из комплектных секций токопровод напряжением до 1кВ. Длины секций унифицированы и кратны 770мм.

Магистральные шинпроводы (ШМА) собраны из прямоугольных алюминиевых шин, изолированных, расположенных вертикально и зажатых между специальными изоляторами внутри перфорированного контура. Число шин - 3,4,6(3 по 2 шины). Предназначены шинпроводы для цеховых четырехпроводных сетей с глухозаземленной нейтралью. Номинальный ток – от250 до 4000А.

Распределительные шинпроводы (ШРА и ШРМ) используются для передачи и распределения электроэнергии с возможностью непосредственного присоединения к ним электроприемников в системах с глухозаземленной нейтралью при напряжении 380/220В. Номинальные токи ШРА-250-630А; ШРМ-100-250А; ШМА 1250-3200А.

Шинпроводы выбирают по номинальному току

$$I_{ш} \geq I_{ном}, \quad (2.30)$$

где  $I_{ш}$  – номинальный ток шинпровода, А;  $I_{ном}$  – суммарный ток присоединяемых электроприемников (из таблицы 2 – Расчет электрической нагрузки)

Таблица 2.9 – Технические данные шинпроводов

Тип шинпровода	ШРМ75		ШРА 73	ШРА74		ШМА73		ШМА68Н		
	100	250	250	400	630	1250	1600	2500	3200	4000
Ток $I_{ш}, А$										

## 2.5.3 Выбор троллейных линий

Троллейные провода применяются в крановых установках для двигателей подъема, тележки и моста. Двигатели кранов работают в повторно-кратковременном режиме с низким коэффициентом использования.

Расчет троллейных установок, где в качестве материала применена угловая сталь, может быть произведен методом, который сводится к выбору размеров угловой стали, удовлетворяющих условиям нагрева и допустимой потере напряжения.

Троллейная линия выбирается по условиям:

1) пиковый ток крановых двигателей,  $I_{пик}$ , А, должен быть меньше чем допустимый ток проводника, в качестве которого выбрана угловая сталь,  $I_{ном}$  у, А.

$$I_{пик} \leq I_{ном} у; \quad (2.31)$$

2) потеря напряжения при использовании угловой стали не превышает 10%

$$\Delta U \leq 10\% \quad (2.32)$$

Пиковый ток крановых двигателей,  $I_{пик}$ , А, определяется по формуле

$$I_{пик} = I_{пуск} + (I_{мах} - I_{ном}) \quad (2.33)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток самого мощного кранового двигателя, А,  
 $I_{пуск}$  – пусковой ток кранового двигателя, А;  $I_{мах}$  – максимальный ток активной нагрузки, А.

Номинальный ток кранового двигателя,  $I_{ном}$ , А, определяется по формуле(2.21,б)

$$I_{ном} = \frac{P_{пв} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi}$$

$P_{пв}$  – мощность кранового двигателя в повторно – кратковременном режиме, кВт;  $ПВ$  – коэффициент кратковременности, %;  $U$  – напряжение сети, обычно 380В;  $\cos\varphi$  – коэффициент мощности кранового двигателя (для кранов малой грузоподъемности  $\cos\varphi = 0,45 \div 0,5$ ; для кранов большой грузоподъемности -  $\cos\varphi = 0,6$ ).

Пусковой ток кранового двигателя,  $I_{пуск}$ , А, определяется от четырех до пяти номинальных токов кранового двигателя

$$I_{пуск} = (4 - 5) \cdot I_{ном} \quad (2.35)$$

Максимальный ток активной нагрузки определяется

$$I_{мах} = \frac{\sqrt{(P_{пв} \cdot k)^2 + (P_{дв} \cdot \operatorname{tg}\varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (2.36)$$

$P_{пв}$  – мощность кранового двигателя в повторно – кратковременном ре-

жиме, кВт,  $P_{дв} = P_{пв} \cdot \sqrt{\frac{ПВ}{100}}$  – мощность кранового двигателя в длительном

режиме, кВт;  $k$  – коэффициент спроса, определяемый по рас.2.5 в зависи-

мости от режима работы и числа двигателей  $n_d$ , установленных на кране;  $\operatorname{tg}\varphi = \frac{\operatorname{Sin}\varphi}{\operatorname{Cos}\varphi} = \frac{\sqrt{1 - \operatorname{Cos}^2\varphi}}{\operatorname{Cos}\varphi}$ .

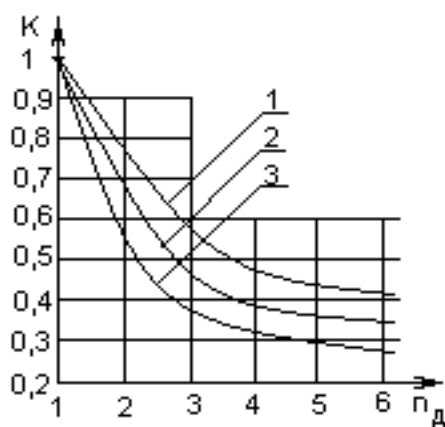


Рис. 2.5 Коэффициент спроса  $k$  для крановых установок в зависимости от режима работы: 1-тяжелый, 2- средний, 3 – легкий.

Потеря напряжения определяется по формуле

$$\Delta U = m \cdot I_{мах} \cdot k_3 \cdot L \quad (2.37)$$

где  $m$  – удельная потеря напряжения, зависящая от размеров угловой стали и ее номинального тока, определяется по таблице 2.10;  $I_{\max}$  – максимальный ток активной нагрузки, определяемый по формуле 2.36, А;  $k_3$  – коэффициент загрузки, при питании от одной троллейной линии одного крана  $k_3 = 1$ , при питании двух кранов  $k_3 = 0,8$ , при трех  $k_3 = 0,7$ ;  $L$  – длина троллеи, определяемая по планировке участка, м.

Таблица 2.10 – Параметры угловой стали

Удельная потеря напряжения, $m$ , %/м	Допустимый ток ( $I_{\text{ном у}}$ , А) при различных размерах уголка (мм)			Удельная потеря напряжения, $m$ , %/м	Допустимый ток ( $I_{\text{ном у}}$ , А) при различных размерах уголка (мм)		
	50x50x5	60x60x6	75x75x8		50x50x5	60x60x6	75x75x8
0,07	95	111	140	0,14	214	259	334
0,08	110	130	168	0,15	232	280	362
0,09	125	150	194	0,16	250	300	390
0,10	140	171	222	0,17	277	334	427
0,11	158	193	250	0,18	304	368	572
0,12	177	215	278	0,9	331	402	520
0,13	195	237	306	0,20	358	436	562

Пример 2.5.3 Выбор троллейной линии.

### 2.5.4 Выбор шкафа распределительного пункта

Распределительные шкафы выбираем из справочных данных [4] согласно условиям:

1) номинальный ток распределительного шкафа  $I_{\text{н ш}}$  должен быть больше или равен току, потребляемому электроприемником, присоединенными к нему  $I_{\text{м РП}}$ .

$$I_{\text{н ш}} \geq I_{\text{м РП}} \quad (2.38)$$

2) распределительный шкаф должен обеспечивать нужное количество присоединений для электроприемников.

Технические данные распределительных шкафов можно найти в [1] и другой справочной литературе.

## 2.6 Выбор элементов питания

### 2.6.1 Выбор числа и места расположения трансформаторов.

1. Трансформатор выбираем по активной расчётной нагрузке

$$S_{\text{T}} = \frac{P_{\text{м}}}{\beta * N} \quad (2.39)$$

где  $P_{\text{м}}$  – максимальная активная мощность, кВт, (таблица 2 – Расчет электрической нагрузки);  $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора, зависящий от категорийно-

сти ЭП цеха:  $\beta=1$  для ЭП III категории, 0,9 – для II категории и 0,7 – для I категории; N – число трансформаторов; N=1 для II и III категории и N=2 для I категории.

2. Определяется тип и параметры трансформатора. Параметры трансформаторов представлены в Таблице 2.11.

3. Определяется реактивная мощность  $Q_T$ , которая вырабатывается трансформатором

$$Q_T = \sqrt{(1,1 * S_T * \beta * N)^2 - P_M^2} \quad (2.40)$$

где  $S_T$  – полная мощность выбранного трансформатора, кВА;

$\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора (см.п. 1);

N- количество трансформаторов, зависящее от категорийности электроприемников объекта(см. п. 1);

$P_M$  – максимальная активная мощность, кВт,

1,1 – коэффициент учитывающий по ГОСТ 14209-85 допустимую нагрузку трансформатора в течении смены.

4. Определяем необходимость компенсационной установки

$$Q_K = Q_M - Q_T \quad (2.41)$$

где  $Q_T$  - реактивная мощность, которая вырабатывается трансформатором (п.3), кВАр;  $Q_M$  – реактивная мощность необходимая для работы объекта, кВАр, (Таблица 2 – Расчет электрической нагрузки, ВН).

Если значение  $Q_K$  отрицательно, то устанавливать компенсационную установку нет необходимости, если значение  $Q_K$  положительно, то компенсационная установка нужна.

Таблица 2.11 - Силовые трансформаторы серий ТМ ТС3 10 (6 ) кВ

Марка	Мощность, кВА	Напряжение первичное, кВ	Напряжение вторичное, кВ	Напряжение короткого замыкания, % от номинального	Мощность потерь, кВт		Ток холостого хода, % от номинального
					холостого хода	короткого замыкания	
ТМ-25/10	25	10;6	0,4;0,69	4,5	0,135	0,6	3,2
ТМ-40/10	40	10;6	0,4;0,69	4,5	0,19	0,88	3
ТМ-63/10	63	10;6	0,4;0,69	4,5	0,265	1,28	2,8
ТМ-100/10	100	10;6	0,4;0,69	4,5	0,365	1,97	2,6
ТМ-160/10	160	10;6	0,4;0,69	4,5	0,565	2,65	2,4
ТМ-250/10	250	10;6	0,4;0,69	4,5	0,82	3,7	2,3
ТМ-400/10	400	10;6	0,4;0,69	4,5	1,05	5,5	2,1
ТМ-630/10	630	10;6	0,4;0,69	5,5	1,56	7,6	2
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	2,45	12,2	1,4
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	3,3	18	1,3
ТМ-2500/10	2500	10	0,4	5,5	4,6	25	1
ТМ-4000/10	4000	10	0,4	5,5	6,4	33,5	0,9
ТМ-6300/10	6300	10	0,4	6,5	9,0	46,5	0,8

## 2.7 Расчет токов короткого замыкания

### 2.7.1 Расчет токов короткого замыкания до 1кВ

Рассчитывая токи короткого замыкания необходимо: составить расчетную схему и схему замещения.

Схема замещения состоит из эквивалентных сопротивлений элементов расчетной схемы.

Трансформатор имеет эквивалент - активное и реактивное сопротивление  $R_T$ ,  $X_T$ .

Выключатели - активное  $R_{SF}$  и реактивное  $X_{SF}$  сопротивление и активное сопротивление переходных контактов  $R_{пSF}$ .

Проводниковый материал - активное  $R_l$  и реактивное  $X_l$  сопротивление, определяемое по формулам

$$R_l = r_0 * L; \quad X_l = x_0 * L, \quad (2.42)$$

Где  $r_0$ ,  $x_0$  - активное и реактивное сопротивление линии, мОм;

$L$  - длина линии, м.

Из чертежа 16 ГОСТ 28249-89 необходимо определить поправочный коэффициент, учитывающий влияние электрической дуги -  $K_c$ .

Точки КЗ выбираются на ступенях распределения.

Для вычисления токов КЗ используют следующие формулы:

Трехфазный ток КЗ

$$I^{(3)} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (2.43)$$

Установившийся трехфазный ток КЗ

$$I_{ПО}^{(3)} = I^{(3)} * K_c \quad (2.44)$$

Двухфазный ток КЗ

$$I^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I^{(3)}; \quad (2.45)$$

Однофазный ток КЗ

$$I^{(1)} = \frac{U^{(1)}}{Z_{no} + \frac{Z_m^{(1)}}{3}}, \text{ кА} \quad (2.46)$$

Трехфазный ударный ток КЗ

$$i^{(3)}_y = \sqrt{2} K_y * I^{(3)}, \quad (2.47)$$

Двухфазный ударный ток КЗ

$$i^{(2)}_y = \sqrt{3} * K_y * I^{(2)}, \text{ кА.} \quad (2.48)$$

Где  $U$  – напряжение линии в заданной точке, В;

$R_{\Sigma}$  - суммарное активное сопротивление до точки КЗ, Ом;

$X_{\Sigma}$  - суммарное реактивное сопротивление до точки КЗ, Ом;

$I^{(3)}$  – трехфазный ток КЗ, кА;

$I^{(2)}$  – двухфазный ток КЗ, кА;

$I^{(1)}$  – однофазный ток КЗ, кА;

$K_y$  - коэффициент ударного тока.

$Z_{\tau}^1$  – полное сопротивление однофазному току, Ом;

$Z_{\text{по}}$  - полное сопротивление петли «фаза-ноль»

Удельное активное сопротивление петли «фаза-ноль»  $R_{0\text{П}}$  определяется для любых линий по формуле

$$R_{0\text{П}} = 2r_0, \quad (2.49)$$

где  $r_0$  – удельное значение сопротивление линии, мОм/м

Таблица 2.12 – Сводная таблица токов короткого замыкания

	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	$I^{(3)}$ , кА	$K_c$	$K_c I^{(3)}$ , кА	$i^{(3)}$ , кА	$I^{(2)}$ , кА	$i^{(2)}$ , кА	$I^{(1)}$ , кА
K1										
K2										
K3										

### 2.7.2 Проверка выбора защитной аппаратуры

Выбор автоматических выключателей проверяют по двум условиям:

1. На надежность срабатывания:

$$I_k^{(1)} \geq 3 I_{\text{нр}}, \quad (2.50)$$

где  $I_k^{(1)}$  – однофазный ток короткого замыкания в рассматриваемой точке, кА;

$I_{\text{нр}}$  – номинальный ток расцепителя выключателя в заданной точке.

2. На отключающую способность:

$$I_{\text{откл}} > \sqrt{2} I_k^{(3)} K_c, \quad (2.51)$$

где  $I_{\text{откл}}$  – ток отключения выключателя в заданной точке, кА;

$I_k^{(3)}$  – трехфазный ток короткого замыкания, кА;

$K_c$  – коэффициент учитывающий влияние электрической дуги на короткое замыкание, определяемый из чертежа 16 ГОСТ 28249-89







## Приложение В

Таблица В.1 – Технические данные ламп накаливания (220 В)

Мощность	Тип лампы	Световой поток, лм, лампы при напряжении, В, равном				Тип цоколя лампы
		127	127-135	220	220-235	
15	В	135	110	105	85	Е-27
25	В	260	195	220	190	«←»
40	Б	490	370	400	300	«←»
40	БК	520	–	460	–	«←»
60	Б	820	650	715	550	«←»
80	БК	875	–	790	–	«←»
100	Б	1560	1250	1350	1090	«←»
100	БК	1630	–	1450	–	«←»
150	Г	230	–	2000	–	«←»
150	Б	–	2000	2100	1840	«←»
200	Г	3200	2780	2800	–	«←»
200	Б	–	–	2920	2540	«←»
300	Г	4950	–	4600	4000	Е27, Е40
500	Г	9100	–	8300	7200	Е40
750	Г	–	–	13100	–	«←»
1000	Г	195500	–	18600	–	«←»
1500	Г	29600	–	29000	–	«←»

Буквы обозначают: В – вакуумные лампы; Г – газонаполненные; Б – биспиральные газонаполненные; БК – биспиральные криптоновые.

Таблица В.2 – Технические данные металлогалогенных ламп

Тип лампы	Номинальное Напряжение сети, А	Ток лампы, А	Мощность, Вт	Световой поток, лм
Лампы с добавками иодиодов натрия, индия и таллия				
ДРИ-250	220	2,15	250	18700
ДРИ-400	220	3,4	400	34000
ДРИ-700	220	6,5	700	59500
ДРИ-1000	220	8,55	1000	90000
ДРИ-2000	380	9,0	2000	190000
Лампы с добавками иодиодов натрия и скандия				
ДРИ-250-5	220	2,15	250	19000
ДРИ-250-6	220	2,15	250	19000
ДРИ-400-5	220	3,3	400	36000
ДРИ-400-6	220	3,3	400	33000
ДРИ-700-5	220	6,0	700	60000
ДРИ-700-6	220	6,0	700	56000
ДРИ-1000-5	380	4,7	1000	103000
ДРИ-2000-6	380	9,2	2000	200000
ДРИ-35000-6	380	16,0	3500	350000

Таблица В.3 – Технические данные люминесцентных ламп

Тип лампы	Номинальное напряжение сети, В	Мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, лм, номинальный
ЛДЦ-15-4 ЛД-15-4 ЛХБ-15-4 ЛТБ-15-4 ЛБ-15-4	127	15	0,33	500 590 675 700 760
ЛДЦ-20-4 ЛД-20-4 ЛХБ-20-4 ЛТБ-20-4 ЛБ-20-4	220	20	0,37	820 920 935 975 1180
ЛДЦ-30-4 ЛД-30-4 ЛХБ-30-4 ЛТБ-30-4 ЛБ-30-4	220	30	0,36	1450 1640 1720 1729 2100
ЛДЦ-40-4 ЛД-40-4 ЛХБ-40-4 ЛТБ-40-4	220	40	0,43	2100 2340 2600 2580
ЛБ-40-4 ЛХБЦ-40-4				3000 2000
ЛДЦ-65-4 ЛД-65-4 ЛХБ-65-4 ЛТБ-65-4 ЛБ-65-4	220	65	0,67	3050 3570 3820 3980 4550
ЛДЦ-80-4 ЛД-80-4 ЛХБ-80-4 ЛТБ-80-4 ЛБ-80-4	220	80	0,865	3560 4070 4440 4440 5220

Обозначения: Д – дневного света; ХБ – холодно-белая; Ц – правильной свето-передачи; Б – белая; ТБ – тепло-белая.

Обозначение ламп расшифровываются следующим образом:

ЛДЦ – люминесцентная, дневного света, улучшенной светопередачи,

ЛД – люминесцентная, дневного света,

ЛХБ – люминесцентная, холодно-белого света,

ЛТБ – люминесцентная, тепло-белого света,

ЛБ – люминесцентная, белого света,

ДРЛ – дуговая ртутная лампа высокого давления,

ДРИ – дуговая ртутная лампа высокого давления с иодинами,

ДНаТ – дуговая натриевая лампа высокого давления.

Таблица В.4 – Технические данные газоразрядных ламп высокого давления

Тип	Номинальная мощность, Вт	Ток лампы, А	Световой поток, клм	Срок службы, тыс. час
ДРЛ 80	80	–	2,3	6
ДРЛ 125	125	–	3,7	6
ДРЛ 250	250	–	8,2	8
ДРЛ 400	400	–	14,4	10
ДРЛ 700	700	–	25,9	10
ДРЛ 1000	1000	–	37,4	10
ДРИ 250	250	2,5	18,7	4,5
ДРИ 400	400	3,5	32	4,5
ДРИ 700	700	5,6	59,5	3
ДРИ 1000	1000	9,5	90	1
ДРИ 1000	1000	9,5	80	1
ДРИ 2000*	2000	10,8	190	1
ДРИ 3500*	3500	18,8	300	1
ДНаТ 250	250	2,5	25	10
ДНаТ 400	400	3,5	40	10

Примечание. Лампы ДРИ 2000 ДРИ 3500 включаются на напряжение 380 В, остальные – на 220 В.

Таблица В.4.1 Пускорегулирующие аппараты для газоразрядных ламп

Тип пуско-регулирующего аппарата	Мощность лампы, Вт	Пусковой ток, А	Рабочий ток, А	Минимальная температура окружающего воздуха, °С
<b>Стартерные пускорегулирующие аппараты</b>				
1УБИ- 20К/220-ВП-09	20	0,6	0,35	–
1УБИ- 20К/220-ВП-20	20	0,6	0,35	–
1УБИ- 40К/220-ВП-05	40	0,75	0,43	–
1УБЕ- 20К/220-ВП-20	40	0,75	0,43	–
1УБИ- 80К/220-ВП-06	80	1,7	0,86	–
<b>Пускорегулирующие аппараты для ДРЛ</b>				
ДБИ- 125 ДРЛ / 220-В	125	2,4	1,15	-25
ДБИ- 250 ДРЛ / 220-В	250	2,5	2,15	-25
ДБИ- 400 ДРЛ / 220-В	400	7,15	3,25	-25
ДБИ- 125 ДРЛ / 220-Н	125	2,4	1,15	-5
ДБИ- 400 ДРЛ / 220-Н	400	7,25	3,25	0
ДБИ- 700 ДРЛ / 220-Н	700	12	5,45	0

Таблица В.5– Значения тригонометрических функций

$\alpha$	Sin $\alpha$	Cos $\alpha$	tga	Cos3 $\alpha$	$\alpha$	Sin $\alpha$	Cos $\alpha$	tga	Cos3 $\alpha$
0	0	1	0	1	46	0,719	0,695	1,035	0,336
1	0,017	1	0,017	1	47	0,731	0,682	1,072	0,317
2	0,035	0,999	0,035	0,997	48	0,743	0,669	1,111	0,299
3	0,052	0,999	0,052	0,997	49	0,755	0,656	1,151	0,282
4	0,07	0,998	0,07	0,994	50	0,766	0,643	1,191	0,266
5	0,087	0,996	0,087	0,988	51	0,777	0,629	1,235	0,249
6	0,105	0,995	0,106	0,985	52	0,788	0,616	1,279	0,234
7	0,122	0,993	0,123	0,979	53	0,799	0,602	1,327	0,218
8	0,139	0,99	0,14	0,97	54	0,809	0,588	1,376	0,203
9	0,156	0,988	0,158	0,964	55	0,819	0,574	1,427	0,189
10	0,174	0,985	0,177	0,956	56	0,829	0,559	1,483	0,175
11	0,191	0,982	0,195	0,947	57	0,839	0,545	1,539	0,162
12	0,208	0,978	0,213	0,935	58	0,848	0,53	1,6	0,149
13	0,225	0,974	0,231	0,924	59	0,857	0,515	1,664	0,137
14	0,242	0,97	0,249	0,913	60	0,866	0,5	1,732	0,125
15	0,259	0,966	0,268	0,901	61	0,875	0,485	1,804	0,114
16	0,276	0,961	0,287	0,888	62	0,883	0,469	1,883	0,103
17	0,292	0,956	0,305	0,874	63	0,891	0,454	1,963	0,094
18	0,309	0,951	0,325	0,86	64	0,899	0,438	2,053	0,084
19	0,326	0,946	0,345	0,847	65	0,906	0,423	2,142	0,076
20	0,342	0,94	0,364	0,831	66	0,914	0,407	2,246	0,067
21	0,358	0,934	0,383	0,815	67	0,921	0,391	2,355	0,06
22	0,375	0,927	0,405	0,797	68	0,927	0,375	2,472	0,053
23	0,391	0,921	0,425	0,781	69	0,934	0,358	2,609	0,046
24	0,407	0,914	0,445	0,764	70	0,94	0,342	2,749	0,04
25	0,423	0,906	0,467	0,744	71	0,946	0,326	2,902	0,035
26	0,438	0,899	0,487	0,727	72	0,951	0,309	3,078	0,03
27	0,454	0,891	0,51	0,707	73	0,956	0,292	3,274	0,025
28	0,469	0,883	0,531	0,688	74	0,961	0,276	3,482	0,021
29	0,485	0,875	0,554	0,67	75	0,966	0,259	3,73	0,017
30	0,5	0,866	0,577	0,649	76	0,97	0,242	4,008	0,014
31	0,515	0,857	0,601	0,629	77	0,974	0,225	4,329	0,011
32	0,53	0,848	0,625	0,61	78	0,978	0,208	4,702	0,009
33	0,545	0,839	0,65	0,591	79	0,982	0,191	5,141	0,007
34	0,559	0,829	0,674	0,57	80	0,985	0,174	5,661	0,005
35	0,574	0,819	0,701	0,549	81	0,988	0,156	6,333	0,004
36	0,588	0,809	0,727	0,529	82	0,99	0,139	7,122	0,003
37	0,602	0,799	0,753	0,51	83	0,993	0,122	8,139	0,002
38	0,616	0,788	0,782	0,489	84	0,995	0,105	9,476	0,001
39	0,629	0,777	0,81	0,469	85	0,996	0,087	11,448	0,001
40	0,643	0,766	0,839	0,449	86	0,998	0,07	14,257	0
41	0,656	0,755	0,869	0,43	87	0,999	0,052	19,212	0
42	0,669	0,743	0,9	0,41	88	0,999	0,035	28,543	0
43	0,682	0,731	0,933	0,391	89	1	0,017	58,824	0
44	0,695	0,719	0,967	0,372	90	1	0	-	0
45	0,707	0,707	1	0,353					

Таблица В.6 – Светотехнические характеристики светильников для производственных помещений с лампами накаливания

Угол, градус	Сила света, кд, светильников типа									
	ИСП- -01	ППД100 ППД200	ИНД500	УПД	НСП09, НСР01	СПО- 300	СПО- 1000	СПО2 300	НСП02 НСП03	НСП22
0	238	177	163	288	75	140	132	117	62	232
5	229	178	161	185	74	136	131	114	58	230
15	213	190	157	275	77	134	126	111	58	225
25	204	190	134	256	83	132	124	111	72	207
35	195	172	149	247	85	131	120	110	69	184
45	164	160	129	208	81	132	118	108	72	160
55	145	137	111	151	77	131	112	106	73	135
65	122	114	92	77	71	110	98	143	74	74
75	76	44	64	30	69	77	70	98	70	30
85	7	7	19	18	68	30	40	45	66	16
90	3	1,3	10	–	66	20	26	20	64	–
95	–	0,6	7	–	63	–	–	–	63	–
105	–	–	5	–	66	–	–	–	59	–
115	–	–	5	–	71	–	–	–	52	–
125	–	–	23	–	64	–	–	–	54	–
135	–	–	26	–	34	–	–	–	46	–
145	–	–	2	–	8	–	–	–	46	–
155	–	–	1	–	3	–	–	–	22	–
165	–	–	–	–	2,4	–	–	–	14	–
175	–	–	–	–	–	–	–	–	8	–
180	–	–	–	–	–	–	–	–	3	–

Таблица В.7 – Светотехнические характеристики светильников с лампами ДРЛ

Угол, радиус	Сила света, кд, светильников типа							
	УПДДРЛ	РСР05 С35ДРЛ	РСР08	РСР07	СКЗР- 500	СКЗР- 250	С34ДРЛ	СД2ДРЛ
0	284	1050	470	147	80	80	630	290
5	280	980	465	147	80	65	625	290
15	275	830	465	140	100	70	570	285
25	258	530	430	152	140	80	475	265
35	228	215	330	188	160	90	320	235
45	181	80	195	201	200	110	150	185
55	106	38	80	162	225	120	45	118
65	56	8	15	85	290	165	8	60
75	26	–	5	5	200	130	–	28
85	6	–	5	5	40	90	–	5
90	2	–	–	5	15	15	–	–
95	4	–	–	5	–	–	–	–
105	4	–	–	20	–	–	–	–
115	4	–	–	30	–	–	–	–
125	5	–	–	38	–	–	–	–
135	5	–	–	42	–	–	–	–
145	5	–	–	34	–	–	–	–
155	4	–	–	18	–	–	–	–
165	4	–	–	7	–	–	–	–
175	3	–	–	2	–	–	–	–
180	3	–	–	–	–	–	–	–
КПД, %	72	80	80	80	–	–	80	72

Таблица В.8 – Светотехнические характеристики светильников с люминесцентными лампами

Угол, градус	Сила света, кд, светильников типа											
	ЛСПО4.Л Д		ЛСП02		ЛОУ1П		ЛСП06		ЛСО02 ЛСО02 2x40		ПВЛМ (2 лампы)	
	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная
0	256	256	207	207	208	208	260	260	130	130	175	175
5	256	257	205	207	206	206	259	260	127	134	175	175
15	246	256	199	207	202	193	245	256	111	140	185	170
25	229	241	186	202	199	170	219	240	91	134	148	170
35	206	221	164	193	177	140	187	217	72	108	130	168
45	174	188	138	164	140	107	150	180	54	77	110	160
55	135	139	108	124	104	80	112	132	39	52	70	145
65	92	92	74	89	60	45	72	84	24	35	60	135
75	50	43	41	34	20	18	40	34	14	20	30	120
85	12	11	10	14	6	6	16	11	8	13	20	80
90	–	–	0	7	0	0	1	–	1	10	0	70
95	–	–	6	14	2	0	–	–	8	18	5	70
105	–	–	6	41	10	0	–	–	13	30	10	85
115	–	–	10	44	25	0	–	–	31	65	15	100
125	–	–	15	39	40	5	–	–	50	84	17	78
135	–	–	20	42	33	8	–	–	64	93	20	65
145	–	–	25	42	34	13	–	–	80	98	30	52
155	–	–	28	39	35	15	–	–	91	101	35	52
165	–	–	29	87	36	26	–	–	98	103	40	55
175	–	–	30	30	32	30	–	–	101	104	42	58
180	–	–	30	30	28	28	–	–	103	103	42	42
КПД,%	74		82		76		66		65		65	

Окончание таблицы В.8

Угол, градус	Сила света, кд, светильников типа													
	ПВЛМ (1 лампа)		ПВЛП		ЛП001		Л201Б		ЛПР		ЛП003		ЛП013	
	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная	продольная	поперечная
0	174	174			160	160	178	178	202	202	106	106	218	218
5	174	174	138		158	160	177	178	179	201	104	106	205	212
15	167	172	137		152	164	172	175	182	210	97	107	187	198
25	155	169	130		141	144	160	162	155	206	89	109	154	181
35	134	160	119		125	159	140	144	124	182	78	108	136	156
45	106	152	107		100	135	108	111	91	132	70	106	104	129
55	80	140	91		59	86	72	74	54	84	56	104	71	102
65	54	128	74		40	67	46	48	32	62	44	100	40	70
75	30	114	50		20	57	27	26	17	58	33	96	18	38
85	10	103	25		9	51	10	10	4	51	6	90	10	19
90	–	96	11		3	52	0	0	0	53	–	87	–	–
95	–	90	7		3	56	2	2	1	60	–	84	–	–
105	–	84	6		2	60	8	8	3	75	–	79	–	–
115	–	76	3		1	53	15	12	5	86	–	72	–	–
125	–	63	6		–	43	24	16	5	87	–	64	–	–
135	–	47	–		–	30	29	21	6	72	–	56	–	–
145	–	33	–		–	20	38	29	1	50	–	44	–	–
155	–	12	–		–	13	44	39	–	29	–	28	–	–
165	–	–	–		–	7	48	47	–	12	–	10	–	–
175	–	–	–		–	2	51	50	–	5	–	–	–	–
180	–	–	–		–	–	51	51	–	5	–	–	–	–
КПД, %	85		65											

Таблица В.9 – Светотехнические характеристики светильников с лампами ДРЛ, ДРИ, ДНаТ

Угол, градус	Значение силы света светильников РСП17, ГСП17, РПС18, ГСП18					
	ДРЛ		ДРИ		ДНаТ	
	Кривая силы света		Кривая силы света		Кривая силы света	
	глубокая	концентри- рованная	глубокая	концентри- рованная	глубокая	концентри- рованная
0	691	1106	722	1125	701	1197
5	664	1020	700	1070	678	946
15	574	804	560	815	588	790
25	421	480	440	450	492	470
35	286	278	315	170	306	241
45	172	128	170	75	84	64
55	73	52	73	25	20	18
65	17	8	8	12	10	–
75	–	–	–	–	–	–
85	–	–	–	–	–	–
КПД, %	82	87	82	78	74	75



Таблица В.10 – Значение коэффициента запаса

Освещаемые объекты	Коэффициент запаса	
	При газоразрядных лампах	При лампах накаливания
Производственные помещения при содержании пыли, дыма и др. в воздухе, мг/м <sup>3</sup>	10 – темной	1,7
	10 - светлой	1,5
	5-10 – темной	1,5
	5-10 - светлой	1,4
Помещения с особым режимом по чистоте	1,3	1,15
Вспомогательные помещения с нормальной средой и помещения общественных и жилых зданий	1,5	1,3
Территория предприятий и городов	1,5	1,3

Таблица В.11 – Нормы освещенности промышленных объектов

Наименование объектов, помещений	Освещенность, лк		Плоскость, в которой формируется освещенность и ее высота от пола, м.
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания, прожекторах	
1	2	3	4
Нормы освещенности различных помещений фабрик			
Производственные фабрики		20	
Распределительные пункты		25	
Диспетчерские щиты, помещения главных щитов подстанции		50	
Помещения щитов низкого напряжения, машинные помещения		25	
Камеры трансформаторов и выключателей, коридоры управления		15	
Машинные залы компрессоров, вакуумнасосов, вентиляторов		25	
Механические и электромеханические мастерские		20	
Конторские помещения		25	
Душевые		25	
Нормы освещенности коридоров, тепловых переходов, лестниц			
Главные коридоры	75	30	Г –0,0

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Второстепенные коридоры и тепловые переходы	50	20	Г –0,0
Главные лестничные клетки	75	30	Г –0,0
Второстепенные лестничные клетки	50	20	Г –0,0
Проходы и открытые лестницы в помещениях производства:			
– с постоянным пребыванием людей;	50	30	
– с периодическим пребыванием людей	50	30	
<b>Нормы освещенности галерей и тоннелей</b>			
Галереи шинопроводов		10	Г –0,0
Галереи и тоннели транспортеров		10	«←»
Галереи котельные		5	«←»
Тоннели кабельные, теплофикационные, водопроводные		5	«←»
Тоннели маслопроводов, пульповодов		5	«←»
<b>Нормы освещенности электропомещений</b>			
Камеры трансформаторов и реакторов		30	В-1,5
Помещение РУ: – фасад камеры;	100		В-1,5
– задняя сторона камеры	75	30	В-1,5
Помещение КТП. Помещение щитов при периодическом пребывании людей в помещении (щиты станций управления, релейн. щиты и т.п.) – фасад щита или КТП;	100	–	В-1,5
– задняя сторона щита или КТП	75	30	В-1,5
Помещение щитов при постоянном пребывании людей в помещении, с наблюдением за щитом на расстоянии более 0,5 м (диспетчерские, операторские, помещение главного распределителя):			
– фасад щита;	200	–	«←»
– задняя сторона щита;	75	30	
– пульт управления, стол диспетчера	150		Г-0,8
Помещение щитов при постоянном пребывании людей в помещении, с наблюдением за щитом на расстоянии 0,5 м и менее (щиты в машинном зале и т.п.):			
– фасад щита;	150	–	В-1,5
– задняя сторона щита	75	30	В-1,5
Электромашинный зал:			
– с естественным светом;	150	–	Г-0,8
– без естественного света	200	–	Г-0,8
Кабельный подвал (этаж)	–	10	Г-0,0
<b>Нормы освещенности помещений котельных</b>			
Помещение котлов:			
– площадки обслуживания котлов;	75	30	Г-0,8
– лестницы котлов и экономайзеров, проход за котлами	–	10	Г-0,0
Дополнительное местное освещение измерительных приборов на котлах и т.п.	400	400	В- на приборах

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Конденсационная, химводоочистка, деаэра- торная, бойлерная	75	30	Г-0,0
Топливоподача мазутонасосная	75	30	Г-0,8
<b>Нормы освещенности лабораторий</b>			
Химические, радиоизмерительные, механи- ческие и другие лаборатории	300	–	Г-0,8
Препараторские, весовые, микроскопные, термостатные, фотометрические	300	–	Г-0,8
<b>Нормы освещенности ремонтно-механических, ремонтно-монтажных цехов</b>			
Слесарно-механическое отделение: – общее освещение; – местное освещение; – на станках и верстаках	300 2500 –	– 200 –	«–»
Заготовительное отделение	150	–	«–»
Кузнечное и термическое отделение	200	–	«–»
Сварочное и сварочно-наплавное отделение	200	–	«–»
Гальваническое отделение: –помещение ванн; – помещение шлифовальных и полироваль- ных станков; –общее освещение; – на станках местное; – помещение приготовления растворов	200 – 300 2000 75	– – – 2000 30	«–»
Медницкое отделение	200	–	«–»
Трубопроводное и жестяницкое отделение	200	–	«–»
<b>Нормы освещенности электроремонтных цехов</b>			
Разборочно-промывочное отделение	200	–	«–»
Механическое отделение: – общее освещение; – местное освещение на станках и верстаках	300 2500	150 2000	
Отделение обмотки якорей и статоров, и слесарно-сборочное отделение	300	–	Г-0,8
Дополнительное местное освещение на станках и верстаках	200	1500	
Отделение аппаратов (ремонт аппаратов и приборов) и намотки катушек: – общее освещение; – местное освещение на станках и верстаках	300 300	– 2500	Г-0,8
Отделение ремонта трансформаторов	200	–	Г-0,0
Испытательная станция	200	–	«–»
Электроремонтное отделение	300	–	Г-0,8
Отделение восстановления обмоточного про- вода	200	–	«–»
Эмалировочное отделение	300	–	«–»
Сушильно-пропиточное отделение	100	50	«–»
<b>Нормы освещенности помещений общественных зданий и бытовых корпусов промпредприятий</b>			
Канторы, кабинеты, комнаты для занятий	300	–	Г-0,8
Машинописные, машиносчетные бюро	400	–	«–»
Светокопировальная мастерская	200	–	«–»

Продолжение таблицы В.11

1	2	3	4
Помещение общественных организаций	200	–	«←»
Раскомандировочная	300	–	«←»
Вычислительный центр	400	–	«←»
Здравпункты	150-300	–	«←»
Учебные заведения: классные комнаты, учебные кабинеты, лаборатории – на доске, – на столах	300 300	– –	В- на доске Г-0,8
Кабинеты и комнаты преподавателей	200	–	Г-0,8
Инструментальная комната и помещение техперсонала	200	–	«←»
Фотолаборатория	200	–	«←»
Вспомогательные помещения: вестибюли, холлы, гардеробные	75-1500	–	Г-0,0
Душевые и преддушевые	–	20	«←»
Фотарий	50	–	«←»
Санитарные узлы	–	30	«←»
Комнаты обогрева рабочих	–	20	«←»
Респираторная	–	30	В-1,0
Венткамеры, кубовые	–	20	Г-0,0
Тепловой пункт	–	30	«←»
Помещение кондиционеров	–	30	«←»
Технические этажи	–	20	«←»
Нормы освещенности территории промпредприятий			
Точные работы		50	
Работы средней точности		30	
Работы малой точности		10	
Грубые работы		5	
Охранное освещение		0,5	

Таблица В.12 – Приблизительные значения коэффициентов отражения стен  $R_c$ , потолка  $R_p$ , рабочей поверхности  $R_p$

Характер отражающей поверхности	Коэффициент отражения, %			
Побеленный потолок, побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	70			
Побеленные стены при незавешенных окнах, побеленный потолок в сырых помещениях, чистый бетонный и светлый деревянный потолок	50			
Бетонный потолок в грязных помещениях, деревянный потолок, бетонные стены с окнами, стены, оклеенные светлыми обоями	30			
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли, сплошное остекление без штор, красный кирпич не оштукатуренный, стены с темными обоями.	10			
Рекомендуемые значения коэффициентов отражения % $R_p$	70	50	30	0
$R_c$	50	30	10	0
$R_p$	30	10	10	0

Приложение С

Таблица С.1 Допустимые токовые нагрузки на кабели с алюминиевыми жилами, резиновой или пластмассовой изоляцией, в свинцовой, полихлорвиниловой или резиновой оболочках при прокладке их в воздухе

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Одножильные	Двухжильные	Трехжильные
2,5	23	21/34	19/29
4	31	29/42	27/38
6	38	38/55	32/46
10	60	55/80	42/70
16	75	70/105	60/90
25	105	90/135	75/115
35	130	105/160	90/140
50	165	135/205	110/175
70	210	165/245	140/210
95	250	200/295	170/225
120	295	230/340	200/295
150	340	270/390	235/335
185	395	310/440	270/385
240	465	— / —	— / —

Таблица С.2. Провода и шнуры с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки, А					
	Провода проложены открыто	Провода проложены в одной трубе				
		Два одножильных	Три одножильных	Четыре одножильных	Один двухжильный	Один трехжильный
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,5	23	19	17	16	18	15
2,5	30	27	25	25	25	21
4	41	38	35	30	32	27
6	50	46	42	40	40	34
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250

Таблица С.3 Шнуры переносные шланговые легкие и средние, кабели переносные шланговые тяжелые гибкие шланговые, прожекторные и провода переносные с медными жилами

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки, А		
	Одножильных	Двухжильных	Трехжильных
0,5	–	12	–
0,75	–	16	14
1,0	–	18	16
1,5	–	23	20
2,5	40	33	28
4	50	43	36
6	65	55	45
10	90	75	60
16	120	95	80
25	160	125	105
35	235	185	160
50	235	185	160
70	290	235	200

Допустимые токовые нагрузки для кабелей

Таблица С.4 Кабели с медными жилами с бумажной пропитанной изоляцией в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки, А					
	одножильных кабелей до 1 кВ	двухжильных кабелей до 1 кВ	трехжильных кабелей			четырежильных кабелей до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	10 кВ	
2,5	–	45	40	–	–	–
4	80	60	55	–	–	50
6	105	80	70	–	–	60
10	140	105	95	80	–	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755	–	490	440	400	450
240	880	–	590	510	460	–
300	1000	–	–	–	–	–
400	1220	–	–	–	–	–
500	1400	–	–	–	–	–
625	1520	–	–	–	–	–

Таблица С.5 Кабели с медными жилами с бумажной пропитанной маслोकанифольной и нестекающей массаами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемые в воздухе

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки, А					
	одножильных кабелей до 1 кВ	двухжильных кабелей до 1 кВ	трехжильных кабелей			четырёхжильных кабелей до 1 кВ
			до 3 кВ	до 6 кВ	10 кВ	
2,5	40	30	28	—	—	—
4	55	40	37	—	—	35
6	75	55	45	—	—	45
10	95	75	75	55	—	60
16	120	95	95	65	60	80
25	160	130	130	90	85	100
35	200	150	150	110	105	120
50	245	185	185	145	135	145
70	305	225	225	175	165	185
95	360	275	275	215	200	215
120	425	320	320	250	240	260
150	470	375	375	290	270	300
185	525	—	430	325	305	340
240	610	—	—	375	350	—
300	720	—	—	—	—	—

Таблица С.6 Кабели и провода с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабели с медными жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, пластмассовой или резиновой оболочке бронированные и небронированные (1 кВ)

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Токовые нагрузки, А				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
		в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500

Таблица С.7- Допустимые токовые нагрузки на кабели с алюминиевыми жилами, бумажной изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке при прокладке в земле / в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимые токовые нагрузки, А			
	Трехжильные кабели при напряжении			Четырехжильные кабели при напряжении
	до 3 кВ	до 6 кВ	до 10 кВ	
6	55/35	–	–	46/–
10	75/35	60/42	–	65/45
16	90/60	80/50	75/46	90/60
25	125/80	105/70	90/65	115/75
35	145/95	125/85	115/80	135/95
50	180/120	155/110	140/105	165/110
70	220/155	190/135	165/130	200/140
95	260/190	225/165	205/155	240/165
120	300/220	260/190	240/185	270/200
150	335/225	300/225	275/210	305/230
185	380/290	340/250	310/235	345/260
240	440/330	390/290	355/270	–

Таблица С.8 - Допустимые длительные токовые нагрузки на провода с алюминиевыми жилами с резиновой полихлорвиниловой изоляцией

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимая токовая нагрузка, А			
	Провода, проложенные открыто	Провода проложенные в трубе		
		два одножильных	три одножильных	четыре одножильных
2	21	19	18	15
2,5	24	20	19	19
3	27	24	22	21
4	32	28	28	23
4	36	32	30	27
6	39	36	32	30
8	46	43	40	37
10	60	50	47	39
16	75	60	60	55
25	105	85	80	70
35	130	100	95	85
50	165	140	130	120
70	210	175	165	140
95	255	215	200	175
120	295	245	220	200



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: РПЗ-5,6,8,9,13. – М.: ФОРУМ: ИНФРА – М, 2003.
2. Юндин М.А., Королев А.М. Курсовое и дипломное проектирование по электроснабжению сельского хозяйства: учебное пособие. – 2-е издание: испр. и доп. – Зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2010. – 282 с.
3. Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.: ил.
4. ГОСТ 2.004-88; 2.104-68; 2.105-95; 2.106-68; 2.304-81; 2.321-84; 2.701-84; 2.702 – 75; 2.709-89; 7.32-91; 8.417-91; 13.1.002-80.
5. Ганенко А.П., Лапсарь М. И. Оформление текстовых и графических материалов при подготовке дипломных проектов, курсовых и письменных экзаменационных работ (требования ЕСКД).- М.,2005.
6. Сибикин Ю.Д., Сибикин М. Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок – М.: Высшая школа, 2001.
7. Алиев И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию - М.: Высш. Шк., 2000. – 255 с., ил.