

И. Б. Анцев, В. Н. Силенко

# ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации по агроинженерному образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства»*



Санкт-Петербург  
2010

УДК 744:621.3:003.62:006.354:621.313

ББК 31.26

A15

*Издание выпущено при поддержке Комитета по печати  
и взаимодействию со средствами массовой информации Санкт-Петербурга*

*Рецензенты:*

Доктор технических наук, профессор кафедры «Электрические системы и сети»

Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

*С. В. Смоловик*

Кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электроснабжения

Санкт-Петербургского государственного аграрного университета

*Л. И. Васильев*

**Анцев, И. Б.**

A15 Основы проектирования внутренних электрических сетей : учебное пособие /  
И. Б. Анцев, В. Н. Силенко. — СПб. : Проспект Науки, 2010. — 272 с.

Рассмотрены требования руководящих (нормативных) документов к выполнению проектов внутренних электрических сетей, методы определения основных показателей проектируемых электроустановок, методики расчетов и выбора электрооборудования. Приведены примеры оформления проектных документов и расчетов. Содержится значительный справочный материал.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства», а также будет полезно инженерам-проектировщикам.

ISBN 978-5-903090-37-2

УДК 744:621.3:003.62:006.354:621.313

ББК 31.26

ISBN978-5-903090-37-2

© ООО «Проспект Науки», 2010

© И. Б. Анцев, В. Н. Силенко, 2010

# Введение

Проектирование систем электрификации и, в частности электрических сетей напряжением до 1 кВ, является сложной инженерной задачей, требующей от исполнителей высокой квалификации. Инженер-проектировщик обязан обладать глубокими знаниями электротехнических наук, уметь разрабатывать и рассчитывать электрические схемы, разбираться в архитектурно-строительных проектах, знать основы технологии проектируемого производства (в частности, сельскохозяйственного), ориентироваться в современной электротехнической продукции, уметь использовать современные компьютерные системы проектирования и т. д.

Одним из основных факторов квалифицированного выполнения проектирования является знание руководящей (нормативно-технической) документации. В настоящее время действует значительное количество таких документов, вводятся в действие новые нормативы. Проектировщику необходимо ориентироваться в нормативных документах, знать требования руководящей документации и реализовывать их в проектах. Однако литература, в которой представлена единая классификация такой документации для проектирования, а также изложены необходимые требования, встречается редко. Как правило, с этим сталкивается молодой специалист, не имеющий достаточного опыта в проектировании.

Проектирование электроустановок и, в частности, внутренних электрических сетей напряжением до 1 кВ, связано также с необходимостью выполнения значительного количества расчетных мероприятий. Расчеты производятся в целях определения основных параметров электроустановки, выбора проводов и кабелей, коммутационно-защитной аппаратуры, шинопроводов, распределительных устройств, светильников и т. д. Кроме того, расчеты производятся для проверки правильности выбора электротехнических устройств.

В настоящем учебном пособии авторами, имеющими опыт работы в строительных и электромонтажных организациях, а также опыт проектирования, представлен в едином виде материал, необходимый для осуществления практического проектирования внутренних электрических сетей напряжением до 1 кВ промышленных и сельскохозяйственных объектов, жилых и общественных зданий.

С этой целью учебное пособие имеет структуру, позволяющую освоить основные этапы проектирования указанных электроустановок.

В разделе I представлена общая классификация руководящих документов по проектированию, рассмотрены порядок разработки, утверждения и состав проектной документации, а также требования руководящих документов к данной документации. Здесь же приведены требования государственных стандартов к проектной документации для внутренних электрических сетей напряжением до 1 кВ зданий и сооружений.

В разделе II приведена классификация помещений, технико-экономическое обоснование выбора рода тока и надежности электроснабжения проектируемой электроустановки, рассмотрены конструктивное выполнение цеховых сетей и типовые схемы электрических распределительных сетей напряжением до 1 кВ.

В разделе III представлены методики основных расчетов для определения электрических нагрузок, выбора устройств для компенсации реактивных мощностей, проводов и кабелей, шинопроводов, аппаратов защиты, защитного заземления, электрического освещения. Рассмотрены особенности защитных мер электробезопасности для сельскохозяйственных помещений. Представлена методика вычисления токов короткого замыкания. Имеются примеры осуществления основных расчетов.

В разделе IV имеются приложения, в которых приводятся:

- каталоги и примеры руководящих документов;
- правила оформления проектной документации в соответствии с государственными стандартами;
- примеры оформления документов из существующих проектов.

Материал учебного пособия соответствует разделам учебной дисциплины «Проектирование систем электрификации», которая изучается студентами по специальности «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» Санкт-Петербургского Государственного Аграрного университета.

Авторы признательны заведующей кафедрой электроснабжения Московского ГАУ доктору технических наук, профессору Т. Б. Лещинской за конструктивную критику.

Авторы благодарны доктору технических наук, профессору С. В. Смоловику, кандидату технических наук, доценту Л. И. Васильеву, кандидату технических наук, доценту А. С. Куприянову за помощь и поддержку.

# Раздел I

## ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

### Глава 1. РУКОВОДЯЩИЕ (НОРМАТИВНЫЕ) ДОКУМЕНТЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

#### 1.1. Государственные стандарты (ГОСТ)

##### Классификация государственных стандартов

В настоящее время стандарты по всем отраслям классифицируются по следующим группам:

- по Классификатору государственных стандартов (КГС);
- по Общероссийскому классификатору стандартов (ОКС).

На Интернет-сайтах для удобства пользователей приводятся тематические электронные библиотеки стандартов, включающие наиболее популярные системы:

— ЕСКД — Единая система конструкторской документации (обозначение — ГОСТ 2.xxxx-xx, где 2 — код по классификатору, xx — коды классификационной группы, номер стандарта и год принятия);

— ЕСТД — Единая система технологической документации (обозначение — ГОСТ 3.xxxx-xx);

— СПКП — Система показателей качества продукции (обозначение — ГОСТ 4.xxxx-xx);

— СПДС — Система проектной документации для строительства (обозначение — ГОСТ 21.xxx-xx);

— ССБТ — Система стандартов безопасности труда (обозначение — ГОСТ 12.xxx-xx);

— ГС ОЕИ — Государственная система обеспечения единства измерений (обозначение — ГОСТ 8.xxxx-xx);

— СРПП — Система разработки и постановки продукции на производство (обозначение — ГОСТ 15.xxxx-xx, ГОСТ Р 15.xxx-xx);

— НТ — Система надежности в технике;

— ЕСЗКС — Единая система защиты от коррозии и старения;

— СИБИБД — Стандарты по информации, библиотечному и издательскому делу;

- ЕСПД — Единая система программной документации;
- ИТ — информационные технологии;
- ЕСС АСУ — Единая система стандартов автоматизированных систем управления;
- БЧС — безопасность в чрезвычайных ситуациях;
- МР — менеджмент риска.

Более подробно классификация ГОСТ и перечень стандартов представлены в приложении 1.

## Государственные стандарты Единой системы конструкторской документации (ЕСКД)

Данные стандарты распространяются на чертежи и схемы устройств, изделий всех отраслей промышленности и строительства и устанавливают условные графические обозначения различных элементов и объектов, а также правила выполнения текстовых документов в технической документации.

*Примеры некоторых стандартов, регламентирующих выполнение электрических схем:*

- ГОСТ 2.701–84. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения схем;
- ГОСТ 2.702–75. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем. В данном документе определены типы электрических схем и приведены правила выполнения структурных, принципиальных схем, схем соединений, подключения, общих схем и схем расположения;
- ГОСТ 2.755–87. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения;
- ГОСТ 2.757–81. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Элементы коммутационного поля коммутационных систем;
- ГОСТ 2.760–82. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Электрооборудование и проводка на планах в судостроении.

Текстовые документы в технической (конструкторской, эксплуатационной) документации подразделяются на документы, содержащие, в основном, сплошной текст (технические условия, паспорта, расчеты, пояснительные записки, инструкции и т. п.), и документы, содержащие текст, разбитый на графы (спецификации, ведомости, таблицы и т. п.).

Текстовые документы выполняют на формах, установленных соответствующими стандартами Единой системы конструкторской доку-

ментации (ЕСКД) и Системы проектной документации для строительства (СПДС).

*Примеры некоторых стандартов, регламентирующих выполнение текстовых, конструкторских и технологических документов:*

- ГОСТ 2.105–95. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам. Настоящий стандарт устанавливает общие требования к выполнению текстовых документов на изделия машиностроения, приборостроения и строительства;
- ГОСТ 2.004–88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ;
- ГОСТ 2.104–68 ЕСКД. Основные надписи;
- ГОСТ 2.106–68 ЕСКД. Текстовые документы;
- ГОСТ 2.109–73 ЕСКД. Основные требования к чертежам;
- ГОСТ 2.301–68 ЕСКД. Форматы;
- ГОСТ 2.304–81 ЕСКД. Шрифты чертежные;
- ГОСТ 2.316–68 ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц;
- ГОСТ 2.321–84 ЕСКД. Обозначения буквенные.

### Государственные стандарты Системы проектной документации для строительства (СПДС)

Система проектной документации для строительства — это комплекс нормативных организационно-методических документов, устанавливающих общетехнические требования, необходимые для разработки, учета, хранения и применения проектной документации для строительства объектов различного назначения.

Основное назначение стандартов СПДС заключается в установлении единых правил выполнения проектной документации для строительства, обеспечивающих:

- унификацию состава, правил оформления и обращения документации с учетом назначения проектных документов;
- комплектность выдаваемой заказчику документации с учетом специализации подрядчика, вида и назначения используемых им документов;
- максимально необходимый объем документации для производства строительно-монтажных работ;
- общие правила выполнения чертежей и текстовых документов независимо от назначения проектируемого объекта и вида проектных решений;

- унификацию форм проектных документов и графических изображений с исключением не требующейся потребителю информации;
- унификацию терминов и понятий, применяемых в СПДС;
- применение проектной документации в автоматизированных системах проектирования и управления строительным производством;
- возможность качественного выпуска проектной продукции и ее репрографии.

Кроме того, требования стандартов СПДС должны быть взаимоувязаны с требованиями стандартов соответствующих унифицированных систем документации, в том числе государственных стандартов ЕСКД, стандартов системы репрографии и СФД, международных стандартов ИСО и МЭК, а также с другими взаимосвязанными нормативными документами.

Применительно к электроустановкам настоящие стандарты устанавливают состав и правила оформления рабочих чертежей силового электрооборудования, электрического освещения предприятий, зданий и сооружений для всех отраслей промышленности и народного хозяйства.

Обозначения стандартов СПДС строятся по классификационному признаку и состояются из:

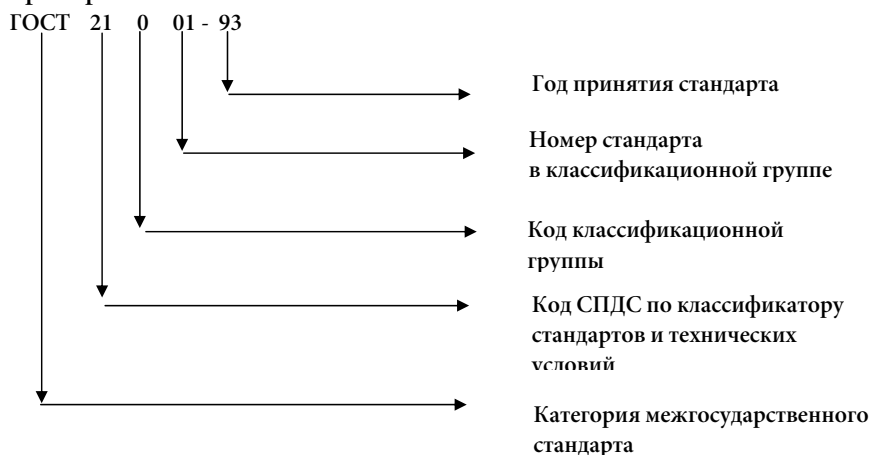
- сокращенного наименования категории нормативного документа;
- двузначного цифрового кода СПДС по классификатору;
- порядкового номера стандарта (после точки) в данной системе;
- двух последних цифр (после тире), указывающих год принятия стандарта.

#### *Примеры стандартов СПДС:*

- ГОСТ 21.001–93. Система проектной документации для строительства. Общие положения.
- ГОСТ 21.101–97. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.
- ГОСТ 21.614–88. Система проектной документации для строительства. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах.
- ГОСТ 21.607–82. Система проектной документации для строительства. Электрическое освещение территории промышленных предприятий.
- ГОСТ 21.608–84. Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи.
- ГОСТ 21.613–88. Система проектной документации для строительства. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи.
- ГОСТ 21.501–93. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей.



### Пример обозначения:



## Государственные стандарты на электроустановки зданий

К данной группе относятся прежде всего стандарты с аббревиатурой ГОСТ Р, в частности ГОСТ Р 50571.*x-xx* (МЭК-*xx*), где *x* — цифры, обозначающие код классификационной группы, номер и год принятия стандарта. Этот комплекс стандартов принимается с середины 90-х годов XX века, при этом учитываются требования Международной электротехнической комиссии (МЭК).

Комплекс стандартов на электроустановки зданий устанавливает требования по устройству электроустановок жилых, общественных и производственных зданий для обеспечения единого подхода к их проектированию и сооружению, обеспечению согласованных мер безопасности и защиты от поражения электрическим током.

Комплекс стандартов на электроустановки зданий применяют в качестве основополагающего документа во всех областях, входящих в сферу работ по стандартизации и сертификации электроустановок зданий, при разработке и пересмотре стандартов, нормативов и правил на устройство, испытания и эксплуатацию электроустановок зданий, включая правила пожарной безопасности, строительные нормы и правила, санитарные нормы проектирования промышленных предприятий и другие нормативные документы, затрагивающие требования безопасности электроустановок зданий.

Настоящий стандарт устанавливает основные положения комплекса стандартов на электроустановки зданий.

Комплекс стандартов распространяется на электроустановки:

- жилых зданий;
- производственных зданий;
- торговых предприятий;

- общественных зданий;
- сельскохозяйственных строений;
- жилых автофургонов и стоянок для них;
- стройплощадок, зрелищных сооружений, ярмарок и др. временных сооружений.

*Примеры стандартов на электроустановки зданий:*

- ГОСТ Р 50571.1–93. Электроустановки зданий. Основные положения;
- ГОСТ Р 50571.2–94. Электроустановки зданий. Часть 3. Основные характеристики;
- ГОСТ Р 50571.3–94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током;
- ГОСТ Р 50571.5–94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока;
- ГОСТ Р 50571.6–94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от понижения напряжения;
- ГОСТ Р 50571.8–94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Общие требования по применению мер защиты для обеспечения безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током;
- ГОСТ Р 50571.10–96. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Заземляющие устройства и защитные проводники.

## Государственные стандарты на электротехнические устройства

Данные стандарты определяют технические условия, технические требования к изготовлению, монтажу, конструкции, типы и размеры, методы определения параметров, а также методы испытаний электротехнических устройств. Данная группа государственных стандартов имеет обозначения от ГОСТ 10 xxx-xx до ГОСТ 30 xxx-xx, а также ряд других цифровых обозначений.

*Примеры таких стандартов:*

- ГОСТ 12177–79. Кабели, провода и шнуры. Методы проверки конструкции;
- ГОСТ 12434–83. Аппараты коммутационные низковольтные. Общие технические условия;
- ГОСТ 14693–90. Устройства комплектные распределительные негерметизированные в металлической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия;
- ГОСТ 21130–75. Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления. Конструкция и размеры;
- ГОСТ 27483–87. Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания нагретой проволокой;

- ГОСТ Р 52320–2005. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть II. Счетчики электрической энергии.

В составе данных стандартов имеются стандарты на проведение расчетных мероприятий.

*Например:*

- ГОСТ 26522–85. Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения;
- ГОСТ Р 50270–92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ;
- ГОСТ Р 50254–92. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания;
- ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.

## Система стандартов безопасности труда (ССБТ)

*Примеры таких стандартов:*

- ГОСТ 12.4.155–85. ССБТ. Устройства защитного отключения. Классификация. Общие технические требования;
- ГОСТ 12.2.007.0–75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности;
- ГОСТ 12.2.007.1–75. ССБТ. машины электрические вращающиеся. Требования безопасности;
- ГОСТ 12.2.007.11–75. ССБТ. Преобразователи электроэнергии полупроводниковые. Требования безопасности;
- ГОСТ 12.2.007.14–75. ССБТ. Кабели и кабельная арматура. Требования безопасности.

## 1.2. Документы, устанавливающие требования пожарной безопасности

### Правила пожарной безопасности ППБ (ППБ 01–03)

Правила пожарной безопасности в Российской Федерации (далее — Правила) устанавливают требования пожарной безопасности на территории Российской Федерации, обязательные для применения и исполнения органами государственной власти, органами местного самоуправления, организациями независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, их должностными лицами, предпринимателями без образования юридического лица, гражданам Российской Федерации,

иностранным гражданам, лицам без гражданства в целях защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, охраны окружающей среды.

В Правилах указано, что на каждом объекте должна быть обеспечена безопасность людей при пожаре, а также разработаны инструкции о мерах пожарной безопасности для каждого взрывопожароопасного и пожароопасного участка (мастерской, цеха и т. п.) в соответствии с соответствующим приложением.

Правилами определены следующие общие требования:

- организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности;
- требования пожарной безопасности к территориям, зданиям, сооружениям, помещениям;
- требования пожарной безопасности к электроустановкам;
- требования пожарной безопасности к системам отопления и вентиляции;
- требования пожарной безопасности к другим видам инженерного оборудования;
- содержание сетей противопожарного водоснабжения;
- содержание установок пожарной сигнализации и пожаротушения, систем противодымной защиты, оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией;
- содержание пожарной техники и первичных средств пожаротушения;
- порядок действий при пожаре.

Правилами определены требования пожарной безопасности для населенных пунктов, зданий для проживания людей, научных учреждений и учебных заведений, детских дошкольных учреждений, культурно-просветительных и зрелищных учреждений, объектов торговли, лечебных учреждений со стационаром, промышленных предприятий, объектов сельскохозяйственного производства, транспорта, транспортирования взрывоопасных и пожароопасных веществ и материалов, объектов хранения, строительно-монтажных, реставрационных и пожароопасных работ, автозаправочных комплексов и станций, культовых сооружений.

Наряду с настоящими Правилами следует также руководствоваться иными нормативными документами, содержащими требования пожарной безопасности, утвержденными в установленном порядке. К основным таким документам относятся ГОСТы по пожарной безопасности, Нормы пожарной безопасности, Строительные нормы и правила по пожарной безопасности.

## Государственные стандарты по пожарной безопасности

*Примеры таких стандартов:*

- ГОСТ Р 12.3.047–98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля;
- ГОСТ Р 50898–96. Извещатели пожарные. Огневые испытания;
- ГОСТ Р 50969–96. Установки газового пожаротушения автоматические. Общие технические требования. Методы испытаний;
- ГОСТ Р 50982–96. Техника пожарная. Инструмент для проведения специальных работ на пожаре.

Часть стандартов, рассмотренных в разделе «1.1. Государственные стандарты (ГОСТ)», также содержат требования пожарной безопасности. Это некоторые стандарты ССБТ, стандарты на испытания, на технические условия, в частности, на взрывозащищенное электрооборудование.

*Например:*

- ГОСТ Р 51330.1–99 (МЭК 60079-1-98). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 1. Взрывозащита вида «взрывонепроницаемая оболочка».
- ГОСТ Р 51330.17–99 (МЭК 60079-18-92). Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 18. Взрывозащита вида «Герметизация компаундом (m)».
- ГОСТ Р 51330.18–99 (МЭК 60079-19-93) Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 19. Ремонт и проверка электрооборудования, используемого во взрывоопасных газовых средах (кроме подземных выработок или применений, связанных с переработкой и производством взрывчатых веществ).

## Нормы пожарной безопасности (НПБ)

Нормы пожарной безопасности уточняют, конкретизируют и дополняют определенные положения Правил пожарной безопасности.

*Примеры НПБ:*

- НПБ 105–03. Определение категорий помещения и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности. *В данном документе указаны категории помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности;*
- НПБ 110–03. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией. *В данном документе указаны условия прокладки кабельных линий в зависимости от группы горючести материалов, а также определены помещения, которые оборудуются системами АУПТ и АУПС.*

## Строительные нормы и правила (СНиП) по пожарной безопасности

Строительные нормы и правила по пожарной безопасности также уточняют, конкретизируют и дополняют положения Правил пожарной безопасности, касающиеся вопросов проектирования и строительства.

*Примеры таких СНиП:*

- СНиП 21–01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. *В данном документе приведена классификация строительных материалов и строительных конструкций по пожарной опасности, а также определены основные положения по обеспечению безопасности людей при эвакуации;*
- СНиП 2.04.09–84. Пожарная автоматика зданий и сооружений;
- СНиП 2.01.02–85. Строительные нормы и правила. Противопожарные нормы. *Данные нормы устанавливают пожарно-техническую классификацию зданий и сооружений, их элементов, строительных конструкций, материалов, а также общие противопожарные требования к конструктивным и планировочным решениям помещений, зданий и сооружений различного назначения.*

### 1.3. Правила устройства электроустановок

Правила устройства электроустановок (ПУЭ) распространяются на вновь сооружаемые и реконструируемые электроустановки постоянного и переменного тока напряжением до 750 кВ. Требования настоящих Правил рекомендуется применять для действующих электроустановок, если это повышает надежность электроустановки и если ее модернизация направлена на обеспечение требований безопасности.

Электроустановкой называется совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другие виды энергии.

Правила определяют требования к системам электроснабжения и электрическим сетям, выбору проводников и электрических аппаратов, учету электроэнергии, измерению электрических величин, заземлению и защитным мерам безопасности, нормам приемо-сдаточных испытаний, изоляции электроустановок, канализации электроэнергии (электро- и токопроводам, кабельным и воздушным линиям), системам защиты и автоматики, распределительным устройствам и подстанциям, электросиловым установкам, электрическому освещению, электрообо-

рудованию специальных установок (электроустановкам жилых, общественных, административных и бытовых зданий; зрелищных предприятий, клубных учреждений и спортивных сооружений; электроустановкам во взрывоопасных и пожароопасных зонах; электротермическим, электросварочным установкам; электролизным установкам и установкам гальванических покрытий).

В настоящее время (2009 г.) действуют Правила 6-го издания. Однако с 2002 г. по мере завершения работ по пересмотру, согласованию и утверждению выпускаются и вводятся в действие отдельными разделами и главами Правила 7-го издания. К моменту издания учебного пособия введены в действие следующие разделы и главы ПУЭ 7-го издания:

- *Раздел 1. Общие правила*
  - Глава 1.1. Общая часть.
  - Глава 1.2. Электроснабжение и электрические сети.
  - Глава 1.7. Заземление и защитные меры электробезопасности.
  - Глава 1.8. Нормы приемо-сдаточных испытаний.
  - Глава 1.9. Изоляция электроустановок.
- *Раздел 2. Канализация электроэнергии*
  - Глава 2.4. Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ.
  - Глава 2.5. Воздушные линии электропередачи напряжением выше 1 кВ.
- *Раздел 4. Распределительные устройства и подстанции*
  - Глава 4.1. Распределительные устройства напряжением до 1 кВ переменного тока.
  - Глава 4.2. Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ.
- *Раздел 6. Электрическое освещение*
  - Глава 6.1. Общая часть.
  - Глава 6.2. Внутреннее освещение.
  - Глава 6.3. Наружное освещение.
  - Глава 6.4. Световая реклама, знаки и иллюминация.
  - Глава 6.5. Управление освещением.
  - Глава 6.6. Осветительные приборы и электроустановочные устройства.
- *Раздел 7. Электрооборудование специальных установок*
  - Глава 7.1. Электроустановки жилых, общественных, административных и бытовых зданий.
  - Глава 7.2. Электроустановки зрелищных предприятий, клубных учреждений и спортивных сооружений.
  - Глава 7.5. Электротермические установки.
  - Глава 7.6. Электросварочные установки.
  - Глава 7.10. Электролизные установки и установки гальванических покрытий.

## 1.4. Правила технической эксплуатации

Правила технической эксплуатации регламентируют организацию эксплуатации объектов различных отраслей народного хозяйства (железных дорог, магистральных нефтепроводов, магистральных газопроводов, тепловых энергоустановок, дизельных электростанций, электрических сетей, электроустановок потребителей, сетей связи и т. д.).

В качестве примеров таких Правил, относящихся к электроустановкам, приведем *следующие*:

- Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

В данном документе приведены требования по организации эксплуатации электроустановок потребителей, а также требования к электрооборудованию и электроустановкам общего и специального назначения (силовым трансформаторам и реакторам, распределительным устройствам и подстанциям, воздушным линиям электропередач, кабельным линиям, электродвигателям, релейной защите и автоматике, заземляющим устройствам, защите от перенапряжений, конденсаторным и аккумуляторным установкам, средствам контроля и учета, электрическому освещению, электро-сварочным и электротермическим установкам, электрооборудованию во взрывоопасных зонах, переносным и передвижным электроприемникам.

- Правила технической эксплуатации электростанций и сетей.

## 1.5. Строительные нормы и правила (СНиП)

Строительные нормы и правила — одна из наиболее многочисленных групп нормативных технических документов, которые можно разделить на следующие подгруппы:

- организационно-методические нормативные документы;
- общие технические нормативные документы;
- нормативные документы на инженерное оборудование зданий и сооружений и внешние сети;
- нормативные документы на строительные конструкции и изделия;
- нормативные документы по градостроительству, зданиям и сооружениям.

*Примеры СНиП:*

- СНиП 3.05.06–85. Электротехнические устройства.

*Настоящие правила распространяются на производство работ при строительстве новых, а также при реконструкции, расширении и техническом перевооружении действующих предприятий по монтажу и наладке электротехнических устройств, в том числе: электрических подстанций, распределительных пунктов и воздушных линий электропередачи напряжением до 750 кВ, кабельных линий напряжением до 220 кВ, релейной защиты,*



силового электрооборудования, внутреннего и наружного электрического освещения, заземляющих устройств.

*Настоящие правила регламентируют проведение электромонтажных и пусконаладочных работ.*

- СНиП 23–05–95. Естественное и искусственное освещение.

*Документ устанавливает нормы естественного, искусственного и смешанного освещения зданий и сооружений, а также площадок предприятий и мест производства работ вне зданий.*

## 1.6. Руководящие документы — своды правил (СП), руководящие документы (РД), ведомственные строительные нормы (ВСН), отраслевые строительные нормы (ОСН)

Данные документы определяют основные правила проектирования, а также специфику проектирования объектов различного назначения.

*Примеры таких документов:*

- СП 31-110-2003. Свод правил «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий». Данный документ издан вместо действовавшего ранее ВСН 59-88 «Электрооборудование жилых и общественных зданий».
- РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений;
- СО 153-343.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций;
- РД 34.20.185-94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей;
- ВСН 123-90 (ММСС СССР). Инструкция по оформлению приемо-сдаточной документации по электромонтажным работам;
- ОСН-АПК 2.10.24.001-24. Нормы освещения сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений.

## 1.7. Строительные нормы, инструкции (СН)

*Примеры таких документов:*

- СН 174-75. Инструкция по проектированию электроснабжения промышленных предприятий; вместо данного документа введен новый — НТП ЭПП-94 — см. раздел «Нормы технологического проектирования»;
- СН 357-77. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий. Инструкция

СН357–77 в значительной мере устарела, но еще не исключена из числа действующих нормативных документов по строительству. Часть разделов данной инструкции подверглись изменениям, что определено новыми документами — нормами технологического проектирования (см. раздел «Нормы технологического проектирования»).

- СН 465–74. Нормы отвода земель для электрических сетей напряжением 0,4–500 кВ;
- СН 541–82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов.

## 1.8. Санитарные правила и нормы (СанПиН)

Санитарные правила и нормы регламентируют выполнение соответствующих правил и норм на различных объектах.

*Примеры таких документов:*

- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Проектирование, строительство, реконструкция и эксплуатация предприятий, планировка и застройка населенных пунктов. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. В данном документе даны нормируемые показатели освещенности помещений в лм.
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 (Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы).

## 1.9. Нормы технологического проектирования (НТП)

К комплексу документов данного типа относятся ведомственные (отраслевые) нормы технологического проектирования (ВНТП, ОНТП, НТП), руководства по технологическому проектированию (РТП). Данные нормы распространяются на проектирование объектов различных министерств и ведомств, учитывая специфику соответствующих объектов.

*Примеры таких документов:*

- ВНТП 21–92. Нормы технологического проектирования предприятий кондитерской промышленности;
- ВНТП 211–93. Минсвязи России. Ведомственные нормы технологического проектирования предприятия радиосвязи, радиовещания и телевидения. Земные станции спутниковой связи;
- ВНТП 81. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций;
- НТП-АПК 1.10.05.001–01. Нормы технологического проектирования птицеводческих предприятий;
- НТП-АПК 1.10.16.002–03. Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов;

- Нормы технологического проектирования. Проектирование осветительных электроустановок промышленных предприятий. Внутреннее освещение. 1996 г. (взамен СН 357–77 в части освещения). *Данный документ не является утвержденным нормативным документом по строительству, но его указаниями и рекомендациями можно руководствоваться при проектировании внутреннего освещения промышленных предприятий, административно-бытовых, конторских, лабораторных и проектно-конструкторских помещений промышленных предприятий.*
- Нормы технологического проектирования. Проектирование силовых электроустановок промышленных предприятий. 1999 г. (взамен СН 357–77 в части силового оборудования); *настоящие нормы технологического проектирования содержат основные указания по проектированию подключенных к электрическим сетям напряжением до и выше 1 кВ силовых электроустановок вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий и приравненных к ним потребителей;*
- НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий (взамен СН 174–75); *настоящие нормы технологического проектирования содержат основные указания по проектированию систем электроснабжения напряжением выше и до 1 кВ вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий и приравненных к ним потребителей.*

## 1.10. Технические циркуляры, нормативные документы

Такие документы издаются надзорными органами, либо согласовываются с такими органами. Как правило, этими документами конкретизируются различные позиции по проектированию или строительству (электромонтажным работам).

*Примеры:*

- Технический циркуляр № 6/2004. О выполнении основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания. *Данный документ утвержден президентом ассоциации «Росэлектромонтаж», согласован с руководителем Госэнергонадзора.*
- Технический циркуляр № 7/2004. О прокладке электропроводок за подвесными потолками и в перегородках.

## 1.11. Типовые технологические карты (ТТК)

Типовые технологические карты разработаны для производства конкретных работ. В каждой ТТК определена область применения, разработаны организация и технология производства работ, определены

мероприятия по охране труда и техники безопасности. В карте может быть также определена калькуляция затрат труда и разработаны технико-экономические показатели.

*Примеры типовых технологических карт:*

- ТТК. Монтаж осветительной электроустановки при открытой проводке;
- ТТК. Ремонт скрытой электропроводки;
- ТТК. Монтаж осветительной электроустановки при скрытой проводке;
- ТТК. Ремонт осветительной электроустановки квартиры с выполнением скрытой проводки;
- ТТК. Электропрогрев бетона.

## 1.12. Сметные нормативные документы

### Общие положения

Сметные нормативные документы (сметные нормативы) предназначены для выполнения сметных расчетов по различным видам проектных, строительных и ремонтных работ. В состав таких документов входят Государственные элементные сметные нормы (ГЭСН), федеральные единичные расценки на строительные и ремонтные работы (ФЕР), территориальные единичные расценки (ТЕР), отраслевые единичные расценки (ОЕР), **методические указания в строительстве** (МДС) и другие документы.

### Государственные элементные сметные нормы

ГЭСН предназначены для определения состава и потребности в ресурсах, необходимых для выполнения строительных работ, составления сметных расчетов (смет) ресурсным методом, а также для расчетов за выполненные работы и списания материалов.

ГЭСН являются исходными нормативами для разработки Государственных единичных расценок на ФЕР и ТЕР уровней, индивидуальных и укрупненных норм (расценок) и других нормативных документов, применяемых для определения прямых затрат в сметной стоимости строительных работ.

Постановлением Госстроя России от 05.03.2004 № 15/1 принята и вводится в действие с 09.03.2004 «Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации» (МДС 81-35.2004) взамен «Свода правил по определению стоимости строительства в составе предпроектной и проектно-сметной документации» (СП 81-01-94).

Сметными нормами и расценками предусмотрено производство работ в нормальных (стандартных) условиях, не осложненных внешними факторами. При производстве работ в особых условиях:

стесненности, загазованности, вблизи действующего оборудования, в районах со специфическими факторами (высокогорность и др.) — к сметным нормам и расценкам применяются коэффициенты, приводимые в общих положениях к соответствующим сборникам нормативов и расценок.

ГЭСН отражают среднеотраслевые затраты на принятую технику, технологию и организацию работ по видам работ. В связи с этим ГЭСН могут применяться для определения затрат всеми организациями-заказчиками и подрядными организациями независимо от их организационно-правовых форм и ведомственной принадлежности.

#### *Примеры ГЭСН:*

- **ГЭСН на строительные и специальные строительные работы:**
  - ГЭСН-2001–33(1) Сборник № 33. Линии электропередачи. Книга 1. Электрические сети напряжением 0,38–1150 кВ;
- **ГЭСНр на ремонтно-строительные работы:**
  - ГЭСНр-2001–67 Сборник № 67. Электромонтажные работы;
- **ГЭСНм на монтаж оборудования:**
  - ГЭСНм-2001–08 Сборник № 8. Электротехнические установки (начало);
  - ГЭСНм-2001–08 Сборник № 8. Электротехнические установки (окончание);
- **ГЭСНп на пусконаладочные работы:**
  - ГЭСНп-2001–01 Сборник № 1. Электротехнические устройства.

### Федеральные единичные расценки

Сборники ФЕР содержат полный набор расценок по видам работ, выполняемым на территории Российской Федерации. Они разрабатываются в уровне цен для 1-го базового района (Московская область), утверждаются и вводятся в действие Росстроем (Госстроем) России. ФЕР используются во всех отраслях народного хозяйства.

Сборники ФЕР вместе с государственными элементными сметными нормами образуют единую государственную сметно-нормативную базу для разработки системы укрупнённых сметных нормативов.

Единичные расценки, в том числе ФЕР, сведены в таблицы и содержат на принятый в них измеритель конструкций или работ следующие показатели:

- затраты на оплату труда рабочих (кроме затрат труда, учитываемых в стоимости эксплуатации строительных машин) по состоянию на 01.01.2000 г.;
- стоимость эксплуатации строительных машин, в том числе оплаты труда рабочих, обслуживающих машины;

- стоимость материалов, изделий и конструкций (кроме материалов, конструкций и изделий, характеристика которых при составлении смет принимается по проектным данным);
- нормы расхода материалов (в натуральных показателях), стоимость которых не учитывается в единичной расценке;
- наименования и, как правило, нормы расхода материалов, изделий и конструкций, характеристика которых принимается при составлении смет по проектным данным.

Федеральные единичные расценки делятся на следующие:

- ФЕР на строительные и специальные строительные работы;
- ФЕР на монтаж оборудования (ФЕРм);
- ФЕР на пусконаладочные работы (ФЕРп).

*Пример ФЕР:*

- ФЕР на строительные работы ФЕР 2001–33. Линии электропередачи. Книга 1. Электрические сети напряжением 0,38–1150 кВ.

## Территориальные единичные расценки

ТЕР содержат набор расценок по видам работ, выполняемым на территории регионов Российской Федерации. Утверждаются ТЕРы соответствующими региональными властями. Так, например, **Территориальные единичные расценки на монтаж оборудования ТЕРм-2001 СПб** утверждены и введены в действие приказом Комитета экономики и промышленной политики администрации Санкт-Петербурга в 2001 г.

В указаниях по применению ТЕРм-2001 сказано, что ТЕРм предназначен для определения прямых затрат в сметной стоимости выполнения работ по монтажу оборудования и используется для составления сметных расчетов (смет) на монтаж оборудования и расчетов за выполненные монтажные работы.

ТЕРм составлен на основе:

- Государственных элементных сметных норм на монтаж оборудования ГЭСНм-2001;
- средних сметных цен на материалы, изделия и конструкции в Санкт-Петербурге по состоянию на 1 января 2000 года;
- средних сметных расценок на эксплуатации строительных машин и механизмов в Санкт-Петербурге по состоянию на 1 января 2000 года;
- уровня оплаты труда рабочих-монтажников и машинистов в Санкт-Петербурге по состоянию на 1 января 2000 года по существующей тарифной сетке.

## Отраслевые единичные расценки

ОЕР — это отраслевые сборники ЕР (единичных расценок). ОЕР включают в свой состав единичные расценки, используемые для производственных объектов и разрабатываемые для специализированных видов строительства (энергетическое, транспортное, водохозяйственное, горнокапитальное, газопроводы, связь, отдельные виды промышленных объектов и т. п.). Разработка сборников ОЕР осуществляется, как правило, ведущими отраслевыми институтами по строительному проектированию, определяемыми федеральными органами или отраслевой структурой. Для сборников ОЕР за основу принимается номенклатура видов работ, имеющаяся в ГЭСН и других действующих нормативах. Из отбираемых в состав макета видов работ принимаются работы, которые выполняются непосредственно в отрасли.

## Другие документы

**МДС** — методические указания в строительстве. Это альфа и омега профессии сметчика, главный документ и справочник, так как в этих документах указываются методики применения сметных норм. Особенно необходим **МДС 81–35.2004**.

**ЕНиР** — единичные нормы и расценки. Например — «**Электромонтажные работы. Кабельные линии. 1990 г.**».

Имеются также ЕНиР по электромонтажным работам.

**Сметные нормативы ТСН–2001** — это территориальная сметно-нормативная база для города Москвы. Эти сборники территориальных сметных нормативов для Москвы введены в действие с 1 декабря 2006 года в соответствии с Постановлением Правительства Москвы от 14.11.06 № 900-ПП «О порядке перехода на определение сметной стоимости строительства объектов в городе Москве с применением территориальных сметных нормативов в уровне цен по состоянию на 1 января 2000 года». Государственным заказчикам, осуществляющим строительство (техническое перевооружение, реконструкцию, капитальный ремонт) объектов за счет средств бюджета города Москвы, при заключении государственных контрактов на разработку проектно-сметной документации с 1 декабря 2006 года в заданиях на проектирование следует предусматривать составление сметной документации на основе территориальных сметных нормативов для Москвы (ТСН–2001).

**Сметные нормативы МТСН 81–98** — местные территориальные сметные нормативы для г. Москвы, составленные в ценах на 01.01.98 г. были разработаны Московским центром ценообразования в строительстве (МЦЦС) и пользовались большой популярностью у московских сметчиков. Остальным приходилось лишь любопытствовать и (или) завидовать — впрочем, МТСН 81–98 с удовольствием использовали

и немосквичи, но, естественно, при расчётах смет не для бюджетных организаций. Позже на смену МТСН 81–98 пришли сметные нормативы ТСН-2001.

### 1.13. Прочие документы

К данным документам относятся руководящие документы в строительстве (РДС), рекомендации, руководства, инструкции, методические рекомендации и т. п. Более полный перечень руководящих (нормативных) документов представлен в приложении 1.

## Глава 2. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

### 2.1. Порядок разработки, утверждения и состав проектной документации

#### Общие положения проектирования

Проектирование внутренних электрических сетей промышленных и сельскохозяйственных объектов, жилых и административных зданий связано с необходимостью работы с архитектурно-строительной документацией. Поэтому инженер-электрик, осуществляющий проектирование, должен знать основные положения по составу проектной документации, порядку ее разработки, уметь читать архитектурно-строительные планы помещений и т. д. Достижению этих целей и посвящена настоящая глава.

Кроме того, этапы и стадии проектирования, порядок выдачи задания на проектирование, порядок разработки и состав проектов (в том числе и для внутренних электрических сетей) определены в соответствии с Государственными стандартами Системы проектной документации для строительства (СПДС), требования которых также представлены в данной главе.

Понятие «строительство» включает в себя новое строительство, реконструкцию, расширение и техническое перевооружение действующих предприятий. Для того чтобы построить здание, сооружение или предприятие, необходимо сначала их спроектировать, т. е. выполнить соответствующие технические и экономические расчеты, которые в закон-



ченном виде представляют собой комплекс технической документации, называемой проектом. Для принятия правильного проектного решения, отвечающего требованиям отрасли и предусматривающего совершенствование технического уровня производства, созданы проектные институты и организации, некоторые из которых специализируются на отдельных видах проектирования: специальных строительных, технологических, монтажных, инженерных и др.

Для проектирования сложного объекта возникает необходимость участия не одной, а несколько проектных организаций. Для этого по каждому крупному объекту выделяется генеральная проектная организация, которая может привлекать другие проектные организации для осуществления проектирования различных разделов. На генеральную проектную организацию возлагается ответственность за техническую и экономическую целесообразность проекта в целом, за увязку его отдельных частей и за своевременный и комплексный выпуск проектов и смет.

Разработка проектно-сметной документации на реконструкцию и техническое перевооружение цехов, участков, совершенствование отдельных технологических потоков может осуществляться силами производственных объединений при согласовании, а в необходимых случаях и с привлечением для решения отдельных вопросов проектной организации.

Проектирование предприятий, зданий и сооружений осуществляется на основе утвержденных в установленном порядке схем развития и размещения отраслей народного хозяйства, отраслей промышленности, схем развития и размещения производительных сил по экономическим районам. В составе этих схем приводятся материалы с необходимыми расчетами, обосновывающие целесообразность проектирования, строительства, реконструкции или расширения предприятий, зданий и сооружений, определяются расчетная стоимость строительства и другие основные технико-экономические показатели объектов.

Важнейшими направлениями в проектировании должны быть типизация проектных решений на базе унификации архитектурно-планировочных, конструктивных и технологических узлов, конструкций и изделий, а также широкое применение типовых проектов.

## Этапы и стадии проектирования

Проектом называют комплекс графических и текстовых материалов, содержащих решения по технологии и оборудованию будущего предприятия или здания, архитектурно-планировочные и конструктивные решения, технико-экономические расчеты и обоснования, сметы и необходимые пояснения.

Порядок разработки, согласования, утверждения и состав проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений определяется, в частности, следующими документами:

- СНиП 11-01-95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений;
- Типовое положение о порядке выдачи исходных данных и технических условий на проектирование, согласования документации на строительство, а также оплаты указанных услуг. 1997 г. (Минстрой России);
- РДС 11-201-95. Инструкция о порядке проведения государственной экспертизы проектов строительства.

В необходимых случаях субъекты Российской Федерации, министерства и ведомства разрабатывают и утверждают территориальные и отраслевые нормативные документы с учетом региональных особенностей и отраслевой специфики проектируемых объектов.

Данные документы определяют порядок выдачи исходных данных, технических условий, требований о размещении объекта строительства, присоединения его к источникам снабжения, инженерным сетям и коммуникациям, согласование предпроектной, проектной и другой документации, а также оказание практической помощи заказчикам (инвесторам), проектным и другим организациям — участникам инвестиционного процесса при организации и выполнении указанных работ в процессе принятия решения о целесообразности и возможности строительства предприятий, зданий и сооружений на соответствующей территории.

Начальным этапом проектирования, относящимся к предпроектным работам, является разработка технико-экономического обоснования при строительстве крупных объектов или технико-экономических расчетов, которые должны установить техническую и экономическую целесообразность, а также хозяйственную необходимость проектирования и последующего строительства или реконструкции предприятия.

На этом этапе осуществляются выбор строительной площадки и отвод земельного участка, составление задания на проектирование, утверждение его и выдача проектной организации.

Вторым этапом являются собственно проектные и изыскательские работы, т. е. разработка проектно-сметной документации на основе решений, принятых в задании на проектирование.

Последним этапом работы проектировщиков является авторский надзор за производством строительно-монтажных работ и участие в приемке законченных строительством объектов.

Проектирование промышленных предприятий, зданий и сооружений выполняется в соответствии с «Инструкцией о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» может осуществляться в одну стадию (рабочий проект) или в две стадии (проект и ра-

бочая документация) — рис. 2.1. Порядок разработки проектно-сметной документации в одну или две стадии определяется в ТЭО или ТЭР.

При одностадийном проектировании разрабатывают проект (рабочий проект, совмещенный с рабочими чертежами). Проектирование в одну стадию разрешается при использовании типового или повторно применяемого индивидуального проекта, а также при технически несложных объектах. При двухстадийном проектировании на первой стадии разрабатывается проект со сводным расчетом стоимости, а на второй стадии на основе проекта после его утверждения — рабочая документация.

Рабочая документация состоит из рабочих чертежей, смет, ведомостей объемов строительных и монтажных работ, сводных ведомостей в потребности строительных материалов, спецификации на оборудование, паспорта строительных чертежей. При разработке рабочей документации для строительства объектов проектная организация должна осуществлять необходимую доработку и конкретизацию принципиальных технологических, архитектурно-строительных и других решений, принятых в утвержденном проекте (рабочем проекте).

В соответствии с заданием на проектирование могут разрабатываться индивидуальные, повторно применяемые и типовые проекты. Объекты массового строительства, как правило, сооружаются по типовым проектам. В качестве повторно применяемых проектов используют наиболее удачные индивидуальные. Многократная привязка таких проектов осуществляется при отсутствии или недостаточном наборе типовых решений. Индивидуальное проектирование применяется лишь в случае невозможности или нецелесообразности использования соответствующего типового проекта.

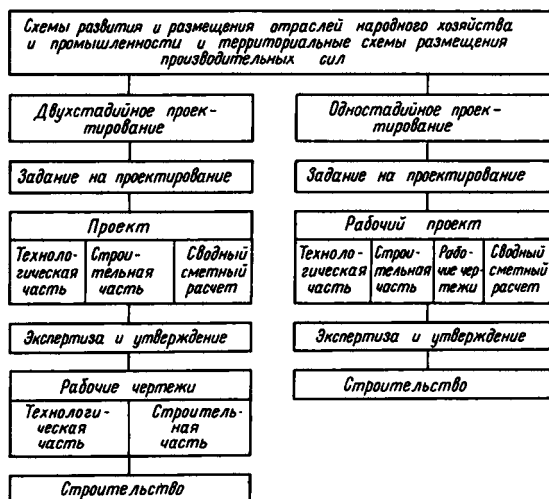


Рис. 2.1. Организация проектирования в одну или две стадии

Индивидуальные проекты разрабатываются только для однократного строительства здания или сооружения или их комплекса. Типовой проект — лучшее из аналогичных по назначению и основным параметрам проектное решение предприятия, здания или сооружения, утвержденное в соответствующем порядке для многократного проектирования.

Типовой проект позволяет резко снизить стоимость строительства за счет уменьшения стоимости строительных деталей, выпускаемых в большом количестве, а также стоимости строительно-монтажных работ. При использовании типовых проектов проектные организации производят их привязку (проверку принятых в типовом проекте решений) к конкретным условиям места строительства. Проектным организациям предоставлено право при согласовании с подрядной строительной организацией вносить изменения в типовые проекты и применять более прогрессивную технологию, а также решать архитектурно-планировочные и конструктивные задачи, обеспечивая при этом улучшение технико-экономических показателей и снижение стоимости.

## Задание на проектирование

Основным документом, регулирующим правовые и финансовые отношения, взаимные обязательства и ответственность сторон, является **договор** (контракт), заключаемый заказчиком с привлекаемыми им для разработки проектной документации проектными, проектно-строительными организациями, другими юридическими и физическими лицами. Неотъемлемой частью договора (контракта) должно быть задание на проектирование.

Задание на проектирование представляет собой документ, на основе которого будет решаться весь комплекс вопросов, входящих в состав проекта. Задание на проектирование предприятия, здания и сооружения составляется заказчиком проекта с привлечением генерального проектировщика на основе материалов и расчетов, выполненных для данного объекта в составе схем развития и размещения соответствующей отрасли хозяйства. Участие проектных организаций в составлении задания на проектирование входит в комплекс работ по разработке проекта предприятия, здания или сооружения.

В задании на проектирование объекта производственного назначения указывается:

- наименование предприятия, здания или сооружения;
- основание для проектирования (строительства);
- стадийность проектирования;
- вид строительства, особые условия строительства;
- требования по вариантной и конкурсной разработке;
- месторасположение проектируемого объекта;

- основные технико-экономические показатели объекта, в том числе мощность, производительность, производственная программа;
- требования к качеству конкурентоспособности и экологическим параметрам продукции;
- требования к технологии, режиму предприятия;
- требования к архитектурно-строительным, объемно-планировочным и конструктивным решениям
- выделение очередей и пусковых комплексов, требования по перспективному расширению предприятия;
- требования и условия к разработке природоохранных мер и мероприятий;
- требования к режиму безопасности и гигиене труда;
- требования по ассимиляции производства;
- требования по разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны и мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций;
- требования по выполнению опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ.

Задание на проектирование объекта жилищно-гражданского назначения представлено в **приложении 2**.

Вместе с заданием на проектирование заказчик выдает проектной организации исходные материалы, в числе которых для проектирования электрических сетей должны быть:

- технические условия на присоединение проектируемого объекта к источникам электроснабжения;
- исходные данные по оборудованию.

Технические условия на присоединение составляются на основании данных от энергоснабжающей организации — владельца распределительного устройства, к которому планируется подключить электроустановку проектируемого объекта.

## Порядок разработки, состав проектов

Проектирование объектов строительства должно осуществляться юридическими и физическими лицами, получившими в установленном порядке право на соответствующий вид деятельности (должна быть лицензия).

Разработка проектной документации осуществляется при наличии утвержденного решения о предварительном согласовании места размещения объекта, на основе утвержденных (одобренных) обоснований инвестиций в строительство или иных предпроектных материалов, договора, задания на проектирование и материалов инженерных изысканий.

Проектная документация на строительство предприятий, зданий и сооружений разрабатывается в соответствии с государственными нор-

мами, правилами и стандартами, что должно быть удостоверено соответствующей записью ответственного лица за проект — главного инженера проекта, главного архитектора проекта, управляющего проектом.

Проекты, рабочие проекты на строительство объектов, независимо от источников финансирования, форм собственности и принадлежности подлежат государственной экспертизе в соответствии с порядком, установленным в «Инструкции о порядке проведения государственной экспертизы проектов строительства».

Утверждение проектов, рабочих проектов на строительство объектов в зависимости от источников его финансирования производится:

- при строительстве за счет государственных капитальных вложений, финансируемых из республиканского бюджета Российской Федерации — в порядке, установленном Минстроем России совместно с заинтересованными министерствами и ведомствами;
- при строительстве за счет капитальных вложений, финансируемых из соответствующих бюджетов республик в составе Российской Федерации, краев, областей, автономных образований, городов Москвы и Санкт-Петербурга — соответствующими органами государственного управления или в устанавливаемом ими порядке;
- при строительстве за счет собственных финансовых ресурсов, заемных и привлеченных средств инвесторов — непосредственно заказчиками (инвесторами).

Проект на строительство предприятий, зданий и сооружений производственного назначения должен состоять из следующих разделов:

- «Общая пояснительная записка»;
- «Генеральный план и транспорт»;
- «Технологические решения»;
- «Организация и условия труда работников. Управление производством и предприятием»;
- «Архитектурно-строительные решения»;
- «Инженерное оборудование, сети и системы»;
- «Организация строительства»;
- «Охрана окружающей среды»;
- «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций»;
- «Сметная документация»;
- «Эффективность инвестиций».

В разделе «Общая пояснительная записка» должно быть отражено, в том числе следующее:

- основание для разработки проекта, исходные данные для проектирования, краткая характеристика предприятия и входящих в его состав производств, данные о проектной мощности и номенклатуре, качестве, конкурентоспособности, техническом

уровне продукции, сырьевой базе, потребности в топливе, воде, тепловой и **электрической энергии**;

- основные показатели по генеральному плану, инженерным сетям и коммуникациям.

В разделе «Архитектурно-строительные решения» должны быть отражены, в том числе, мероприятия по **электро**-, взрыво- и пожаробезопасности;

В разделе «Инженерное оборудование, сети и системы» должны быть следующие материалы:

- решения по водоснабжению, канализации, теплоснабжению, газоснабжению, **электроснабжению**, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха;
- инженерное оборудование зданий и сооружений, в том числе: **электрооборудование, электроосвещение**, связь и сигнализация, радиофикация и телевидение, противопожарные устройства и **молниезащита** и др.
- диспетчеризация и автоматизация управления инженерными системами.

В качестве основных чертежей данного раздела должны быть следующие:

- принципиальные схемы тепло-, **электро**-, газо-, водоснабжения и канализации и др.;
- планы и профили инженерных сетей;
- чертежи основных сооружений;
- планы и схемы внутрицеховых отопительно-вентиляционных устройств, **электроснабжения и электрооборудования**, радиофикации и сигнализации, автоматизации управления инженерными системами и др.

## 2.2. Требования руководящих (нормативных) документов к проектной документации

### Общие положения

Требования к строительной проектной и рабочей документации, а также к проектной документации на электроустановки определены, в основном, следующими документами:

- ГОСТ 2.105–95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам;
- ГОСТ 21.101–97. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации;
- ГОСТ 21.501–93. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей;

— ГОСТ 21.608–84. Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи;

— ГОСТ 21.607–82. Система проектной документации для строительства. Электрическое освещение территории промышленных предприятий. Рабочие чертежи;

— ГОСТ 21.613–88. Система проектной документации для строительства. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи;

— ГОСТ 21.614–88. Система проектной документации для строительства. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах;

— СП 11-110-99. Авторский надзор за строительством зданий и сооружений.

Основные требования к проектной документации определены в ГОСТ 21.101–97.

Настоящий стандарт устанавливает основные требования к проектной и рабочей документации на строительство предприятий, зданий и сооружений различного назначения. В данном стандарте определены общие правила выполнения графической и текстовой документации, которые распространяются также на отчетную техническую документацию по инженерным изысканиям для строительства.

Содержание ГОСТ 21.101–97:

— общие требования к составу проектной документации;

— общие данные по рабочим чертежам;

— общие правила выполнения документации (координационные оси, основные надписи);

— правила выполнения спецификаций на чертежах;

— правила внесения изменений в рабочую документацию, выданную заказчику;

— правила привязки рабочей документации;

— правила оформления сброшюрованной документации;

— указания по заполнению ведомости основных комплектов рабочих чертежей;

— указания по заполнению ведомости ссылочных и прилагаемых документов;

— марки основных комплектов рабочих чертежей;

— перечень стандартов ЕСКД, подлежащих учету при выполнении графической и текстовой документации для строительства;

— указания по оформлению проектной документации;

— примеры оформления.

## Общие требования к комплектованию документации

Проектную документацию, предназначенную для утверждения (стадия-проект, утверждаемая часть рабочего проекта), комплектуют в тома, как правило, по отдельным разделам, предусмотренным строи-



тельными нормами и правилами. Каждый том нумеруют арабскими цифрами.

Например:

Том 1. Общая пояснительная записка.

Том 2. Генеральный план и транспорт.

Том 4. Внутреннее электроосвещение.

Текстовые и графические материалы, включаемые в том, комплектуют, как правило, в следующем порядке:

- обложка;
- титульный лист;
- содержание;
- состав проекта;
- пояснительная записка;
- основные чертежи, предусмотренные строительными нормами и правилами.

Правила оформления обложки, титульного листа проекта приведены в **приложениях 4–6**.

Каждому текстовому и графическому документу, включенному в том проектной документации, присваивают обозначение, которое указывают на титульном листе и в основных надписях.

В состав обозначения включают базовое обозначение, устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис — марку и/или шифр раздела проекта. марки разделов проекта принимают по аналогии с марками основных комплектов рабочих чертежей, приведенными в **приложении 3**.

Примеры обозначений:

1. 2345-ПЗ. Раздел «Общая пояснительная записка»

2. 2345-ГТ. Раздел «Генеральный план и транспорт»

3. 2345–12-АС. Раздел «Архитектурно-строительные решения»

4. 2345-ЭО. Раздел «Внутреннее электроосвещение»,

где 2345 — номер договора (контракта) или шифр объекта строительства (устанавливается проектной организацией);

12 — номер здания или сооружения по генеральному плану\*;

2345–12 — базовое обозначение;

ПЗ — шифр раздела проекта;

ГТ, АС, ЭО — марки разделов проекта.

Текстовые и графические материалы, как правило, включают в том на листах, сложенных по формату А4.

В каждый включают не более 250 листов формата А4, 150 листов формата А3, 75 листов формата А2 и 50 листов формата А1.

---

\* Для разделов проекта, относящихся к объекту строительства в целом (общая пояснительная записка, генеральный план и транспорт и др.), а также для рабочих чертежей линейных сооружений, генерального плана, наружных коммуникаций эту часть базового обозначения, как правило, исключают.

Общие требования к выполнению графической документации приведены в разделе 5 ГОСТ 21.101–97.

## Рабочие чертежи

Рабочие чертежи, предназначенные для производства строительных и монтажных работ, объединяют в комплекты (далее — основные комплекты) по маркам в соответствии с **приложением 3**.

Основной комплект рабочих чертежей любой марки может быть разделен на несколько основных комплектов той же марки (с добавлением к ней порядкового номера) в соответствии с процессом организации строительных и монтажных работ.

Пример — АС1; АС2; КЖ1; КЖ2; ЭО1; ЭО2.

Каждому основному комплекту рабочих чертежей присваивают обозначение, в состав которого включают базовое обозначение, устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис — марку основного комплекта.

Пример — 2345–12–АР,

где 2345 — номер договора (контракта) или шифр объекта строительства;

12 — номер здания или сооружения по генеральному плану\*;

2345–12 — базовое обозначение;

АР — марка основного комплекта рабочих чертежей.

В состав основных комплектов рабочих чертежей включают общие данные по рабочим чертежам, а также чертежи и схемы, предусмотренные соответствующими стандартами СПДС.

## Общие данные по рабочим чертежам

На первых листах каждого основного комплекта рабочих чертежей приводят общие данные по рабочим чертежам, включающие:

а) ведомость рабочих чертежей основного комплекта, выполняемую по форме 1 (**приложение 7**);

б) ведомость ссылочных и прилагаемых документов, оформляемую по форме 2 (**приложение 7**);

в) ведомость основных комплектов рабочих чертежей, выполняемую по форме 2 (**приложение 7**);

---

\* Для разделов проекта, относящихся к объекту строительства в целом (общая пояснительная записка, генеральный план и транспорт и др.), а также для рабочих чертежей линейных сооружений, генерального плана, наружных коммуникаций эту часть базового обозначения, как правило, исключают.

г) ведомость спецификаций (при наличии в основном комплекте нескольких схем расположения), выполняемую по форме 1 (**приложение 7**).

д) условные обозначения, не установленные государственными стандартами, и значения которых не указаны на других листах основного комплекта рабочих чертежей;

е) общие указания;

ж) другие данные, предусмотренные соответствующими стандартами СПДС.

Ведомость рабочих чертежей основного комплекта содержит последовательный перечень листов основного комплекта.

Ведомость ссылочных и прилагаемых документов составляют по разделам:

а) ссылочные документы;

б) прилагаемые документы.

В разделе «Ссылочные документы» указывают документы, на которые приведены ссылки в рабочих чертежах, в том числе:

а) чертежи типовых конструкций, изделий и узлов с указанием наименования и обозначения серии и номера выпуска;

б) стандарты, в состав которых включены чертежи, предназначенные для изготовления изделий, с указанием их наименования и обозначения.

Ссылочные документы проектная организация выдает заказчику только по отдельному договору.

В разделе «Прилагаемые документы» указывают документы, разработанные в дополнение к рабочим чертежам основного комплекта, в том числе:

— рабочую документацию на строительные изделия;

— эскизные чертежи общих видов нетиповых изделий;

— спецификацию оборудования, изделий и материалов;

— локальную смету;

— другую документацию, предусмотренную соответствующими стандартами СПДС.

Прилагаемые документы проектная организация выдает заказчику одновременно с основным комплектом рабочих чертежей.

Ведомость основных комплектов рабочих чертежей приводят на листах общих данных основного комплекта ведущей марки.

При наличии нескольких основных комплектов рабочих чертежей одной марки составляют ведомость комплектов этой марки по форме 2 **приложения 7**, которую приводят на листе общих данных для каждого из этих комплектов.

В общих указаниях приводят:

а) основание для разработки рабочей документации (задание на проектирование, утвержденный проект);

б) отметку, принятую в рабочих чертежах здания или сооружения условно за нулевую (как правило, приводят на архитектурно-строительных чертежах);

в) запись о результатах проверки на патентоспособность и патентную чистоту впервые применяемых или разработанных в проекте технологических процессов, оборудования, приборов, конструкций, изделий и материалов, а также номера авторских свидетельств и заявок, по которым приняты решения о выдаче авторских свидетельств на используемые в рабочей документации изобретения;

г) запись о том, что рабочие чертежи разработаны в соответствии с действующими нормами, правилами и стандартами;

д) перечень видов работ, для которых необходимо составлять акты освидетельствования скрытых работ;

е) сведения о том, кому принадлежит данная интеллектуальная собственность (при необходимости);

ж) другие необходимые указания.

В общих указаниях не следует повторять технические требования, помещенные на других листах основного комплекта рабочих чертежей, и давать описание принятых в рабочих чертежах технических решений.

## Общие правила выполнения документации

При выполнении проектной, рабочей и другой технической документации, предназначенной для строительства предприятий, зданий и сооружений, следует руководствоваться требованиями соответствующих стандартов СПДС, а также стандартов ЕСКД.

Перечень стандартов ЕСКД, необходимых при выполнении графической и текстовой документации для строительства, приведен в ГОСТ 21.101–97.

Чертежи выполняют в оптимальных масштабах с учетом их сложности и насыщенности информацией.

Масштабы на чертежах не указывают, за исключением чертежей изделий и других случаев, предусмотренных в соответствующих стандартах СПДС.

## Координационные оси

На изображении каждого здания или сооружения указывают координационные оси и присваивают им самостоятельную систему обозначений.

Координационные оси наносят на изображения здания, сооружения тонкими штрихпунктирными линиями с длинными штрихами, обозначают арабскими цифрами и прописными буквами русского алфавита (за исключением букв: Е, З, Й, О, Х, Ц, Ч, Щ, Ъ, Ы, Ь) в кружках диаметром 6–12 мм.

Пропуски в цифровых и буквенных (кроме указанных) обозначениях координационных осей не допускаются.

Цифрами обозначают координационные оси по стороне здания и сооружения с большим количеством осей. Если для обозначения координационных осей не хватает букв алфавита, последующие оси обозначают двумя буквами.

Пример — АА, ББ, ВВ.

Последовательность цифровых и буквенных обозначений координационных осей принимают по плану слева направо и снизу вверх (рис. 2.2, а) или как показано на рис. 2.2, б, в.

Обозначение координационных осей, как правило, наносят по левой и нижней сторонам плана здания и сооружения.

При несовпадении координационных осей противоположных сторон плана обозначения указанных осей в местах расхождения дополнительно наносят по верхней и/или правой сторонам.

Для отдельных элементов, расположенных между координационными осями основных несущих конструкций, наносят дополнительные оси и обозначают их в виде дроби:

- над чертой указывают обозначение предшествующей координационной оси;
- под чертой — дополнительный порядковый номер в пределах участка между смежными координационными осями в соответствии с рис. 2.2, г.

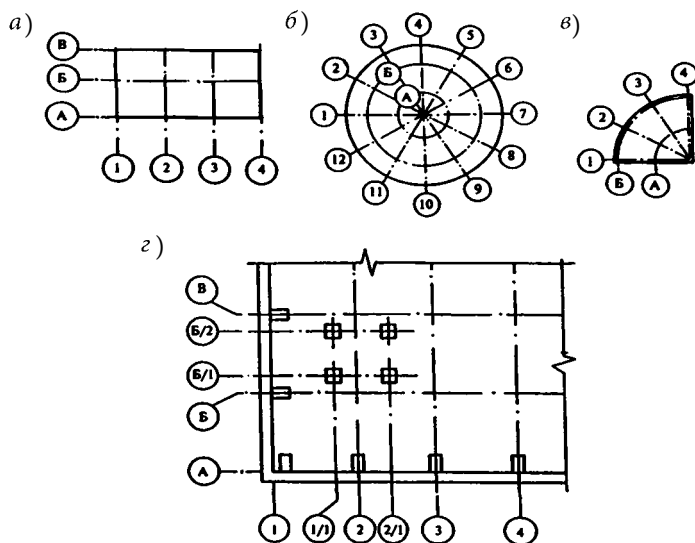


Рис. 2.2. Последовательность цифровых и буквенных обозначений координационных осей

Допускается координационным осям фахверковых колонн присваивать цифровые и буквенные обозначения в продолжение обозначений осей основных колонн без дополнительного номера.

Для обозначения координационных осей блок-секций жилых зданий применяют индекс «с».

Пример — 1с, 2с, Ас, Бс.

На планах жилых зданий, скомпонованных из блок-секций, обозначения крайних координационных осей блок-секций указывают без индекса в соответствии с рис. 2.3.

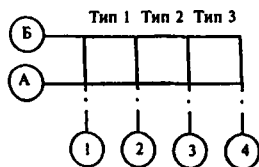


Рис. 2.3. Последовательность цифровых и буквенных обозначений координационных осей на планах жилых зданий

## Нанесение размеров, уклонов, отметок, надписей

Размерную линию на ее пересечении с выносными линиями, линиями контура или осевыми линиями ограничивают засечками в виде толстых основных линий длиной 2–4 мм, проводимых с наклоном вправо под углом  $45^\circ$  к размерной линии, при этом размерные линии должны выступать за крайние выносные линии на 1–3 мм.

При нанесении размера диаметра или радиуса внутри окружности, а также углового размера размерную линию ограничивают стрелками. Стрелки применяют также при нанесении размеров радиусов и внутренних скруглений.

Отметки уровней (высоты, глубины) элементов конструкций, оборудования, трубопроводов, воздухопроводов и др. от уровня отсчета (условной «нулевой» отметки) обозначают условным знаком в соответствии с рис. 2.4 и указывают в метрах с тремя десятичными знаками, отделенными от целого числа запятой.

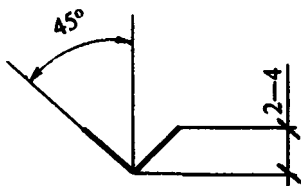


Рис. 2.4. Условный знак для обозначения отметок уровней элементов конструкций, оборудования, трубопроводов, воздухопроводов от уровня отсчета

«Нулевую» отметку, принимаемую, как правило, для поверхности какого-либо элемента конструкций здания или сооружения, расположенного вблизи планировочной поверхности земли, указывают без знака; отметки выше нулевой — со знаком «+», ниже нулевой — со знаком «-».

На видах (фасадах), разрезах и сечениях отметки указывают на выносных линиях или линиях контура в соответствии с рис. 2.5, на планах — в прямоугольнике в соответствии с рис. 2.6, за исключением случаев, оговоренных в соответствующих стандартах СПДС.

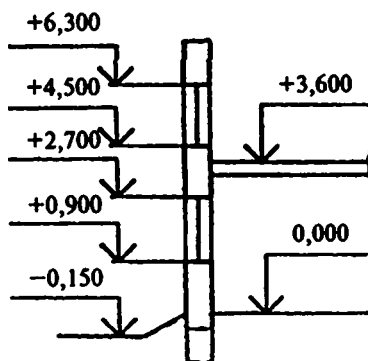


Рис. 2.5. Отметки на выносных линиях или линиях контура на видах (фасадах), разрезах и сечениях

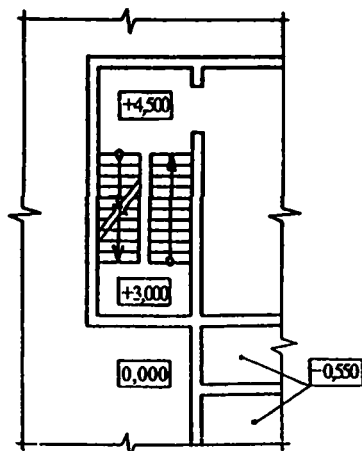


Рис. 2.6. Условный знак для обозначения отметок на планах

На планах направление уклона плоскостей указывают стрелкой, над которой при необходимости проставляют величину уклона в процентах в соответствии с рис. 2.7 или в виде отношения высоты и длины (например, 1:7).

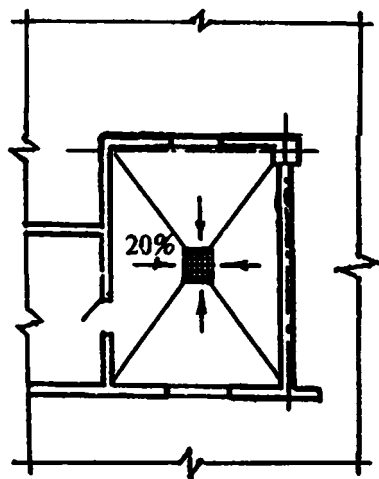


Рис. 2.7. Условный знак для обозначения направления уклона плоскостей на планах

### Изображения (разрезы, сечения, виды, фрагменты, планы)

Разрезы здания или сооружения обозначают арабскими цифрами последовательно в пределах основного комплекта рабочих чертежей.

Самостоятельная нумерация допускается только для разрезов отдельных участков здания, сооружения или установок, все чертежи которых размещены на одном листе или группе листов и если на этих чертежах отсутствуют ссылки на разрезы, расположенные на других листах основного комплекта рабочих чертежей.

Допускается разрезы обозначать прописными буквами русского алфавита.

Направление взгляда для разреза по плану здания и сооружения принимают, как правило, снизу вверх и справа налево.

Фрагменты планов, разрезов, фасадов, как правило, отмечают фигурной скобкой в соответствии с рис. 2.8.



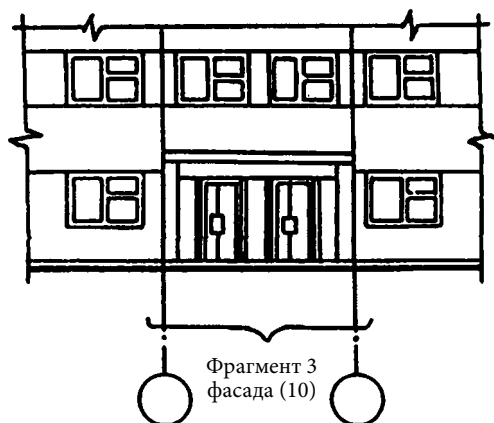


Рис. 2.8. Обозначение фрагментов планов, разрезов, фасадов

Под фигурной скобкой, а также над соответствующим фрагментом наносят наименование и порядковый номер фрагмента. Если фрагмент помещен на другом листе, то дают ссылку на этот лист.

Допускается ссылку на фрагмент помещать на полке линии-выноски.

Изображения до оси симметрии симметричных планов и фасадов зданий и сооружений, схем расположения элементов конструкций, планов расположения технологического, энергетического, санитарно-технического и другого оборудования не допускаются.

Если изображение (например, план) не помещается на листе принятого формата, то его делят на несколько участков, размещая их на отдельных листах.

В этом случае на каждом листе, где показан участок изображения, приводят схему целого изображения с необходимыми координационными осями и условным обозначением (штриховкой) показанного на данном листе участка изображения в соответствии с рис. 2.9.

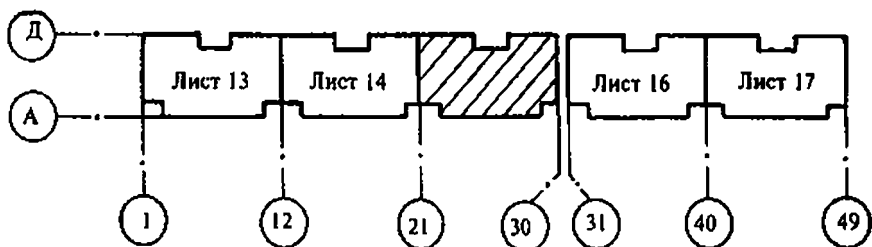


Рис. 2.9. Схема целого изображения с условным обозначением показанного участка изображения

Если планы этажей многоэтажного здания имеют небольшие отличия друг от друга, то полностью выполняют план одного из этажей, для других этажей выполняют только те части плана, которые необходимы для показа отличия от плана, изображенного полностью.

Под наименованием частично изображенного плана приводят запись:

«Остальное см. план (наименование полностью изображенного плана)».

В названиях планов этажей здания или сооружения указывают отметку чистого пола или номер этажа, или обозначение соответствующей секущей плоскости.

Примеры:

1. План на отм. 0,000.
2. План 2–9 этажей.
3. План 3–3.

При выполнении части плана в названии указывают оси, ограничивающие эту часть плана.

Пример:

- План на отм. 0,000 между осями 1–8 и А–Д.

Допускается в названии плана этажа указывать назначение помещений, расположенных на этаже.

В названиях разрезов здания (сооружения) указывают обозначение соответствующей секущей плоскости.

Пример:

- Разрез 1–1.

В названиях фасадов здания и сооружения указывают крайние оси, между которыми расположен фасад.

Пример:

- Фасад 1–12.

Планы этажей проектируемого объекта используются, в частности, для выполнения разделов проекта «Внутреннее электроосвещение» и «Силовое электрооборудование» (разделы ЭО, ЭМ). В соответствии с ГОСТ 21.501–93 «Правила выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей» планы этажей, в том числе подвалов, технического подполья, технических этажей и чердаков входят в состав основного комплекта рабочих чертежей раздела «Архитектурные решения» проекта (разделы АР или АС). В **приложении 8** показаны примеры выполнения плана одноэтажного производственного здания, а также плана этажа жилого дома. В данном приложении приведены основные правила выполнения планов зданий, а также используемые условные обозначения.

## Основные надписи

Каждый лист графического и текстового документа должен иметь основную надпись и дополнительные графы к ней. Формы основных надписей и указания по их заполнению приведены в **приложении 9**.

В проектной и рабочей документации основную надпись оформляют:

- а) на листах основных комплектов рабочих чертежей и основных чертежах проектной документации — по форме 3;
- б) на первом листе чертежей строительных изделий — по форме 4;
- в) на первых листах текстовых документов и эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий — по форме 5;
- г) на последующих листах чертежей строительных изделий, текстовых документов и эскизных чертежей общих видов — по форме 6.

Допускается на первом листе чертежа строительного изделия основную надпись выполнять по форме 5.

В отчетной технической документации по результатам инженерных изысканий основную надпись оформляют:

- а) на листах графических документов, используемых в проектировании в качестве подосновы — по форме 3;
- б) на первых листах других графических и текстовых документов — по форме 5, на последующих листах — по форме 6.

Расположение основной надписи и дополнительных граф к ней, а также размерных рамок на листах приведено в **приложении 10**.

Основные надписи, дополнительные графы к ним и рамки выполняют сплошными толстыми основными и сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303 в соответствии с **приложением 9**.

Графические и текстовые документы, брошюруемые в виде тома, альбома, выпуска или в другой издательской форме, оформляют с титульным листом.

Правила выполнения титульного листа приведены в **приложениях 5, 6**.

Для рабочих документов небольшого объема допускается не выполнять титульный лист не выполнять и не брошюровать текстовые документы. В этом случае первый лист документа оформляют основной надписью по форме 3, последующие — по форме 6 **приложения 9**.

## Правила выполнения спецификаций на чертежах

К схеме расположения элементов сборной конструкции, монолитной железобетонной конструкции, к чертежам установок (блоков) технологического, санитарно-технического и другого оборудования составляют спецификацию по форме 7 **приложения 11**.

При выполнении чертежей групповым методом составляют групповые спецификации по форме 8 **приложения 11**.

В приложении 11 приведены также указания по заполнению спецификации и групповой спецификации.

## Правила оформления сброшюрованной документации

Каждый сброшюрованный документ оформляют обложкой по форме, приведенной в **приложении 4**. Обложку не нумеруют и не включают в общее количество страниц.

Первым листом текстового (графического) документа или нескольких сброшюрованных документов является титульный лист (**приложение 5**). Пример заполнения титульного листа — в **приложении 6**.

Все листы сброшюрованного документа, начиная с титульного, должны иметь сквозную нумерацию страниц. При этом титульный лист не нумеруют.

Номер страницы на листах текстовых и графических документов указывают в правом верхнем углу рабочего поля листа.

Кроме того, в основной надписи текстовых и графических документов, включенных в том, альбом или выпуск и имеющих самостоятельное обозначение, указывают порядковую нумерацию листов в пределах документа с одним обозначением.

При комплектовании нескольких документов в виде тома, альбома или выпуска после титульного листа приводят «Содержание», которое выполняют по форме 2 **приложения 7**.

Первый лист «Содержания» оформляют основной надписью по форме 5 **приложения 9**, последующие — по форме 6 **приложения 9**. «Содержанию» присваивают обозначение, состоящее из обозначения документа и шифра «С».

Пример — 2345-ГТ.С, 2345-4-ЭО.С, 2345-11-ТХ.НС.

Титульные листы проектных документов оформляют подписями:

- руководителя или главного инженера организации;
- главного инженера (архитектора) проекта.

Титульные листы рабочих документов оформляют подписью ответственного лица — главного инженера (архитектора) проекта.

Титульный лист отчетной изыскательской документации оформляют с учетом дополнительных требований соответствующих строительных норм и правил.

Состав проекта приводят в ведомости, выполняемой по форме 16 **приложения 12**.

В ведомости приводят последовательный перечень томов проектной документации.

Первый лист ведомости оформляют основной надписью по форме 5 **приложения 9**, последующие — по форме 6 **приложения 9**.

Ведомости присваивают обозначение, состоящее из базового обозначения документа и через дефис — шифра «СП».

Пример — 2345-СП.

## Глава 3. ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

### 3.1. Проектная документация для внутреннего электрического освещения зданий и сооружений

#### Общие положения

Рабочие чертежи внутреннего электрического освещения помещений зданий и сооружений выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 21.608–84 («Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи») и других стандартов системы проектной документации для строительства, а также норм проектирования электротехнических установок.

В состав рабочих чертежей внутреннего электрического освещения помещений зданий и сооружений включают:

- чертежи, предназначенные для производства электромонтажных работ (основной комплект рабочих чертежей марки ЭО);
- чертежи конструкций и деталей, предназначенных для установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).

Основной комплект рабочих чертежей марки ЭО допускается объединять с основным комплектом рабочих чертежей силового электрического оборудования или с другими основными комплектами электротехнических рабочих чертежей. Объединенному основному комплекту рабочих чертежей присваивается одна марка.

#### Основной комплект рабочих чертежей марки ЭО

В состав основного комплекта рабочих чертежей марки ЭО включают:

- общие данные по рабочим чертежам;
- планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей (далее такие планы именуются планами расположения);
- принципиальные схемы питающей сети;
- принципиальные схемы дистанционного управления освещением;
- схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В;
- кабельный журнал для питающей сети (при необходимости);
- чертежи установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).

Рабочие чертежи внутреннего электрического освещения допускаются оформлять отдельными документами с присвоением им базовой марки основного комплекта и добавлением через точку порядкового номера документа, обозначаемого арабскими цифрами, например, общие данные по рабочим чертежам (ЭО1.1), принципиальная схема питающей сети (ЭО1.2).

Общие данные по рабочим чертежам выполняют в соответствии с ГОСТ 21.101–97 (см. главу 2).

### Планы расположения

Планы расположения выполняют по ГОСТ 2.702–75 («ЕСКД. Правила выполнения электрических схем») с учетом требований ГОСТ 21.608–84.

В качестве подосновы для планов расположения, как правило, следует принимать планы помещений, выполненные в основных комплектах рабочих чертежей других марок (см. **приложение 8**). масштаб этих планов должен обеспечивать четкое графическое изображение электрических сетей и электрического оборудования.

На планах расположения наносят и указывают:

- строительные конструкции и технологическое оборудование в виде упрощенных контурных очертаний сплошными тонкими линиями;
- наименования помещений (при необходимости), кроме помещений жилых домов. Допускается наименования помещений приводить в экспликации помещений по форме 1 (рис. 3.1) в соответствии с нумерацией и наименованием, указанным в основных комплектах рабочих чертежей марок АР и АС;
- классы взрывоопасных и пожароопасных зон, категорию и группу взрывоопасных смесей для взрывоопасных зон по Правилам устройства электроустановок\*;
- нормируемую освещенность от общего освещения (за исключением жилых помещений)\*;
- светильники (в жилых домах — места их установки) их количество (при необходимости) типы\*;
- количество и мощность ламп в светильниках\*;
- высоту установки светильников (кроме потолочных)\*;
- привязочные размеры для светильников или рядов светильников к элементам строительных конструкций или координационным осям здания (сооружения). Привязочные размеры допускается не представлять, если места установки светильников ясны без указания привязочных размеров или если привязочные размеры приведены на чертежах интерьеров. В этом случае должна быть дана ссылка на соответствующие чертежи;

---

\* Порядок записи условных обозначений указанных данных приведен в приложении 13.

## Экспликация помещений

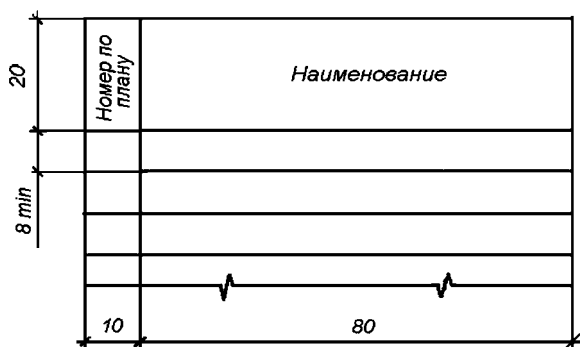


Рис. 3.1. Экспликация помещений

- комплектные распределительные устройства на напряжение до 1000 В, относящиеся к питающей сети (распределительные щиты, щиты станций управления, распределительные пункты, ящики и шкафы управления, вводно-распределительные устройства) и их обозначения;
- групповые щитки и их обозначения;
- понижающие трансформаторы;
- выключатели, штепсельные розетки (в жилых домах — включая розетки для электроплит и других бытовых электроприемников);
- линии питающей, групповой сети и сети управления освещением (в жилых домах — включая линии для электроплит и других бытовых электроприемников), их обозначения, сечение и, при необходимости, марку и способ прокладки\*;
- другое электрическое оборудование, относящееся к внутреннему освещению.

При большом числе линий питающей сети, групповой сети и сети управления освещением указанные сети и относящееся к ним электрическое оборудование допускается изображать на отдельных листах и в разных масштабах.

Электрическое оборудование и проводки на планах расположения указывают условными графическими изображениями в соответствии с ГОСТ 21.614–88 («СПДС. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах») и ЕСКД (см. главу 1, «ГОСТы ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах»). Дополнительные условные графические изображения приведены в **приложении 14**.

\* Порядок записи условных обозначений указанных данных приведен в приложении 13.

### Ведомость узлов установки электрического оборудования на плане расположения

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание

Рис. 3.2. Ведомость узлов установки электрического оборудования  
на плане расположения

Пример оформления плана расположения для производственного здания приведен в **приложении 15**, для общественного здания — в **приложении 16**.

На листах, где помещены планы расположения, приводят ведомость узлов установки электрического оборудования по форме 2 (рис. 3.2).

В графах данной ведомости указывают:

- в графе «Поз.» — позицию узла по плану расположения;
- в графе «Обозначение» — обозначение документа на узел установки электрического оборудования;
- в графе «Наименование» — наименование узла установки с указанием типа электрического оборудования;
- в графе «Кол.» — количество узлов установки по плану расположения;
- в графе «Примечание» — дополнительные сведения.

На листах планов расположения приводят данные о групповых щитках по форме 3а (рис. 3.3) и 3б (рис. 3.4), а также комплектных конденсаторных установках (при необходимости) по форме 4 (рис. 3.5).

Для жилых домов таблицы групповых щитков не составляют.

При наличии в здании одинаковых по размеру помещений (участков помещений) с одинаковыми техническими решениями освещения электрическое оборудование, электрические сети и другие элементы на планах расположения допускается изображать не для всех, а для части помещений. Допускается также приводить фрагменты планов расположения для отдельных типовых помещений.





# Данные о комплектных конденсаторных установках

45	15	Номер щитка, обслуживаемо- го комплек- тной конденса- торной уста- новкой	Тип установки	Конденсаторы		
	15			Тип	Мощ- ность, квар	Количество
	15					Заня- тых Резер- вных
8 min						
		30	40	40	20	15 15
		160				

Рис. 3.5. Данные о комплектных конденсаторных установках

## Принципиальные схемы питающей сети

Принципиальные схемы питающей сети выполняют в однолинейном изображении в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД на правила выполнения электротехнических схем.

Боковик принципиальной схемы питающей сети выполняется по форме 5 (рис. 3.6).

Пример оформления принципиальной схемы питающей сети приведен в **приложении 17** (по ГОСТ 21.608–84 это приложение 4, справочное).

Принципиальные схемы питающей сети допускается выполнять с учетом расположения электрического оборудования по частям и этажам здания.

Пример оформления принципиальной схемы питающей сети многоэтажного здания приведен в **приложении 18**. Поясняющие надписи на схеме приводят в соответствии с *рекомендуемым приложением 19*.

Принципиальные схемы питающей сети жилых домов допускается разбивать на отдельные схемы, например, схему вводно-распределительного устройства, схему линий питающей сети. При этом на схеме линий питающей сети допускается изображать щитки и другие аппараты не для всех этажей, а только для одного типового этажа, а также не изображать коммутационные аппараты на этажных и квартирных щитках, а расчетные данные указывать в табличной форме.

Допускается не выполнять принципиальные схемы питающей сети при количестве групповых щитков не более четырех и при условии, что все сведения о питающей сети (форма 5, рис. 3.6), приведены на плане расположения.

287

23	Источник питания				
70	Маркировка — расчетная нагрузка, кВт — коэффициент мощности — расчетный ток, А — длина участка, м Момент нагрузки, кВт·м — потеря напряжения, % — марка, сечение проводника — способ прокладки				
25	Распределительный пункт: номер, тип; установленная и расчетная мощность, кВт. Аппарат на вводе: тип; ток, А				
23	Выключатель автоматический или предохранитель: тип; ток расцепителя или плавкой вставки, А				
23	Пускатель магнитный: тип; ток нагревательного элемента, А				
70	Маркировка — расчетная нагрузка, кВт — коэффициент мощности — расчетный ток, А — длина участка, м Момент нагрузки, кВт·м — потеря напряжения, % — марка, сечение проводника — способ прокладки				
23	Щиток групповой: аппарат на вводе: тип; номинальный ток, А				
10	Номер по схеме расположения на плане				
10	Установленная мощность, кВт				
10	Потеря напряжения до щитка, %				

65

Здесь располагается

принципиальная схема

питающей сети

Рис. 3.6. Боковик принципиальной схемы питающей сети

В настоящее время форма 3а и 3б для принципиальных электрических схем не используется. Как для питающих сетей, так и для распределительных используется форма 5 как более информативная. При этом надписи боковика схемы имеют некоторые отличия от данной формы, поскольку ГОСТ этого не запрещает (**приложение 17** — справочное). В **приложении 21** представлена принципиальная однолинейная схема щита освещения ЩО существующего проекта, которая наряду с планом расположения входит в состав рабочих чертежей.

Таким образом, основными рабочими чертежами для проектной документации внутреннего электрического освещения зданий и сооружений являются планы расположения, принципиальные схемы питающей сети, принципиальные однолинейные схемы распределительной сети (групповых щитов, щитов освещения).

Принципиальные схемы дистанционного управления освещением и схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В допускается включать в состав рабочих чертежей основных комплектов других электротехнических марок.

### Кабельный журнал для питающей сети

Кабельный журнал для питающей сети выполняют по форме 6 (рис. 3.7).

Кабельный журнал для питающей сети допускается не выполнять, если все данные, содержащиеся в кабельном журнале, указаны на принципиальной схеме питающей сети.

Форма 6

### Кабельный журнал для питающей сети

Маркировка кабеля	Трасса		Кабель					
	Начало	Конец	по проекту			проложен		
			Марка	Количество кабелей и сечение жил, напряжение	Длина, м	Марка	Количество кабелей и сечение жил, напряжение	Длина, м
25	60	60	20	35	16	20	35	16
60								

Рис. 3.7. Кабельный журнал для питающей сети

## 3.2. Проектная документация для силового электрооборудования

### Общие положения

В соответствии с ГОСТ 21.613–88 к силовому электрооборудованию относят:

- комплектные трансформаторные подстанции 6,10/0,4, ..., 0,66 кВ (КТП);
- электрические сети для питания электроприемников напряжением до 1 кВ в пределах проектируемого здания, сооружения;
- управляющие устройства электроприводов до 1 кВ систем вентиляции и кондиционирования воздуха, водоснабжения, канализации и других механизмов общего (например, общецехового) назначения, если электроприводы этих систем и механизмов поставляются без таковых.

В состав рабочих чертежей силового электрооборудования включают:

- чертежи, предназначенные для производства электромонтажных работ (*основной комплект рабочих чертежей марки ЭМ*);
- чертежи электромонтажных конструкций (при отсутствии типовых) и габаритные чертежи низковольтных комплектных устройств (НКУ).

Основной комплект рабочих чертежей марки ЭМ допускается в отдельных случаях при небольших объемах документации объединять с другими основными комплектами электротехнических рабочих чертежей. Объединенному основному комплекту рабочих чертежей присваивают одну марку.

### Основной комплект рабочих чертежей марки ЭМ

В основной комплект рабочих чертежей марки ЭМ включают:

- общие данные по рабочим чертежам;
- схемы электрические принципиальные (далее — принципиальные схемы) комплектных трансформаторных подстанций (КТП), питающей и распределительной сетей;
- принципиальные схемы управления электроприводами;
- схемы (таблицы) подключения;
- планы расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей;
- кабельнотрубный (кабельный) журнал;
- трубозаготовительную ведомость;
- ведомость заполнения труб кабелями и проводами.

Основной комплект рабочих чертежей силового электрооборудования допускается оформлять отдельными документами с присвоением им базовой марки основного комплекта и добавлением через точку

порядкового номера документа, обозначенного арабскими цифрами, например, общие данные по рабочим чертежам (ЭМ1.1), принципиальные схемы питающей сети (ЭМ1.2).

Общие данные по рабочим чертежам выполняют с учетом следующих требований:

- ведомость спецификаций не составляют;
- в общих указаниях в дополнение к сведениям, предусмотренным ГОСТ 21.101–97, приводят итоговые данные (установленная и расчетная мощности) по расчету электрических нагрузок.

### Принципиальные схемы

Принципиальную схему КТП выполняют в соответствии с формой 1 (рис. 3.8). Для двухтрансформаторных КТП с устройством автоматического включения резерва, кроме данных, предусмотренных формой 1, указывают нагрузку в аварийном режиме при выходе из строя одного из трансформаторов.

Пример выполнения принципиальной схемы КТП приведен в **приложении 20**.

Принципиальную схему питающей сети (от трансформаторной подстанции, питающей магистрали до распределительного устройства или электроприемника), а также принципиальную схему распределительной сети (от распределительного шинпровода или распределительного пункта до электроприемника) и схему распределения электроэнергии от распределительного щита до электроприемника выполняют по определенным формам (для ГОСТ 21.613–88 это форма 2 и 3). Однако ГОСТ допускает в обоснованных случаях допускать отступления от данных форм, при этом должны сохраняться все технические данные, предусмотренные этими формами.

Поэтому в качестве принципиальных схем питающей и распределительной сетей применяются принципиальные однолинейные схемы, выполненные по форме 5 (см. п. 3.1).

В качестве примеров представлены принципиальные однолинейные схемы существующих проектов. Так, в **приложении 22** представлена принципиальная однолинейная схема ГРЩ трансформаторной подстанции ТП1. В **приложении 23** показана принципиальная однолинейная схема щита силового, а в **приложении 24** — принципиальная однолинейная схема щита вентиляции.

### Принципиальные схемы управления электроприводами

Принципиальные схемы управления электроприводами выполняют в соответствии с ГОСТ 2.702–75 (см. **главу 1**). Каждый элемент или устройство, изображенные на электрической схеме, должны иметь бук-



Рис. 3.8. Принципиальная схема КТП (боковик)

венно-цифровое обозначение в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710–81 (см. **приложение 1**).

Допускается не выполнять принципиальные схемы управления для несложных электроприводов, в которых используют стандартные серийные пусковые устройства без каких-либо изменений внутренней схемы и не имеющие внешних контрольных цепей (например, магнитный пускатель со встроенной кнопкой, шкаф управления).

Схемы (таблицы) подключения выполняют в соответствии с ГОСТ 2.702–75 для электроприводов, имеющих разветвленные цепи управления и блокировки с другими механизмами и устройствами, сложную пускорегулирующую аппаратуру.

Схемы (таблицы) подключения допускается не выполнять:

- для электроприводов механизмов, схемы управления которыми не разрабатывались (для стандартных серийных устройств);
- для электрооборудования и аппаратов, к которым неправильное подключение проводов исключается (например, асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором).

В **приложении 25** показана принципиальная схема управления электроприводами существующего проекта.

### Планы расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей

Планы расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей (далее — планы расположения) выполняют на здание или часть здания с учетом технологических узлов и очередей строительства. масштабы чертежей принимают по ГОСТ 2.302–68 (см. **приложение 1**) с учетом обеспечения четкого графического изображения электрооборудования и электрических сетей.

На планах расположения в дополнение к требованиям ГОСТ 21.101–97 показывают:

- строительные и технологические конструкции, трубопроводы и другие коммуникации, определяющие трассы прокладки электрических сетей или используемые для их крепления и прокладки в виде контурных очертаний — сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303–68 (**приложение 1**);
- границы и классы взрыво- и пожароопасных зон, категории и группы взрывоопасных смесей по классификации Правил устройства электроустановок;
- наименования отделений, участков цехов, помещений и т. п., если это определяет характер прокладки электрических сетей;
- наименования или обозначения электромашиных помещений, помещений щитов управления, кабельных тоннелей и других электротехнических сооружений;



- электрооборудование и электрические сети в виде условных графических изображений с указанием буквенно-цифровых обозначений по принципиальным схемам, кабельным или кабельно-трубным журналам.

Электрооборудование и электрические сети на планах расположения приводят в следующем составе:

- электроприемники, трансформаторные подстанции, комплектные электротехнические устройства, аппараты и т. п.;
- шинопроводы (магистральные, распределительные, троллейные);
- троллейные линии и участки электрической сети, выполненные шинами на изоляторах;
- трассы открытой прокладки кабелей и проводов на конструкциях, в коробках, на лотках, в трубах, каналах, тоннелях;
- кабельные конструкции, если чертежи их установки не совмещены с планами прокладки проводов и кабелей;
- трубы скрытой прокладки проводов и кабелей в полах, в земле и фундаментах;
- магистрали заземления и зануления.

Планы расположения электрооборудования, как правило, совмещают с планами прокладки электрических сетей и устройства заземления (зануления).

При необходимости приводят разрезы, нетиповые узлы установки электрооборудования и прокладки электрических сетей, схемы расположения шинопроводов, а также схемы транспортировки крупногабаритного электрооборудования. Для трубных прокладок, выполняемых блоками и пакетами труб, разрабатывают чертежи на блоки и пакеты.

Электрооборудование (за исключением электроприемников, комплектных устройств, аппаратов и приборов, установленных непосредственно на технологическом оборудовании) и трассы электрических сетей, проложенных как скрыто в трубах в полу, так и открыто, должны иметь привязки и отметки на плане.

Привязку электротехнического оборудования и электрических сетей производят, как правило, к координационным осям зданий, сооружений или к осям технологического оборудования при условии, что это оборудование по своему характеру имеет фундаменты или монтируется до прокладки труб электропроводки.

При скрытой прокладке электрических сетей (в полах, в земле, в фундаментах) привязывают концы труб и указывают отметки заложения и выхода. В фундаментах сложного оборудования дают дополнительные привязки концов труб к ближайшим фундаментным болтам.

При открытой прокладке электрических сетей по технологическим установкам, сооружениям и строительным конструкциям (галереи, фермы, колонны) привязку электрических сетей допускается производить к указанным установкам, сооружениям и конструкциям.

Допускается не указывать привязку одиночных устройств (например, пускателей, кнопок, штепсельных розеток) и открыто проложенных кабелей, если места их установки или прокладки ясны без привязок.

Примеры оформления планов расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей по ГОСТ 21.613–88 приведены на рис. 3.9, 3.11.

Пример плана расположения существующего проекта для силовой сети (сети розеток) представлен в **приложении 26**.

Спецификацию электрооборудования, конструкций и деталей к плану расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей выполняют по форме ГОСТ 21.110–95 (рис. 3.10).

### Кабельнотрубный журнал

Кабельнотрубный журнал выполняют по форме 6 (рис. 3.12).

В кабельнотрубный журнал включают кабели, провода и трубы для тех электроприемников, для которых невозможно привести всю необходимую информацию о кабелях, проводах и трубах на принципиальных схемах питающей и распределительной сетей.

При открытых прокладках сетей (без труб) графы кабельнотрубного журнала, относящиеся к трубам, не заполняют или составляют кабельный журнал по форме ГОСТ 21.608–84 (см. рис. 3.7).

При выполнении чертежей прокладки кабелей методом трасс выполняют кабельный журнал по форме 7 (рис. 3.13). В графе «Участок трассы кабеля» указывают обозначения участков трассы по плану прокладки электрических сетей.

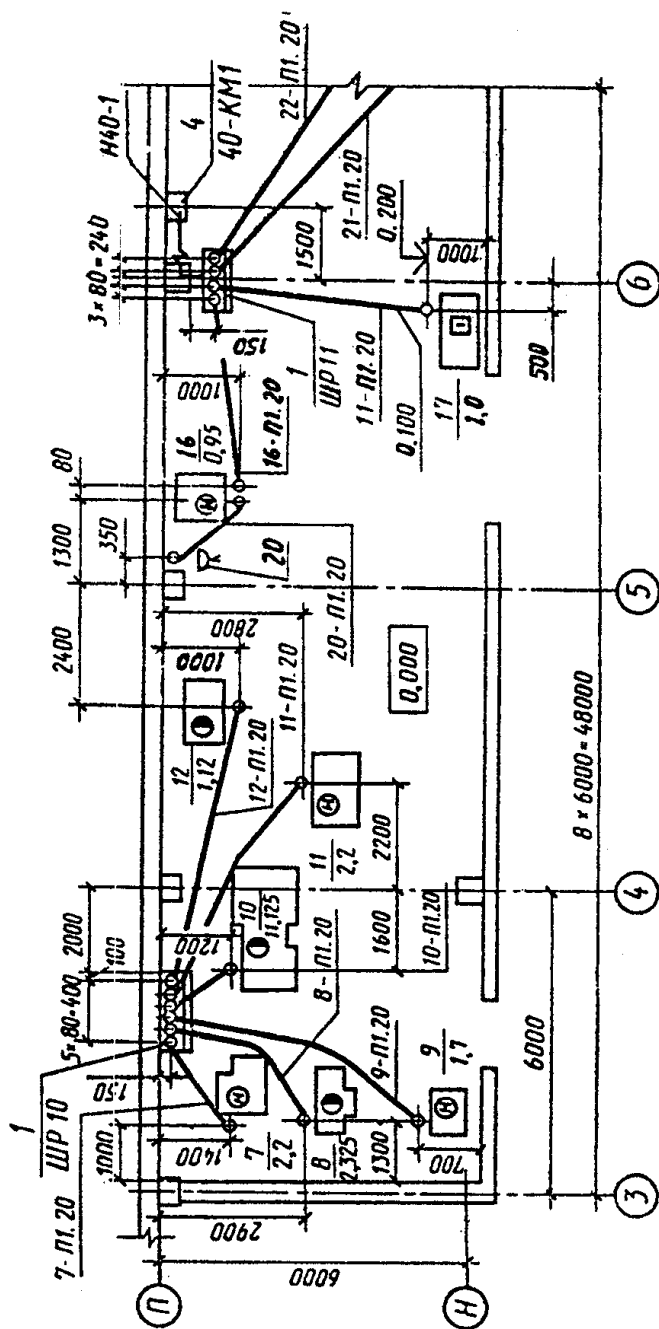
В кабельном журнале приводят таблицу потребности кабелей и проводов, а в кабельнотрубном журнале, кроме того, приводят таблицу потребности труб. Формы таких таблиц определены ГОСТ 21.613–88.

### Трубозаготовительная ведомость

Трубозаготовительная ведомость предназначена для заготовки элементов труб в мастерских электромонтажных заготовок (МЭЗ), заменяет кабельнотрубный журнал в части, относящейся к трубам, и является дополнением к кабельному журналу для прокладки кабелей и проводов в металлических трубах.

Трубозаготовительную ведомость выполняют по форме 8 (рис. 3.14) в следующих случаях:

- для электрических сетей, где преобладает прокладка кабелей и проводов в металлических трубах и где объем трубных прокладок определяет целесообразность заготовки элементов труб в МЭЗ;



Трубы положить на отм. -0,100 и концы их вывести на 200 мм над уровнем чистого пола  
Черт. 4

Рис. 3.9. План расположения электрооборудования  
и прокладки электрических сетей

[illegible]

Рис. 3.10. Спецификация по ГОСТ 21.110-95

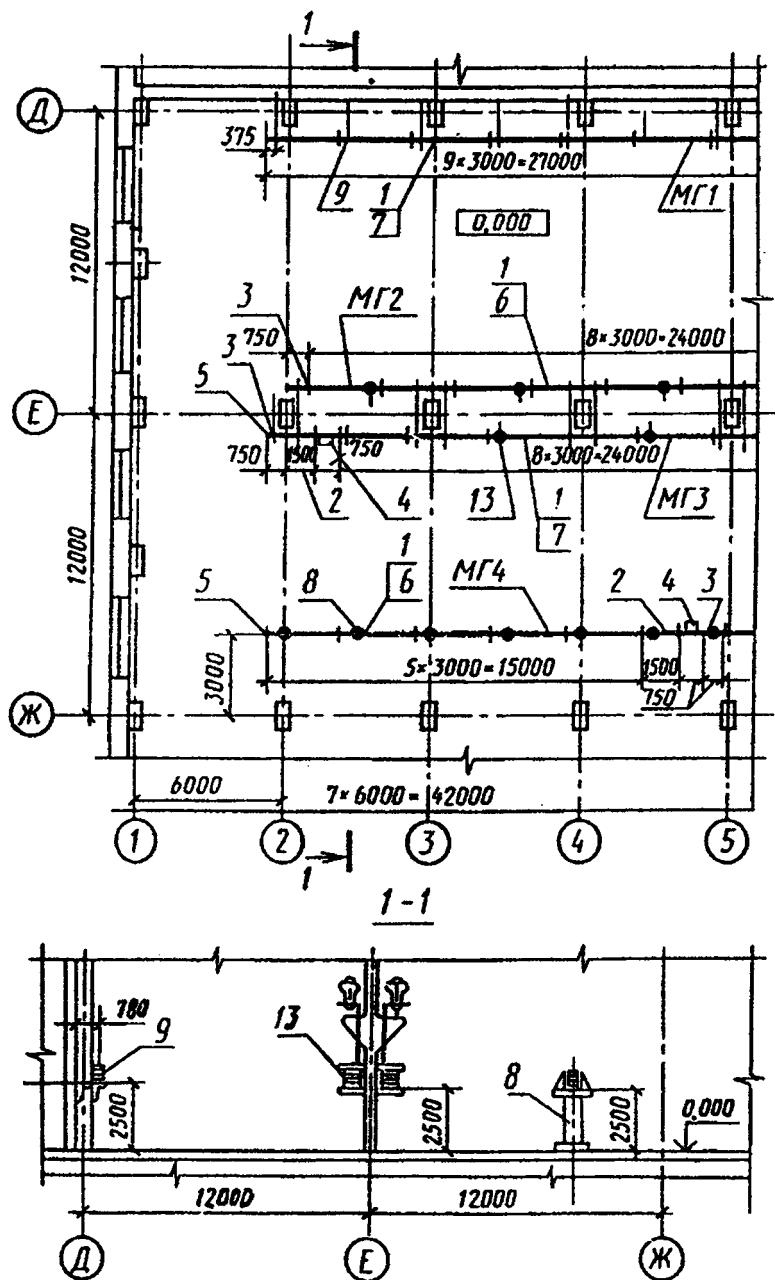


Рис. 3.11. План расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей

Кабельнотрубный журнал

Обо- значение кабеля, провода	Трасса		Проход через			Кабель, провод						8
	Начало	Конец	трубу		про- тяж- ной ящик №	по проекту			проложен			8
			Обоз- начен- ие	Диа- метр по стан- дарту, мм		Марка	Кол., число и се- чение жил	Длина, м	Марка	Кол., число и се- чение жил	Длина, м	25
20	46	46	20	15	15	15	25	15	15	25	15	
287												

Рис. 3.12. Кабельнотрубный журнал

Кабельный журнал для прокладки методом трасс

Обозначе- ние кабеля, провода	Трасса		Участок трассы кабеля, провода	Кабель, провод						8
	Начало	Конец		по проекту			проложен			8
				Марка	Кол, число и сечение жил	Длина, м	Марка	Кол, число и сечение жил	Длина, м	20
25	60	60	110	20	35	15	20	35	15	
287										

Рис. 3.13. Кабельный журнал для прокладки методом трасс

Трубозаготовительная ведомость

Труба		Длина, м	Трасса		Участок трассы трубы	Примеч.	8
Обозначение	Диаметр по стандарту, мм		Начало	Конец			15
25	25	15	40	40	117	25	
287							

Рис. 3.14. Трубозаготовительная ведомость

Ведомость заполнения труб кабелями, проводами

Обозначение		8
трубы	кабеля, провода	8
30	32	
62		

Рис. 3.15. Ведомость заполнения труб кабелями, проводами

- для электрических сетей, прокладываемых в трубах в фундаментах сложного оборудования.

При заполнении трубозаготовительной ведомости в графе «Участок трассы трубы» указывают:

- длины участков труб между вершинами углов в метрах;
- величины углов в градусах и радиусы изгиба в миллиметрах;
- обозначения протяжных ящиков и трубных блоков;
- ссылку на чертеж, в котором дано продолжение трубы.

В трубозаготовительной ведомости приводят таблицу потребности труб по форме, определенной ГОСТ 21.613–88.

### Ведомость заполнения труб кабелями и проводами

Ведомость заполнения труб кабелями и проводами выполняют по форме 9 (рис. 3.15) в случаях, когда составляются отдельно кабельный журнал и трубозаготовительная ведомость.

При заполнении граф «Длина проводов, кабелей и труб» на принципиальных схемах и в кабельнотрубных журналах указывают длину с учетом надбавки на изгибы, повороты и отходы.

### Чертежи электромонтажных конструкций и габаритные чертежи НКУ

Чертежи электромонтажных конструкций, предназначенных для установки электрооборудования и прокладки электрических сетей, выполняют в случаях отсутствия соответствующих изделий заводского изготовления, типовых чертежей электромонтажных конструкций и чертежей электромонтажных конструкций повторного применения.

Чертеж электромонтажной конструкции выполняют, как правило, в масштабе 1:5, 1:10 или 1:20.

Габаритный чертеж низковольтных комплектных устройств (НКУ) должен содержать изображение конструкции — вид спереди, вид сверху (если требуется), количество и порядок расположения панелей, габаритные и установочные размеры, текстовые указания и надписи, необходимые для общего представления об устройстве.

### *Контрольные вопросы к разделу I*

1. На какие области деятельности распространяются и что устанавливают Государственные стандарты Единой системы конструкторской документации (ЕСКД)?
2. Что представляют собой Государственные стандарты Системы проектной документации для строительства (СПДС)?

3. Что устанавливает комплекс Государственных стандартов на электроустановки зданий?
4. Какие основные документы устанавливают требования пожарной безопасности на территории Российской Федерации?
5. На какие области народного хозяйства распространяются Правила устройства электроустановок?
6. Что регламентируют Правила технической эксплуатации?
7. Что сначала необходимо выполнить для того, чтобы построить здание, сооружение или предприятие?
8. Что называется проектом здания, сооружения или предприятия?
9. Что представляет собой задание на проектирование?
10. В каком виде выполняются принципиальные схемы питающей сети в рабочих чертежах марок ЭО и ЭМ?



## Раздел II

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

## Глава 4. ВЫБОР КАТЕГОРИИ ПОМЕЩЕНИЙ И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

### 4.1. Классификация помещений и наружных установок по окружающей среде

Конструктивное исполнение электрооборудования проектируемой электроустановки должно соответствовать специфике того помещения, где оно будет установлено. Связано это с воздействием окружающей среды помещения на функционирование электрооборудования, а также с влиянием работающих электрических машин, аппаратов и устройств на взрыво- и пожароопасность помещения, обусловленных технологическим процессом.

Если окружающая среда в производственных помещениях не оказывает вредного влияния на электросети, а последние не могут вызвать каких-либо вредных явлений, то такие помещения называются *нормальными*. Это сухие помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60%, не опасные по пожару и взрыву. Сюда относятся бытовые помещения цехов, производственные помещения цехов холодной обработки металлов, сборочные, инструментальные и тому подобные цехи.

Помещения с окружающей средой, разрушающе действующей на материал проводников и изоляции вследствие присутствия пыли, сырости, химически активной или органической среды, наличия высокой температуры относятся к следующим группам.

*Влажные помещения* — помещения, в которых относительная влажность воздуха более 60%, но не превышает 75%.

*Сырые помещения* — помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75%.

*Особо сырые помещения* — помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100% (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

*Жаркие помещения* — помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35 °С (например, помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные).

*Пыльные помещения* — помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, которая может оседать на токоведущих частях, проникать внутрь машин и аппаратов и т. п.

Пыльные помещения разделяются на помещения с токопроводящей пылью и помещения с нетокопроводящей пылью.

*Помещения с химически активной или органической средой* — помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы,

*Пожаро- и взрывоопасные помещения* — это помещения с такой средой, в которой сама электросеть или электрооборудование представляют опасность вследствие возможности пожара или взрыва из-за перегрева проводки или образования искр. Сюда относятся помещения, в которых имеются пары бензина или керосина, водород, древесная и мучная пыль и другие горючие вещества.

Классификация помещений по взрывопожароопасной и пожарной опасности в зависимости от количества и пожаровзрывоопасных свойств находящихся (обращающихся) в них веществ и материалов с учетом особенностей технологических процессов размещенных в них производств приводится в НПБ 105–03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», где установлены категории помещений. Из них категории А и Б являются взрывопожароопасными, причем А более опасная; категория В1–В4 — пожароопасная; категории Д и Г — неопасные по пожару и взрыву.

Однако эти категории определяют производства и помещения со строительной точки зрения и лишь частично характеризуют помещения с точки зрения требований к электроустановкам.

Требования к электроустановкам во взрыво- и пожароопасных зонах установлены ПУЭ (главы 7.3, 7.4).

Выбор и установка электрооборудования (машин, аппаратов, устройств) и сетей (электропроводок, кабельных линий) выполняются на основе классификации взрывоопасных и пожароопасных зон.

## Электроустановки во взрывоопасных зонах

### *Определения*

Взрыв — это быстрое преобразование веществ (взрывное горение), сопровождающееся выделением энергии и образованием сжатых газов, способных производить работу.

Вспышка — быстрое сгорание горючей смеси, сопровождающееся образованием сжатых газов.

Тление — горение без свечения, обычно опознаваемое по появлению дыма.

Электрическое искрение — искровые, дуговые и тлеющие электрические разряды.

Искробезопасная электрическая цепь — электрическая цепь, выполненная так, что электрический разряд или ее нагрев не может воспламенить взрывоопасную среду при предписанных условиях испытания.

Температура вспышки — самая низкая (в условиях специальных испытаний) температура горючего вещества, при которой над его поверхностью образуются пары и газы, способные вспыхивать от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения.

Температура воспламенения — температура горючего вещества, при которой оно выделяет горючие пары или газы с такой скоростью, что после воспламенения их от источника зажигания возникает устойчивое горение.

Температура самовоспламенения — самая низкая температура, горючего вещества, при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением пламенного горения.

Температура тления — самая низкая температура вещества (материалов, смеси), при которой происходит резкое увеличение скорости экзотермических реакций, заканчивающееся возникновением тления.

Легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ) — жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки не выше 61 °С.

К взрывоопасным относятся ЛВЖ, у которых температура вспышки не превышает 61 °С, а давление паров при температуре 20 °С составляет менее 100 кПа (около 1 ат).

Горючая жидкость — жидкость, способная самостоятельно гореть после удаления источника зажигания и имеющая температуру вспышки выше 61 °С.

Горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С относятся к пожароопасным, но нагретые в условиях производства до температуры вспышки и выше — к взрывоопасным.

Легкий газ — газ, который при температуре окружающей среды 20 °С и давлении 100 кПа имеет плотность 0,8 или менее по отношению к плотности воздуха.

Тяжелый газ — газ, который при тех же условиях, что и в определении для легкого газа, имеет плотность более 0,8 по отношению к плотности воздуха.

Сжиженный газ — газ, который при температуре окружающей среды ниже 20 °С или давлении выше 100 кПа, или при совместном действии обоих этих условий обращается в жидкость.

Горючие газы относятся к взрывоопасным при любых температурах окружающей среды.

Горючие пыль и волокна относятся к взрывоопасным, если их нижний концентрационный предел воспламенения не превышает 65 г/м<sup>3</sup>.

Взрывоопасная смесь — смесь с воздухом горючих газов, паров ЛВЖ, горючих пыли или волокон с нижним концентрационным пределом воспламенения не более 65 г/м<sup>3</sup> при переходе их во взвешенное состояние, которая при определенной концентрации способна взорваться при возникновении источника инициирования взрыва.

К взрывоопасным относится также смесь горючих газов и паров ЛВЖ с кислородом или другим окислителем (например, хлором).

Концентрация в воздухе горючих газов и паров ЛВЖ принята в процентах к объему воздуха, концентрация пыли и волокон — в граммах на кубический метр к объему воздуха.

Верхний и нижний концентрационные пределы воспламенения — соответственно максимальная и минимальная концентрации горючих газов, паров ЛВЖ, пыли или волокон в воздухе, выше и ниже которых взрыва не произойдет даже при возникновении источника инициирования взрыва.

Помещение — пространство, огражденное со всех сторон стенами (в том числе с окнами и дверями), с покрытием (перекрытием) и полом. Пространство под навесом и пространство, ограниченное сетчатыми или решетчатыми ограждающими конструкциями, не являются помещениями.

Наружная установка — установка, расположенная вне помещения (снаружи) открыто или под навесом либо за сетчатыми или решетчатыми ограждающими конструкциями.

Взрывоопасная зона — помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в которых имеются или могут образоваться взрывоопасные смеси.

Взрывозащищенное электрооборудование — электрооборудование, в котором предусмотрены конструктивные меры по устранению или затруднению возможности воспламенения окружающей его взрывоопасной среды вследствие эксплуатации этого электрооборудования.

Электрооборудование общего назначения — электрооборудование, выполненное без учета требований, специфических для определенного назначения, определенных условий эксплуатации.

#### *Классификация взрывоопасных зон*

Класс взрывоопасной зоны, в соответствии с которым производится выбор электрооборудования, определяется технологами совместно с электриками проектной или эксплуатирующей организации.

При определении взрывоопасных зон принимается, что

а) взрывоопасная зона в помещении занимает весь объем помещения, если объем взрывоопасной смеси превышает 5% свободного объема помещения;

б) взрывоопасной считается зона в помещении в пределах до 5 м по горизонтали и вертикали от технологического аппарата, из которого возможно выделение горючих газов или паров ЛВЖ, если объем взрывоопасной смеси равен или менее 5% свободного объема помещения. Помещение за пределами взрывоопасной зоны следует считать невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность;

в) взрывоопасная зона наружных взрывоопасных установок ограничена размерами, определяемыми ПУЭ (п. 7.3.44).

*Зоны класса В-I* — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении или переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.

*Зоны класса В-Ia* — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

*Зоны класса В-Iб* — зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а возможны только в результате аварий или неисправностей и которые отличаются одной из следующих особенностей:

- горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15% и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях (например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок);
- помещения производств, связанных с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, имеют взрывоопасную зону только в верхней части помещения. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей).

*К классу В-Iб* относятся также зоны лабораторных и других помещений, в которых горючие газы и ЛВЖ имеются в небольших коли-

чествах, недостаточных для создания взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5% свободного объема помещения, и в которых работа с горючими газами и ЛВЖ производится без применения открытого пламени. Эти зоны не относятся к взрывоопасным, если работа с горючими газами и ЛВЖ производится в вытяжных шкафах или под вытяжными зонтами.

*Зоны класса В-I<sub>г</sub>* — пространства у наружных установок: технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ (за исключением наружных аммиачных компрессорных установок, выбор электрооборудования для которых производится так же, как для таких установок в помещениях), надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т. п.

*Зоны класса В-II* — зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов).

*Зоны класса В-II<sub>а</sub>* — зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, указанные для зон класса В-II, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Наибольшую опасность при искрообразовании представляют собой электродвигатели, электрические аппараты и светильники, электропроводки в этом отношении менее опасны.

Электрооборудование, особенно с частями, искрящими при нормальной работе, рекомендуется выносить за пределы взрывоопасных зон, если это не вызывает затруднений при эксплуатации и не сопряжено с неоправданными затратами. В случае установки электрооборудования в пределах взрывоопасной зоны оно должно иметь соответствующее конструктивное исполнение. Типы исполнения электрооборудования в зависимости от класса взрывоопасной зоны, где оно применяется, приведено в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Исполнение электрооборудования в зависимости от класса взрывоопасной зоны, где оно применяется**

Класс взрывоопасной зоны	Уровень взрывозащиты
В-I	Электрические машины
В-I <sub>а</sub> , В-I <sub>г</sub>	Взрывобезопасное
В-I <sub>б</sub>	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Без взрывозащитной оболочки, со степенью защиты IP44
В-II <sub>а</sub>	Взрывобезопасное
	Без взрывозащитной оболочки, со степенью защиты IP54

Класс взрыво-опасной зоны	Уровень взрывозащиты
	Электрические аппараты и приборы
	Стационарные
В-I	Взрывобезопасные, особо взрывобезопасные
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва — для аппаратов и приборов искрящих или подверженных нагреву выше 80 °С
	Без средств взрывозащиты — для аппаратов и приборов, не искрящих и не подверженных нагреву выше 80 °С
	Оболочка IP54
В-Iб	Без средств взрывозащиты, оболочка IP44
В-II	Взрывобезопасные, особо взрывобезопасные
В-IIa	Без средств взрывозащиты, оболочка IP54
	Передвижные и ручные переносные
В-I, В-Ia	Взрывобезопасные, особо взрывобезопасные
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности
В-II	Взрывобезопасные
В-IIa	Без средств взрывозащиты, оболочка IP54
	Светильники
	Стационарные
В-I	Взрывобезопасные
В-Ia, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-Iб	Без средств взрывозащиты. Исполнение IP5x*
В-II	Повышенной надежности против взрыва
В-IIa	Без средств взрывозащиты. Исполнение IP5x
	Переносные
В-I, В-Ia	Взрывобезопасные
В-Iб, В-Iг	Повышенной надежности против взрыва
В-II	Взрывобезопасные
В-IIa	Повышенной надежности против взрыва

\* Символ «х» означает, что степень защиты оболочки от проникновения воды (вторая цифра в обозначении) принимается в соответствии с условиями внешней среды в месте установки электрооборудования.

Способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах осуществляются в соответствии с табл. 4.2.

Таблица 4.2

### Допустимые способы прокладки кабелей и проводов во взрывоопасных зонах

Кабели и провода	Способ прокладки	Силовые сети и вто- ричные цепи до 1000 В	Освети- тельные сети до 380 В
Брониро- ванные кабели	Открыто: по стенам и строительным кон- струкциям на скобах и кабельных конструк- циях, в коробах, лотках, на тросах, эстака- дах, в каналах. Скрыто в земле, в блоках	В зонах любого класса	

Кабели и провода	Способ прокладки	Силовые сети и вторичные цепи до 1000 В	Осветительные сети до 380 В
Небронированные кабели в резиновой, поливинилхлоридной и металлической оболочке	Открыто — при отсутствии механических и химических воздействий: по стенам и строительным конструкциям на скобах и кабельных конструкциях, в лотках, на тросах.	В-Иб В-Иа В-Иг	В-Иа В-Иб В-Иа В-Иг
	В каналах пылеуплотненных (покрытых асфальтом) или засыпанных песком	В-И В-Иа	В-И В-Иа
	Открыто в коробах	В-Иа В-Иб В-Иг	В-Иа В-Иб В-Иг
	Открыто и скрыто: В стальных водогазопроводных трубах	В зонах любого класса	
Изолированные провода	То же	То же	

В помещениях классов В-И и В-Иа применение алюминиевых проводников не допускается, так как при коротком замыкании и электрической дуге внутри кожуха раскаленные частицы алюминия, разлетающиеся от места к. з., не охлаждаются в воздухе, как это имеет место с медными, а продолжают гореть, поскольку алюминий является веществом, сгорающим в воздухе при определенной температуре. Проводка в таких помещениях выполняется взрывонепроницаемой, что достигается применением кабелей с броней или изолированными проводами, прокладываемыми в водогазопроводных стальных трубах, соединяемых специальными взрывозащищенными фитингами.

В помещениях классов В-Иб, В-И, В-Иа и наружных установках В-Иг допускается применение проводников с алюминиевой жилой, причем для помещений классов В-Иб и установок В-Иг проводники выбираются, как для невзрывоопасных помещений. Для помещений класса В-И необходимо применение бронированных кабелей или проводов в стальных трубах. Для В-Иа допускается применение небронированных кабелей.

### Электроустановки в пожароопасных зонах

*Пожароопасной зоной* называется пространство внутри и вне помещений, в пределах которого постоянно или периодически обращаются горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушении.



*Зоны класса П-I* — это зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С (склады минеральных масел).

*Зоны класса П-II* — это зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыль или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м<sup>3</sup> к объему воздуха (деревобрабатывающие цехи, мельницы, элеваторы).

*Зоны класса П-IIIa* — это зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества (склады деревянных изделий, тканей, бумаги и т. п.).

*Зоны класса П-III* — это зоны, расположенные вне помещений (для наружных установок), в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества (открытые склады минеральных масел, угля, торфа, дерева и т. п.).

В пожароопасных помещениях и наружных установках необходимо, чтобы была устранена возможность образования электрической искры, а также повышения температуры выше нормальной.

Электрооборудование, располагаемое в пожароопасных зонах, должно иметь соответствующие степени защиты (табл. 4.3).

Таблица 4.3

**Допустимые степени защиты оболочек электрооборудования  
в зависимости от класса пожароопасной зоны**

Вид установки и условия ее работы	Степень защиты оболочки для пожароопасной зоны класса			
	П-I	П-II	П-IIIa	П-III
Электрические машины:				
стационарно установленные машины искрящие	IP44	IP54	IP44	IP44
или с искрящими частями по условиям работы				
то же не искрящие и без искрящих частей	IP44	IP44	IP44	IP44
то же с частями искрящими и неискрящими	IP44	IP54	IP54	IP54
по условиям работы, установленные на передвижных механизмах (краны, тельферы и т. д.)				
Электрические аппараты и приборы, установленные стационарно или на передвижных механизмах, искрящие по условиям работы	IP44	IP54	IP44	IP44
То же не искрящие по условиям работы	IP44	IP44	IP44	IP44
Шкафы для размещения аппаратов и приборов	IP44	IP54	IP44	IP44
Коробки сборок зажимов	IP44	IP44	IP44	IP44
Светильники с источниками света:				
лампы накаливания	IP5x*	IP5x	IP2x	IP23
ДРЛ	IP5x	IP5x	IP2x	IP23
люминесцентные низкого давления	IP5x	IP5x	IP2x	IP23

\* Символ «х» означает, что степень защиты оболочки от проникновения воды (вторая цифра в обозначении) принимается в соответствии с условиями внешней среды в месте установки светильника.

Силовые распределительные щиты (ЩР) и осветительные щитки (по возможности) выносятся из пожароопасных помещений на лестничные клетки, в специальные электропомещения. При расположении ЩР непосредственно в пожароопасной зоне (помещении) конструкция их должна иметь уплотнения во избежание проникновения горючей пыли внутрь и воспламенения ее при возникновении искры.

Как правило, проводки должны выполняться защищенными изолированными проводами в металлических оболочках, проводами в стальных трубах или кабелями с металлической, полихлорвиниловой или найритовой (негорючая резина) изоляцией. Все соединения проводок выполняются в специальных коробах из жаростойкой пластмассы или стали с непроницаемыми для пыли уплотнениями.

Электропроводка внутри светильников с лампами накаливания и ДРЛ до места присоединения внешних проводов должна выполняться термостойкими проводами.

Переносные светильники в пожароопасных зонах любого класса должны иметь степень защиты не менее IP54; стеклянный колпак светильника должен быть защищен металлической сеткой.

## 4.2. Классификация помещений в отношении опасности поражения людей электрическим током

При проектировании электроустановок для безопасной эксплуатации электрооборудования необходимо разработать систему заземления и выбрать защитные меры электробезопасности. Для этого требуется правильно определить категории помещений с точки зрения электробезопасности.

В ПУЭ (глава 1.1, 7-е изд.) приведена классификация помещений в отношении опасности поражения людей электрическим током. В соответствии с данной классификацией различаются:

- 1) помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность (см. ниже пп. 2 и 3);
- 2) помещения с повышенной опасностью, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность:
  - сырость или токопроводящая пыль;
  - токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т. п.);
  - высокая температура;
  - возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т. п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой;

- 3) особо опасные помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность:
  - особая сырость;
  - химически активная или органическая среда;
  - одновременно два или более условий повышенной опасности (см. п. 2);
- 4) территория открытых электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям.

Конструкция, исполнение, способ установки, класс и характеристики изоляции применяемых электрических машин, аппаратов, приборов и прочего электрооборудования, а также кабелей и проводов должны соответствовать параметрам сети или электроустановки, режимам работы, условиям окружающей среды и требованиям соответствующих глав ПУЭ.

### 4.3. Технико-экономическое обоснование выбора рода тока

Выбор рода тока для электроснабжения проектируемой электроустановки связан с выбором оптимального типа электропривода — постоянного или переменного тока. До недавнего времени электропривод постоянного тока имел ряд таких преимуществ, как возможность широкого регулирования частоты вращения и частого реверса электродвигателя, повышенного начального момента и т. д. Из-за этого в электрических сетях промышленных предприятий в середине XX века даже проектировали централизованные сети постоянного тока.

Дальнейшее развитие электроприводов переменного тока (например, улучшение их характеристик) привело к значительному ограничению централизованного снабжения привода постоянным током, которое сохранилось только в черной металлургии и имеет тенденцию к дальнейшему сокращению.

Разработка и внедрение компактных полупроводниковых регуляторов частоты (на базе IGBT-транзисторов и других современных полупроводниковых элементов) привело к тому, что асинхронные электродвигатели теперь имеют возможность плавной регулировки частоты оборотов. Это позволяет у большинства электроприводов использовать электродвигатели переменного тока.

В общем плане, при решении вопроса о выборе рода тока для электроснабжения следует исходить из следующих положений:

1. На наших электростанциях электроэнергия в настоящее время вырабатывается исключительно переменного трехфазного тока с  $f = 50$  Гц.

2. Решающими факторами при выборе рода тока являются требования технологии производства. Есть производственные процессы, кото-

рые могут быть осуществлены только с применением постоянного тока (например, электролиз). В случае необходимости применения электропривода постоянного тока эта задача решается посредством использования индивидуальных преобразователей и систем автоматики.

3. Большинство механизмов промышленных предприятий, сельскохозяйственных объектов и систем жизнеобеспечения жилых и общественных зданий используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, а в отдельных случаях — синхронные двигатели.

В результате развития систем электропривода с индивидуальными преобразователями (преобразователями переменного в постоянный ток, а также с преобразователями частоты для асинхронных электродвигателей) в настоящее время вопрос выбора тока утратил свою остроту. Основной род тока для предприятий, сельскохозяйственных объектов, жилых и общественных зданий — переменный.

Выбор напряжения проектируемой сети зависит прежде всего от устанавливаемого технологического оборудования. Для силовых сетей, сетей освещения, жизнеобеспечения жилых и общественных зданий, промышленных и сельскохозяйственных объектов используется, как правило, напряжение 380/220 В (за исключением переносного электрооборудования, специфических электроустановочных устройств и т. п.).

В учебном пособии будут рассматриваться вопросы, связанные с проектированием электроустановок напряжением до 1 кВ в сетях с глухозаземленной нейтралью (системы типа TN — TN-C, TN-S, TN-C-S).

#### 4.4. Категории электроприемников и обеспечение надежности электроснабжения

Категории электроприемников по надежности электроснабжения определяются в процессе проектирования системы электроснабжения на основании нормативной документации, а также технологической части проекта.

В отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории.

Электроприемники первой категории — это электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства для предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроприемники второй категории — это электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники третьей категории — все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

Независимыми источниками питания являются такие, на которых сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках. Согласно ПУЭ, к независимым источникам могут быть отнесены две секции или системы шин одной или двух электростанций или подстанций при соблюдении следующих условий:

- каждая из этих секций или систем шин питается от независимых источников;
- секции шин не связаны между собой или же имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций шин.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы также агрегаты бесперебойного питания, аварийные дизель-генераторы, аккумуляторные батареи и т. п.

Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 сут.

# Глава 5. КОНСТРУКТИВНОЕ ВЫПОЛНЕНИЕ СЕТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

## 5.1. Общие сведения

Электрические сети промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов напряжением до 1 кВ выполняют:

- кабелями с изолированными проводниками, прокладываемыми непосредственно на строительных элементах и элементах технологического оборудования, в коробах, на лотках и в трубах, а также тросовыми проводниками;
- комплектными шинопроводами — магистральными, распределительными и осветительными, устанавливаемыми на опорных конструкциях на полу, стенах, колоннах, фермах и т. п.;
- комплектными троллейными шинопроводами, укрепляемыми на специальных конструкциях.

Электрические сети (электропроводка) должны соответствовать условиям окружающей среды, назначению и ценности сооружений, их конструкции и архитектурным особенностям. При выборе вида электропроводки и способа прокладки должны учитываться требования электробезопасности и пожарной безопасности. Оболочки и изоляция проводов должны соответствовать способу прокладки и условиям окружающей среды.

## 5.2. Электропроводки

Электропроводки являются распространенным видом сетей внутри зданий и сооружений. Этот вид сетей широко применяется для питания осветительных устройств, для цепей вторичной коммутации, защиты и управления, для питания установок небольшой мощности.

Электропроводками называются сети постоянного и переменного тока напряжением до 1 кВ, выполняемые изолированными проводниками, а также небронированными кабелями с резиновой и пластмассовой изоляцией сечением фазных жил до 16 мм<sup>2</sup> (при сечении фазных жил более 16 мм<sup>2</sup> такие сети называются кабельными линиями, прокладка таких линий определяется главой 2.3 ПУЭ; прокладка электропроводок регламентируется главой 2.1 ПУЭ).

Все электропроводки внутри зданий разделяются на открытые и скрытые.

Электропроводка, проложенная по поверхности стен, потолков, ферм и другим строительным элементам зданий и сооружений, называ-

ется открытой. В зависимости от условий окружающей среды, требований технической эстетики, марки и сечений применяемых проводников и т. п. способов выполнения электропроводки достаточно много. Для промышленных предприятий основными способами прокладки электропроводки являются прокладка в специальных лотках, коробах (металлических и ПВХ), трубах (водогазопроводных, ПВХ гладких и гофрированных, алюминиевых, металлолукавах), а также на тросах.

Электропроводку, проложенную внутри конструктивных элементов зданий и сооружений (в стенах (*штробах*), полах, фундаментах, перекрытиях, за непроходными подвесными потолками), а также по перекрытиям в подготовке пола, непосредственно под съемным полом и т. п., называют скрытой.

Для обеспечения надежной работы электроустановок необходимо выполнять прокладку проводников таким образом, чтобы повреждение в цепях одного агрегата не вызвало остановки других, работающих независимо. Поэтому в одной трубе или коробе, одном замкнутом канале строительной конструкции или одном лотке запрещается прокладывать цепи разных технологических агрегатов, не связанных единым технологическим процессом. Из этих же соображений запрещается совместная прокладка взаиморезервирующих цепей, цепей аварийного и рабочего освещения.

Большое значение для обеспечения надежной работы электроустановок имеет устойчивость работы электропроводок в отношении нераспространения огня при повреждениях. Для открытых электропроводок без стальных труб необходимо применять провода и кабели только с такими внешними оболочками, которые не поддерживают горение после удаления источника воспламенения. В этом случае, если в электропроводке возникло повреждение и она загорелась, после действия защиты и отключения поврежденного участка горение проводки не будет распространяться, и размеры аварии будут ограничены. К числу не распространяющих горение относятся оболочки и изоляция из полихлорвинила и найрита.

Важным общим требованием к конструкции электропроводок является обеспечение возможности смены проводов в условиях эксплуатации. Срок службы проводов ограничен. Под воздействием тепла и света, кислорода воздуха и влаги, а также различных газов, попадающих в атмосферу, изоляция и оболочки кабелей и проводов теряют со временем свои механические и электрические свойства. Замена проводов и кабелей в сети не должна быть связана с необходимостью разрушения строительных элементов зданий и сооружений. В зависимости от условий окружающей среды и качества изоляционных материалов провода приходится менять приблизительно каждые 10–15 лет эксплуатации.

Электропроводку, проложенную по наружным стенам зданий и сооружений, под навесами и т. п., а также между зданиями на опорах (не

более 4-х пролетов длиной 25 м каждый) вне улиц, дорог и т. п., называют наружной. Она может быть скрытой и открытой.

Кабели в неметаллических и металлических оболочках применяют в наружных установках и помещениях всех видов и прокладываются по поверхности стен, потолков, на лотках и в коробах, на тросах.

Кабели в неметаллической оболочке применяются в помещениях всех видов и наружных установках в металлических гибких рукавах, стальных трубах (за исключением сырых и особо сырых помещений и наружных установок) и неметаллических трубах и коробах, в замкнутых каналах строительных конструкций.

Для стационарных электропроводок внутри зданий должны применяться преимущественно провода и кабели с медными жилами (алюминиевые жилы — для внешнего электроснабжения и наружных электропроводок).

В помещениях и наружных установках с химически активной средой все элементы электропроводок должны быть защищены от ее воздействия.

В производственных помещениях спуски незащищенных проводов к выключателям, аппаратам, щиткам и т. п. должны быть защищены от механических воздействий до высоты не менее 1,5 м от уровня пола.

### 5.3. Шинопроводы

Устройство для канализации электроэнергии, состоящее из голых или изолированных шин, изоляторов, соединительных, защитных и опорных конструкций, называется шинопроводом. Они распространены в установках напряжением до 1 кВ.

Шинопроводы могут быть *открытыми* и *защищенными* от воздействия окружающей среды.

Открытые шинопроводы представляют собой неизолированные шины, прокладываемые на изоляторах по опорным конструкциям на высоте не менее 3,5 м от пола и 2,5 м от настилов кранов.

Защищенные магистральные и распределительные шинопроводы по сравнению с открытыми обладают следующими преимуществами: имеют высокую заводскую готовность, небольшие габариты, ремонтно-пригодны, обеспечивают повышенную надежность при эксплуатации.

Защищенные шинопроводы различных серий и типов комплектуются из отдельных секций различной конфигурации и назначения. Секции могут быть прямые, переходные, подгоночные. Длины секций унифицированы и кратны 770 мм.

Крановые троллеи, троллейные шинопроводы, кабели в лотках и на конструкциях, блоки труб прокладывают на высоте 7–15 м вдоль стены или подкрановой балки. Технические данные на шинопроводы приведены в табл. 5.1–5.4.



Таблица 5.1

**Технические данные магистральных шинопроводов переменного тока**

Показатель	ШЗМ-16	ШМА-73	ШМА-68Н	
Номинальный ток, А	1600	1600	2500	4000
Номинальное напряжение, В	380/220	660	660	660
Электродинамическая стойкость ударному току к. з., кА	70	70	70	100
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,018	0,031	0,027	0,013
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,012	0,017	0,023	0,020
Число и размеры шин на фазу мм	2(100×10)	2(90×8)	2(120×10)	2(160×10)
Число и сечение нулевых проводников, мм <sup>2</sup>	—	2×710	2×640	2×640
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	6000	6000	3000	3000

Магистральные шинопроводы предназначены для питания распределительных шинопроводов и пунктов, отдельных крупных электроприемников. магистральные шинопроводы (типа ШМА) собраны из алюминиевых прямоугольных изолированных шин, расположенных вертикально и зажатых внутри перфорированного кожуха со специальными изоляторами (рис. 5.1). Номинальные токи — 1600–4000 А.

Число шин в магистральных шинопроводах 3, 4, 6 (три спаренных). Магистральный шинопровод состоит из прямых и угловых секций с поворотом шин на ребро и плоскость, ответвительных вертикальных и горизонтальных (в том числе с автоматами и рубильниками) секций и др. Шины соединяют в основном сваркой при сборке блоков.

Магистральные шинопроводы прокладываются на вертикальных стойках высотой 3 м. В качестве опорных конструкций применяют также кронштейны и тросовые подвески.

Для агрессивных сред гальванических цехов выпускают магистральные шинопроводы ШМА-Х на ток 2500 и 4000 А и шинопроводы постоянного тока ШМАД и ШМАДК на напряжение 1200 В и ток 1600–6300 А.

Таблица 5.2

**Технические данные распределительных шинопроводов переменного тока**

Показатель	ШРА-73			ШРМ-75			ШРА-74
Номинальный ток, А	250	400	630	100	250	400	630
Номинальное напряжение, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220

Показатель	ШРА-73			ШРМ-75			ШРА-74
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,20	0,13	0,085	—	0,15	0,15	0,14
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,10	0,10	0,075	—	0,20	0,20	0,10
Размер шин на фазу, мм	35×5	50×5	80×5	—	35×5	50×5	80×5
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	3000			2000			3000

Таблица 5.3

**Технические данные троллейных шинопроводов переменного тока**

Показатель	ШТМ-73, ШТА-75	ШТМ-75, ШТА-75	ШТА-76
Номинальный ток, А	250	400	100
Номинальное напряжение, В	660	660	36–380
Частота, Гц	50–60	50–60	17–60
Номинальный ток токоъемной каретки, А	—	—	17,25
Номинальный ток спаренной токоъемной каретки со сборкой зажимов, А	50	20	—
Электродинамическая стойкость ударному току к. з., кА	10	15	5
Число шин, шт.	3	3	4

Таблица 5.4

**Технические данные осветительных шинопроводов переменного тока**

Показатель	ШОС-2-25-44	ШОС-4-25-44	ШОС-80-43
Номинальный ток, А	25	25	16
Номинальное напряжение, В	220	380/220	220
Электродинамическая стойкость ударному току к.з, кА	3	3	3

Распределительные шинопроводы ШРА (с алюминиевыми шинами — рис. 5.2) и ШРМ (с медными шинами) предназначены для передачи и распределения электроэнергии напряжением 380/220 В при возможности непосредственного присоединения к ним электроприемников с глухозаземленной нейтралью. Номинальные токи ШРА — 250, 400, 630 А; ШРМ — 100 и 250 А. Распределительные шинопроводы крепят так же, как и магистральные: на стойках, кронштейнах, подвесах (рис. 5.3).

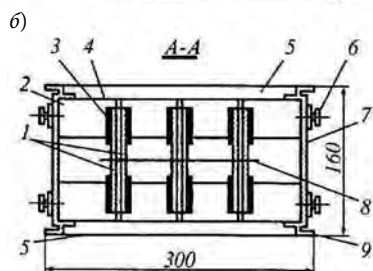
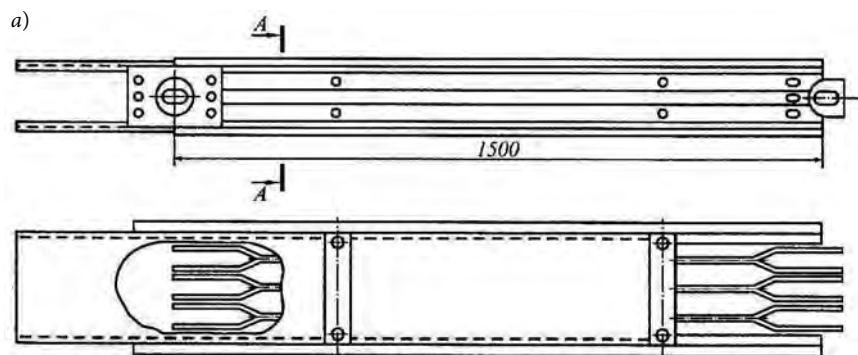


Рис. 5.1. Магистральный шинопровод ШМА-73:

*a* — прямая секция; *б* — поперечный разрез; 1 — фазные шины; 2 — изолятор; 3 — эластичная прокладка; 4 — верхняя крышка; 5 — обойма; 6 — болт; 7 — боковая крышка; 8 — изоляционная перегородка между шинами; 9 — угольник крепления шинопровода опорной конструкции

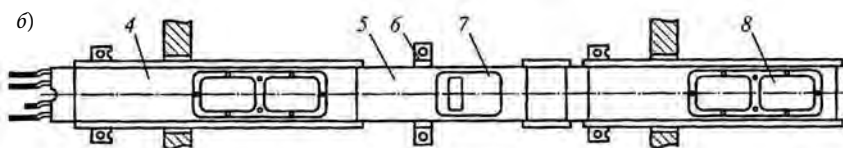
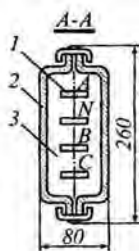
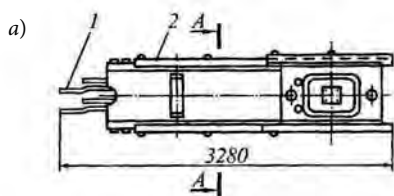


Рис. 5.2. Распределительные шинопроводы ШРА:

*a* — общий вид прямой секции ШРА-73; *б* — шинопровод ШРА-73В для вертикальной прокладки; 1 — шина; 2 — короб; 3 — изолятор; 4 — универсальная секция; 5 — прямая секция; 6 — кронштейн; 7 — ответвительная коробка; 8 — крышка

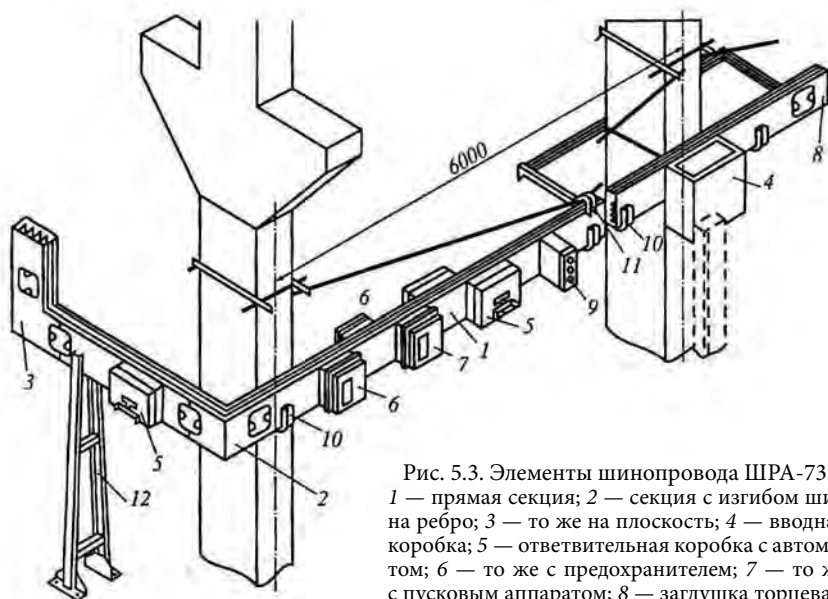


Рис. 5.3. Элементы шинопровода ШРА-73:  
 1 — прямая секция; 2 — секция с изгибом шин на ребро; 3 — то же на плоскость; 4 — вводная коробка; 5 — ответвительная коробка с автоматом; 6 — то же с предохранителем; 7 — то же с пусковым аппаратом; 8 — заглушка торцевая; 9 — коробка с указателем наличия напряжения; 10–12 — конструкции для установки и крепления токопровода

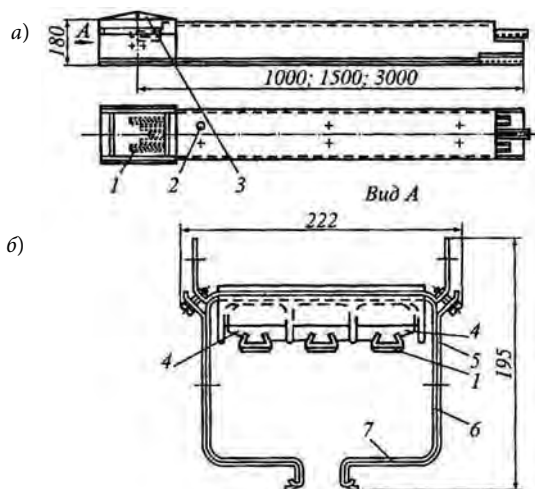


Рис. 5.4. Троллейный шинопровод ШТМ-72:  
 а — общий вид; б — поперечный разрез; 1 — троллей; 2 — крепление изолятора; 3 — серьга подвески; 4 — изолятор; 5 — короб; 6 — корпус соединительной муфты; 7 — уступ ко-роба

а)

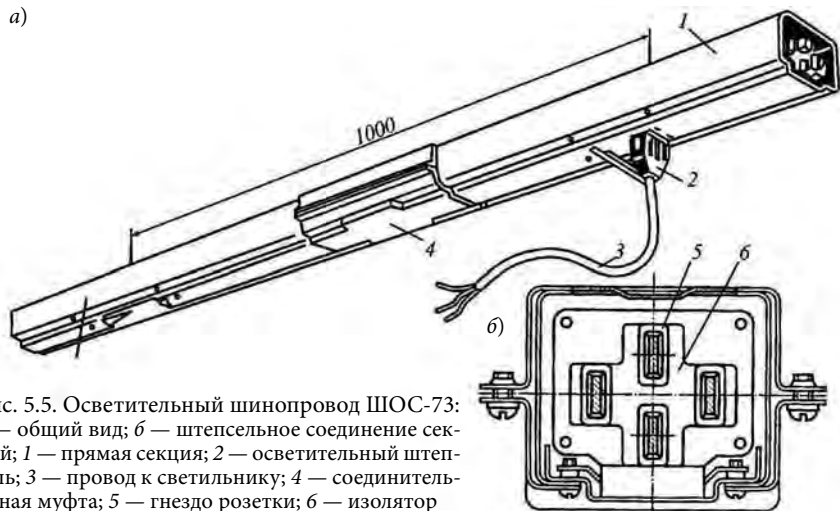


Рис. 5.5. Осветительный шинопровод ШОС-73: а — общий вид; б — штепсельное соединение секций; 1 — прямая секция; 2 — осветительный штепсель; 3 — провод к светильнику; 4 — соединительная муфта; 5 — гнездо розетки; 6 — изолятор

Троллейные шинопроводы (рис. 5.4) ШТМ (с медными шинами) предназначены для питания подъемно-транспортных механизмов и переносных электрифицированных инструментов в сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью. Номинальные токи — 100, 200 и 400 А.

Комплектные троллейные шинопроводы ШТА выполняются с троллеями из алюминиевого сплава, номинальный ток шинопроводов 100, 250 и 400 А.

Осветительные шинопроводы ШОС предназначены для групповых четырехпроводных линий в сетях напряжением до 1000 В с нулевым проводом для питания светильников и электроприемников небольшой мощности. Номинальные токи — 25, 63, 100 А.

В качестве проводников используют медные изолированные провода (ШОС-67), алюминиевые шины, плакированные медью (ШОС-73А), и медные шины (ШОС-73). Прямые и фигурные секции соединяют между собой четырехполюсным штепсельным разъемом. Каждая секция имеет с одной стороны гнезда, а с другой — штыри разъема. На прямых секциях снизу через каждые 500 мм смонтированы соединительные розетки, которые закрыты откидными крышками и служат для подключения светильников втычным контактом. Номинальный ток штепселя 10 А. Короб каждой секции заземлен с помощью нулевого провода. Короба на стыке секций крепятся с помощью муфты винтами.

Светильники подвешивают к несущим конструкциям или непосредственно к осветительным шинопроводам. При этом общая нагрузка на 1 м шинопровода ШОС-73 при максимальном пролете 3 м не должна составлять более 20 кг, а шинопровода ШОС-76 при максимальном пролете 2 м — 12 кг. На рис. 5.5 показана конструкция шинопровода ШОС-73.

# Глава 6. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

## 6.1. Схемы распределительных сетей населенных пунктов

Основными схемами, которые используются в распределительных электрических сетях напряжением до 1 кВ, являются магистральные, радиальные и смешанные, сочетающие принципы радиальных и магистральных схем.

Для питания потребителей третьей категории применяют радиальные не резервируемые или магистральные схемы с односторонним питанием. магистральную схему можно применять для питания жилых домов и других потребителей при их относительно небольшой мощности.

На рис. 6.1 даны наиболее распространенные схемы распределительных сетей напряжением до 1 кВ. Из схем 6.1, а и б видно, что распределительные сети, построенные по радиальной и магистральной схемам, обеспечивают питание потребителей только в нормальном режиме. При повреждении сети на любом участке или при коротком замыкании электроснабжение всех потребителей, подключенных к сети, прекращается. Питание может быть восстановлено только после ремонта поврежденного элемента сети.

Наибольшее распространение в городских сетях получила петлевая схема, которую широко используют для электроснабжения потреби-

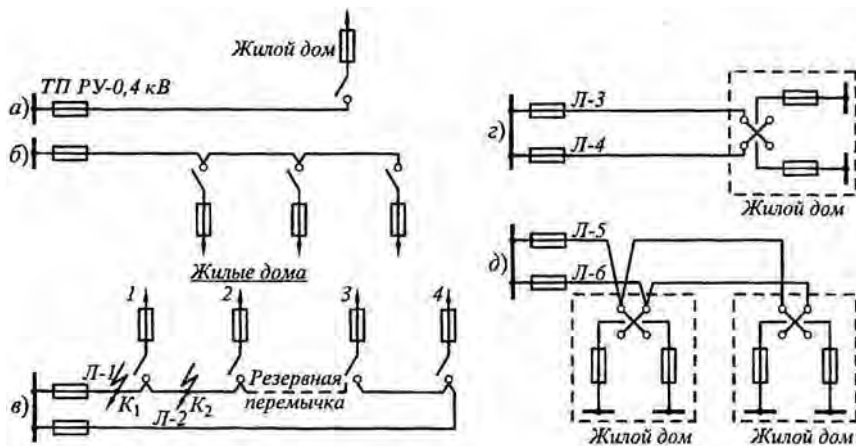


Рис. 6.1. Схемы распределительной сети жилых домов напряжением до 1 кВ

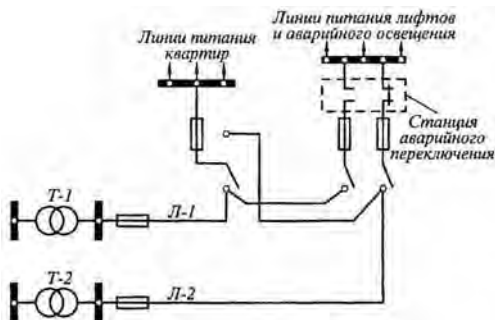


Рис. 6.2. Схема питания напряжением до 1 кВ жилого дома выше 16 этажей

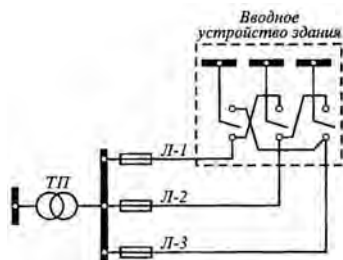


Рис. 6.3. Схема питания напряжением до 1 кВ крупных магазинов, столовых, ресторанов

лей второй категории. На рис. 6.1, в приведена петлевая схема с резервной перемычкой, включаемая в случае повреждения на одном из участков сети.

Питание электроприемников зданий высотой 9–14 этажей осуществляется по радиальной петлевой схеме (рис. 6.1, з).

Петлевая магистральная схема с двумя взаимно резервируемыми кабельными линиями с переключателями на вводах потребителей показана на рис. 6.1, д.

При электроснабжении зданий высотой выше 16 этажей с электроприемниками первой категории, такими как лифты, пожарные насосы, дежурное освещение и т. п., применяют схему с автоматическим их резервированием (рис. 6.2). В нормальных условиях электроприемники первой категории питаются, например, по линии Л-2 от трансформатора Т-2. При выходе из строя линии Л-2 или трансформатора Т-2 электроприемники автоматически переключаются на питание от линии Л-1 и трансформатора Т-2, чем обеспечивается бесперебойное их питание.

Для электроснабжения многоэтажных и многосекционных жилых домов, а также для питания крупных отдельно стоящих ресторанов и магазинов применяют схему с тремя резервируемыми кабелями (рис. 6.3). Как видно из схемы, каждый кабель резервирует только одну из питающих линий.

## 6.2. Схемы электрических сетей напряжением до 1 кВ промышленных и сельскохозяйственных объектов

Основным условием рационального проектирования сети электроснабжения промышленного и сельскохозяйственного объекта является принцип одинаковой надежности питающей линии (со всеми аппаратами) и одного электроприемника технологического агрегата, полу-

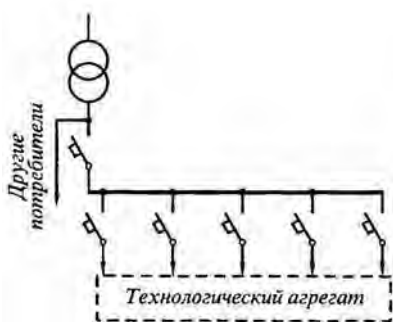


Рис. 6.4. Магистральная схема питания электроприемников цеха

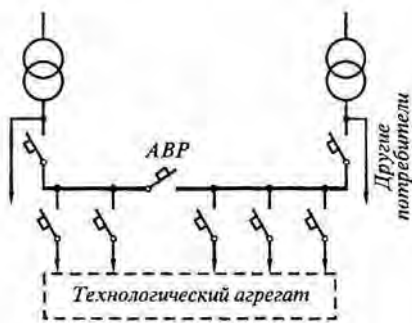


Рис. 6.5. Магистральная схема цеховой сети с двусторонним питанием

чающего питание от этой линии. Поэтому нет смысла, например, питать один электродвигатель технологического агрегата по двум взаиморезервируемым линиям. Если технологический агрегат имеет несколько электроприемников, осуществляющих единый, связанный группой машин технологический процесс, и прекращение питания любого из этих электроприемников вызывает необходимость прекращения работы всего агрегата, то в таких случаях надежность электроснабжения вполне обеспечивается при магистральном питании (рис. 6.4). В отдельных случаях, когда требуется высокая степень надежности питания электроприемников в непрерывном технологическом процессе, применяется двустороннее питание магистральной линии (рис. 6.5).

Магистральные схемы находят широкое применение не только для питания многих электроприемников одного технологического агрегата, но также большого числа приемников сравнительно небольшой мощности, не связанных единым технологическим процессом. К таким потребителям, например, относятся металлорежущие станки в цехах механической обработки металлов и другие потребители, распределенные относительно равномерно по площади цеха.

Магистральные схемы позволяют отказаться от применения громоздкого и дорогого распределительного устройства или щита. В этом случае возможно применение схемы блока трансформатор-магистраль, где в качестве питающей линии применяются токопроводы (шинопроводы), изготавливаемые промышленностью. магистральные схемы, выполненные шинопроводами, обеспечивают высокую надежность, гибкость и универсальность цеховых сетей, что позволяет технологам перемещать оборудование внутри цеха без существенных переделок электрических сетей.

Для питания большого числа электроприемников сравнительно небольшой мощности, относительно равномерно распределенных по площади цеха применяются схемы с двумя видами магистральных линий:



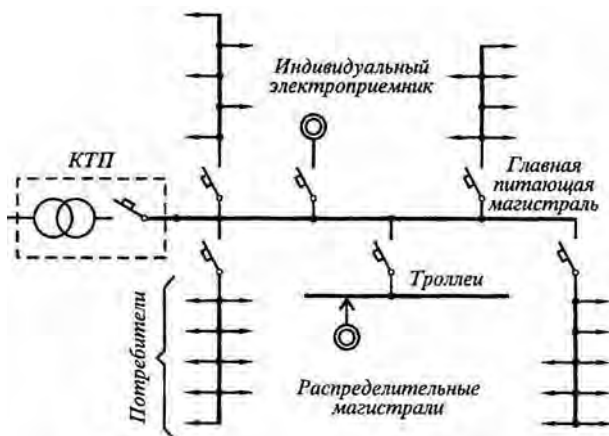


Рис. 6.6. Схема питающих и распределительных линий в цехе

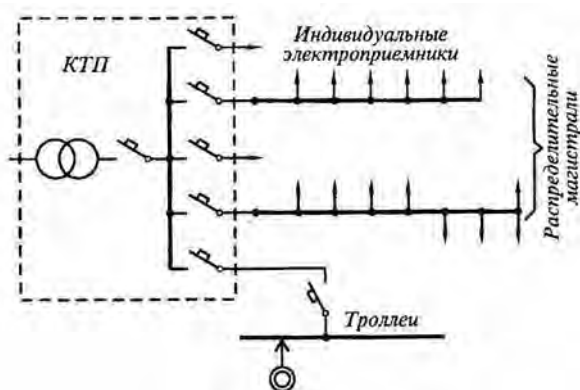


Рис. 6.7. Схема распределительных магистралей, подключенных непосредственно к шинам комплектной трансформаторной подстанции

питающими и распределительными (рис. 6.6). Питающие, или главные, магистрали подключаются к шинам шкафов трансформаторной подстанции, специально сконструированным для магистральных схем. Распределительные магистрали, к которым непосредственно подключаются электроприемники, получают питание от главных питающих магистралей или непосредственно от шин комплектной трансформаторной подстанции (КТП), если главные магистрали не применяются (рис. 6.7).

К главным питающим магистралям подсоединяется возможно меньшее число индивидуальных электроприемников. Это повышает надежность всей системы питания.

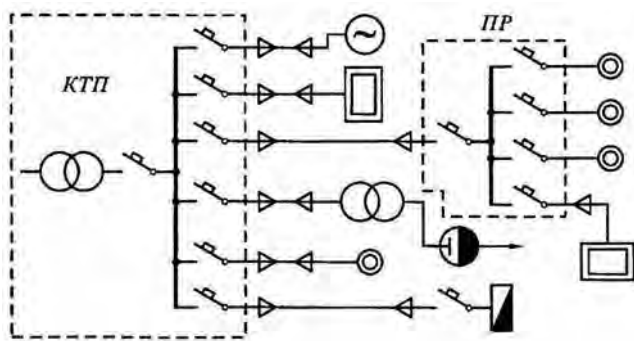


Рис. 6.8. Схема радиального питания электроприемников цеха

Следует учитывать недостаток магистральных схем, заключающийся в том, что при повреждении магистрали одновременно отключаются все питающиеся от нее электроприемники. Этот недостаток ощутим при наличии в цехе отдельных крупных потребителей, не связанных единым непрерывным технологическим процессом.

Радиальные схемы питания характеризуются тем, что от источника питания, например от КТП, отходят линии, питающие непосредственно мощные электроприемники или отдельные распределительные пункты, от которых самостоятельными линиями питаются электроприемники небольшой мощности (рис. 6.8).

Радиальные схемы обеспечивают высокую надежность питания отдельных потребителей, так как аварии локализуются отключением автоматического выключателя поврежденной линии и не затрагивают другие линии.

Все потребители могут потерять питание только при повреждении на сборных шинах КТП, что маловероятно вследствие достаточно надежной конструкции шкафов этих КТП.

Сосредоточение на КТП аппаратов управления и защиты отдельных присоединений позволяет легче решать задачи автоматизации в системе распределения электроэнергии на напряжении до 1 кВ, чем при рассредоточенном расположении аппаратов, что имеет место при магистральной системе.

Радиальные схемы питающих сетей с распределительными устройствами или щитами следует применять при наличии в цехе нескольких достаточно мощных потребителей, не связанных единым технологическим процессом или друг с другом настолько, что магистральное питание их нецелесообразно.

К числу таких потребителей могут быть отнесены электроприемники, требующие применения автоматических выключателей на номинальный ток 400 А и более с дистанционным управлением.

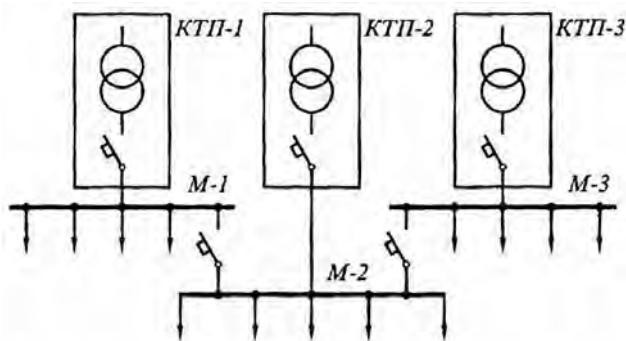


Рис. 6.9. Схема взаимного резервирования питающих магистралей цеха

В чистом виде радиальные и магистральные схемы применяются редко. Наибольшее распространение на практике находят смешанные схемы, сочетающие элементы радиальных и магистральных схем. В крупных цехах металлургических заводов, литейных, кузнечных и механосборочных цехах машиностроительных заводов, на заводах искусственного волокна и других предприятиях, на сельскохозяйственных объектах всегда имеются и радиальные, и магистральные схемы питания различных групп потребителей.

В цехах машиностроительных и металлургических заводов находят применение схемы магистрального питания со взаимным резервированием питания отдельных магистралей. Схема на рис. 6.9 позволяет вывести в ремонт или ревизию один из трансформаторов и, используя перегрузочную способность, обеспечить питание нескольких магистралей от одного, оставшегося в работе трансформатора. Такая схема питания позволяет безболезненно выводить в ремонт или ревизию один из трансформаторов во время ремонта технологического оборудования.

При неравномерной загрузке технологического оборудования в течение суток (например, пониженная нагрузка в ночные или ремонтные смены) схемы со взаимным резервированием питания магистралей обеспечивают возможность отключения незагруженных трансформаторов.

Большое значение для повышения надежности питания имеют переключки между отдельными магистралями или соседними КТП — при радиальном питании (рис. 6.10). Такие переключки, обеспечивая частичное или полное взаимное резервирование, создают удобства для эксплуатации, особенно при проведении ремонтных работ. Проектирование сетей во всех случаях должно выполняться на основе хорошего знания проектировщиком-электриком технологии проектируемого предприятия или сельскохозяйственного объекта, степени ответственности отдельных электроприемников в технологическом процессе.

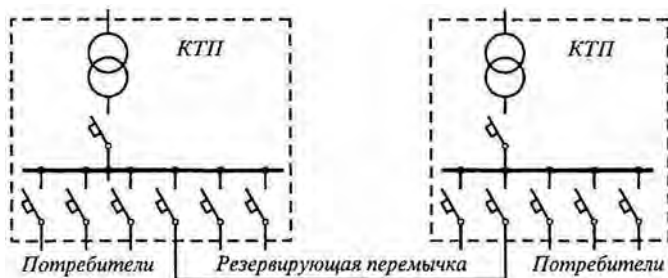


Рис. 6.10. Схема резервирования при радиальном питании потребителей цеха

Большое влияние на принимаемые решения оказывают условия окружающей среды в проектируемом цехе.

Располагать электрооборудование в пожаро- и взрывоопасных или пыльных помещениях следует только в случае острой необходимости, когда другие решения оказываются нерациональными или крайне сложными. При этом следует иметь в виду, что в этих неблагоприятных средах, как правило, применяется специально сконструированное оборудование.

В условиях неблагоприятных сред магистральные схемы нежелательны, так как при их применении коммутационные аппараты неизбежно рассредоточены по площади цеха и подвергаются воздействию агрессивной среды. В таких цехах наибольшее применение находят радиальные схемы питания, при которых все коммутационные аппараты располагаются в отдельных помещениях, изолированных от неблагоприятных агрессивных и взрывоопасных сред.

## 6.3. Схемы осветительных сетей

### Напряжение осветительных сетей

Для светильников общего освещения разрешается применять напряжения:

- не выше 380/220 В переменного тока — при заземленной нейтрали;
- 220 В при изолированной нейтрали.

Для светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должны применяться напряжения:

- в помещениях без повышенной опасности не выше 220 В;
- в помещениях с повышенной опасностью не выше 40 В.

Для ручных переносных светильников в помещениях с повышенной опасностью должно применяться напряжение не выше 42 В. При особо неблагоприятных условиях, когда опасность поражения током усугубля-

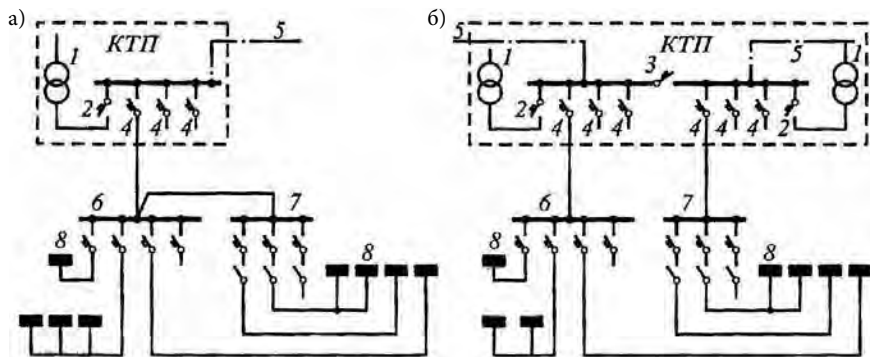


Рис. 6.11. Схемы питания рабочего освещения от КТП:

а — однотономная КТП; б — двухтономная КТП; 1 — трансформатор; 2 — вводной автоматический выключатель; 3 — секционный автоматический выключатель; 4 — линейный автоматический выключатель; 5 — силовой магистральный шинопровод; 6 — магистральный щиток; 7 — щит станции управления; 8 — групповой щиток рабочего освещения.

ется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением с заземленными металлическими поверхностями для ручных светильников, должно применяться напряжение не выше 12 В.

### Схемы питания освещения зданий

Питание осветительных установок обычно производят от общих для силовых и осветительных приемников трансформаторов на напряжении 380/220 В. Область применения самостоятельных осветительных трансформаторов в сетях промышленных предприятий ограничивается случаями, когда характер силовой нагрузки (мощные сварочные аппараты, частый пуск мощных электродвигателей с короткозамкнутым ротором) не позволяет при совместном питании обеспечить требуемое качество напряжения у ламп.

Если силовые приемники питаются от сети напряжением 660/380 В с заземленной нейтралью, то к этой же сети могут быть присоединены светильники, рассчитанные на напряжение 380 В (газоразрядные лампы). Питание всех остальных осветительных приемников производится от промежуточных трансформаторов напряжением 660/380–220 В или от отдельных трансформаторов напряжением 6–10/0,38–0,22 кВ.

Осветительные сети не совмещаются с силовыми сетями. Наиболее характерные схемы питания осветительных установок приведены на рис. 6.11–6.14. В качестве аппаратов защиты и управления линиями питающей сети показаны автоматические выключатели (автоматы). На щитах подстанций и магистральных щитках (пунктах) могут использоваться предохранители и рубильники.

## Питание от одно- и двухтрансформаторных встроенных комплектных трансформаторных подстанций

Для питания освещения в большинстве случаев устанавливаются (см. рис. 6.11) магистральные щитки 6 с автоматами. При устройстве дистанционного управления освещением устанавливаются щиты станций управления (ЩСУ) 7 с автоматами и магнитными пускателями или контакторами. От магистральных щитков или ЩСУ отходят линии питающей сети к групповым щиткам 8; магистральный щиток или ЩСУ питается непосредственно от КТП.

В цехах, где светильники устанавливаются на специальных мостиках, применяется схема питания распределительными шинопроводами типа ШОС на ток 250, 400 и 630 А (6.12). Светильники питаются через автоматы 4, устанавливаемые на шинопроводах; при этом пропадает необходимость в групповых щитках. Управление освещением производится выключателями 2, которые при устройстве дистанционного управления освещением заменяются магнитными пускателями и контакторами. Такую схему целесообразно применять в помещениях с нормальными условиями среды при значительной суммарной мощности светильников и допустимости одновременного включения общего освещения больших участков.

## Питание от отдельно стоящих подстанций

Освещение зданий, не имеющих встроенных подстанций, питается кабельными или воздушными линиями от ближайших подстанций. В зданиях с большой мощностью освещения вводится одна или две линии, а при небольшой мощности одной линией питается освещение нескольких зданий. На вводе каждой линии в здание устанавливается вводное устройство (рис. 6.13) с автоматами. Для небольших зданий, имеющих несколько светильников, групповые линии, питающие светильники, присоединяются к автомату ввода (рис. 6.13, а). При большой мощности освещения в здании устанавливается один (рис. 6.13, б) или несколько (рис. 6.13, в) групповых щитков, питаемых одной линией. Если одной линией оказывается недостаточно, на вводе устанавливается магистральный щиток (рис. 6.13, г).

## Питание аварийного освещения

Аварийное освещение разделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности предназначено для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Светильники рабочего освещения и светильники освещения безопасности в производственных и общественных зданиях и на открытых пространствах должны питаться от независимых источников.

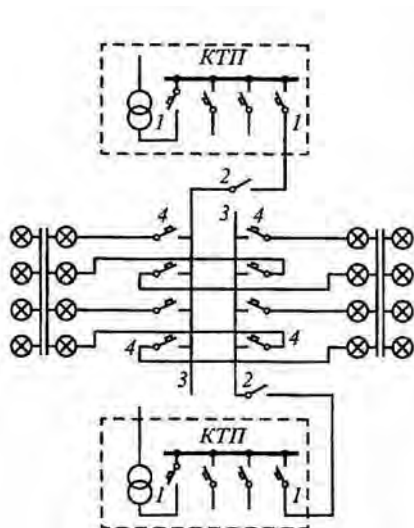


Рис. 6.12. Схема питания освещения распределительными шинопроводами: 1 — автоматический выключатель на щите КТП; 2 — выключатель; 3 — шинопровод распределительный; 4 — автоматический выключатель на шинопровode

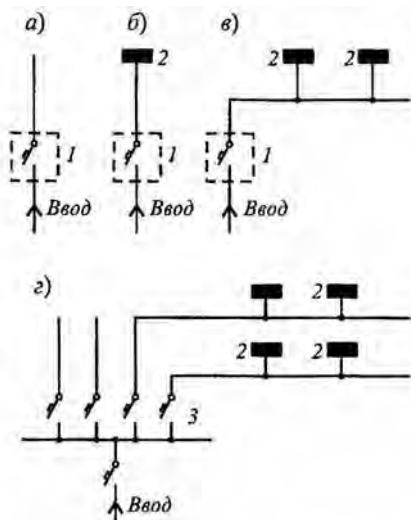


Рис. 6.13. Схемы вводов в здания: а — питание светильников 2 непосредственно от вводного ящика 1; б — то же от одного группового щитка; в — то же от нескольких щитков; г — то же через магистральный щиток 3

Эвакуационное освещение предназначено для обозначения путей эвакуации людей из помещений при аварийном отключении рабочего освещения и освещения безопасности. Светильники и световые указатели эвакуационного освещения должны быть присоединены к сети, не связанной с сетью рабочего освещения, начиная от щита подстанции (распределительного пункта освещения) или, при наличии только одного ввода, начиная от вводного распределительного устройства.

В производственных зданиях без естественного света в помещениях, где может одновременно находиться 20 человек и более, независимо от наличия освещения безопасности должно предусматриваться эвакуационное освещение по основным проходам и световые указатели «Выход», автоматически переключаемые при прекращении их питания на третий независимый источник (аккумуляторная батарея, дизель-генератор и т. п.), не используемый в нормальном режиме для питания рабочего освещения, освещения безопасности и эвакуационного освещения. Либо светильники эвакуационного освещения и указатели «Выход» должны иметь автономный источник питания.

Намечая схему питания освещения безопасности аварийного и эвакуационного освещения, необходимо соблюдать требования к надеж-

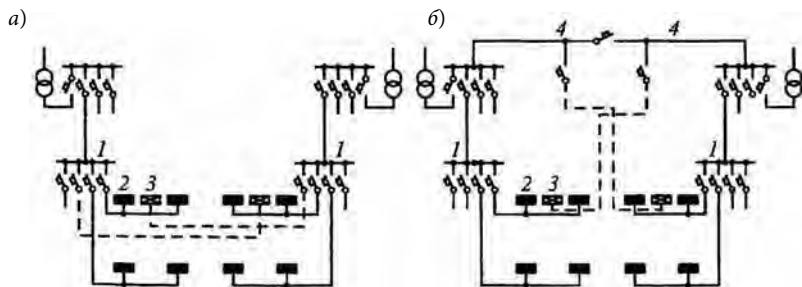


Рис. 6.14. Схемы перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения:  
 а — от магистральных щитков; б — от силовых магистралей; 1 — магистральный щиток; 2 — щиток рабочего освещения; 3 — щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 4 — силовая магистраль

ности их действия. Групповые щитки этих видов освещения могут питаться, как и щитки рабочего освещения, отдельными линиями через магистральные щитки от щитов подстанций (рис. 6.11), от вводов в здания (рис. 6.13) или от силовой сети (рис. 6.14). Если в здании расположены несколько однотрансформаторных подстанций, питаемых от независимых источников питания, аварийное освещение может питаться по перекрестной схеме. В этом случае рабочее и аварийное освещение каждого участка здания питается от разных подстанций.

### *Контрольные вопросы к разделу II*

1. Чему должно соответствовать конструктивное исполнение электрооборудования проектируемой электроустановки и с чем это связано?
2. Какой документ устанавливает требования к электроустановкам во взрывоопасных и пожароопасных зонах?
3. Что называется взрывоопасной зоной?
4. Кем определяется класс взрывоопасной зоны, в соответствии с которым производится выбор электрооборудования?
5. Что называется пожароопасной зоной?
6. Как разделяются электроприемники в отношении обеспечения надежности электроснабжения?
7. Как конструктивно выполняются цеховые электрические сети напряжением до 1 кВ?
8. Что называется электропроводкой?
9. Что называется шинопроводом?
10. Какие типы основных схем используются в распределительных электрических сетях напряжением до 1 кВ?
11. На какие виды разделяется аварийное освещение?



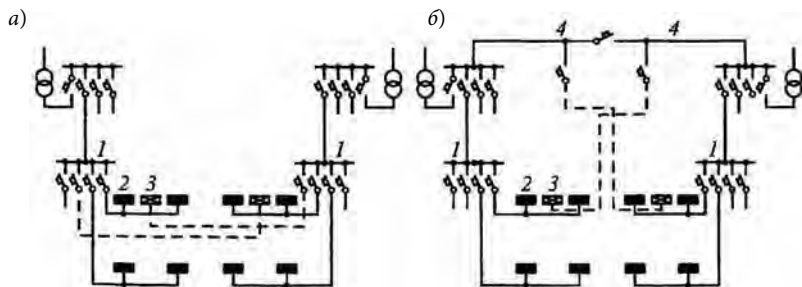


Рис. 6.14. Схемы перекрестного питания рабочего и аварийного (эвакуационного) освещения:  
 а — от магистральных щитков; б — от силовых магистралей; 1 — магистральный щиток; 2 — щиток рабочего освещения; 3 — щиток аварийного (эвакуационного) освещения; 4 — силовая магистраль

ности их действия. Групповые щитки этих видов освещения могут питаться, как и щитки рабочего освещения, отдельными линиями через магистральные щитки от щитов подстанций (рис. 6.11), от вводов в здания (рис. 6.13) или от силовой сети (рис. 6.14). Если в здании расположены несколько однотрансформаторных подстанций, питаемых от независимых источников питания, аварийное освещение может питаться по перекрестной схеме. В этом случае рабочее и аварийное освещение каждого участка здания питается от разных подстанций.

### *Контрольные вопросы к разделу II*

1. Чему должно соответствовать конструктивное исполнение электрооборудования проектируемой электроустановки и с чем это связано?
2. Какой документ устанавливает требования к электроустановкам во взрывоопасных и пожароопасных зонах?
3. Что называется взрывоопасной зоной?
4. Кем определяется класс взрывоопасной зоны, в соответствии с которым производится выбор электрооборудования?
5. Что называется пожароопасной зоной?
6. Как разделяются электроприемники в отношении обеспечения надежности электроснабжения?
7. Как конструктивно выполняются цеховые электрические сети напряжением до 1 кВ?
8. Что называется электропроводкой?
9. Что называется шинопроводом?
10. Какие типы основных схем используются в распределительных электрических сетях напряжением до 1 кВ?
11. На какие виды разделяется аварийное освещение?

# Раздел III

## РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### Глава 7. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

#### 7.1. Общие положения

Одной из первых и основополагающих частей проекта электроустановки объекта является определение ожидаемых электрических нагрузок на всех ступенях электрических сетей. Именно нагрузки определяют необходимые технические характеристики элементов электрических сетей — сечения жил и марки проводников, мощности и типы трансформаторов, электрических аппаратов и другого электротехнического оборудования. Преувеличение ожидаемых нагрузок при проектировании по сравнению с реально возникающими нагрузками при эксплуатации объекта приводит к перерасходу проводников и неоправданному расходу средств, вложенных в избыточную мощность электрооборудования. Преуменьшение — к излишним потерям мощности в сетях, перегреву, повышенному износу и сокращению срока службы электрооборудования.

Правильное определение электрических нагрузок обеспечивает правильный выбор средств компенсации реактивной мощности, устройств регулирования напряжения, а также релейной защиты и автоматики электрических сетей.

По указанным причинам ожидаемые электрические нагрузки желательно определять при проектировании возможно точнее. Однако вследствие недостаточной полноты, точности и достоверности исходной информации обо всех многочисленных случайных факторах, формирующих нагрузки, последние не могут быть определены с высокой точностью. Обычно при определении ожидаемых нагрузок считают допустимыми ошибки в  $\pm 10\%$ .

#### 7.2. Индивидуальные графики электрических нагрузок

Для силовых электроприемников различают три режима работы: длительный, кратковременный и повторно-кратковременный.

# Раздел III

## РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

### Глава 7. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

#### 7.1. Общие положения

Одной из первых и основополагающих частей проекта электроустановки объекта является определение ожидаемых электрических нагрузок на всех ступенях электрических сетей. Именно нагрузки определяют необходимые технические характеристики элементов электрических сетей — сечения жил и марки проводников, мощности и типы трансформаторов, электрических аппаратов и другого электротехнического оборудования. Преувеличение ожидаемых нагрузок при проектировании по сравнению с реально возникающими нагрузками при эксплуатации объекта приводит к перерасходу проводников и неоправданному расходу средств, вложенных в избыточную мощность электрооборудования. Преуменьшение — к излишним потерям мощности в сетях, перегреву, повышенному износу и сокращению срока службы электрооборудования.

Правильное определение электрических нагрузок обеспечивает правильный выбор средств компенсации реактивной мощности, устройств регулирования напряжения, а также релейной защиты и автоматики электрических сетей.

По указанным причинам ожидаемые электрические нагрузки желательно определять при проектировании возможно точнее. Однако вследствие недостаточной полноты, точности и достоверности исходной информации обо всех многочисленных случайных факторах, формирующих нагрузки, последние не могут быть определены с высокой точностью. Обычно при определении ожидаемых нагрузок считают допустимыми ошибки в  $\pm 10\%$ .

#### 7.2. Индивидуальные графики электрических нагрузок

Для силовых электроприемников различают три режима работы: длительный, кратковременный и повторно-кратковременный.

При работе в длительном режиме достигается тепловое равновесие и устанавливается определенная температура электроприемника. Кратковременный режим характеризуется тем, что после кратковременного включения и нагревания электроприемника его температура за период последующей паузы понижается до температуры окружающей среды. Наконец, повторно-кратковременный режим (ПКР), в ходе которого период включения длительностью  $t_v$  чередуется с паузой продолжительностью  $t_{\text{п}}$ , так же как и длительный режим, приводит к постепенному нагреванию электроприемника до установившейся температуры. Однако процесс нагревания в этом случае по сравнению с длительным режимом при той же нагрузке замедляется, и установившийся перегрев снижается. Величиной, характеризующей ПКР, является продолжительность включения (ПВ):

$$\text{ПВ} = t_v / (t_v + t_{\text{п}}); \text{ПВ} \leq 1.$$

Часто ПВ определяют в процентах, т. е.  $\text{ПВ}\% = \text{ПВ} \cdot 100$ . Установлены четыре стандартных значения ПВ, на которые выпускается электрооборудование: 15, 25, 40, 60%. Длительность цикла при ПКР не должна превышать 10 мин.

Значение  $\text{ПВ} = 1$  (или 100%) соответствует длительному режиму.

Номинальная (установленная) мощность электроприемников является достоверной исходной величиной для расчета электрических нагрузок, так как она обычно известна. Под номинальной активной мощностью двигателей  $P_{\text{ном}}$  понимается мощность, развиваемая двигателем на валу при номинальном напряжении, под номинальной активной мощностью других приемников — потребляемая ими из сети мощность при номинальном напряжении.

Паспортная мощность  $P_{\text{пасп}}$  приемников ПКР приводится к номинальной длительной мощности при  $\text{ПВ} = 1$ :

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пасп}} \sqrt{\text{ПВ}}. \quad (7.1)$$

Под номинальной реактивной мощностью приемника понимаются реактивная мощность, потребляемая им из сети при номинальной активной мощности и номинальном напряжении.

Различают следующие типы длительных режимов работы приёмников электроэнергии:

- периодические;
- циклические;
- нециклические;
- нерегулярные.

Первый тип отвечает строго ритмичному процессу с периодом  $t_{\text{ц}}$ , производство, как правило, поточное или автоматизированное по жесткой программе.

Второй тип отвечает случаю не поточного и не автоматизированного производства, но циклического производства. Здесь периодич-

ность нарушена в основном из-за непостоянства длительностей пауз  $t_{\text{п}}$  отдельных циклов, однако продолжительность рабочих интервалов  $t_{\text{р}}$  цикла и характер соответствующих участков графиков нагрузки остаются практически неизменными. Поэтому здесь можно говорить о средней длительности одного цикла  $t_{\text{с.ц}}$ .

Третий тип отвечает тому случаю, когда выполняемые агрегатом повторяющиеся операции строго не регламентированы, вследствие чего характер графика существенно изменяется и на рабочих участках. Однако нециклический график, подобно периодическому и циклическому, характеризуется стабильностью потребления электроэнергии за среднее время цикла.

Четвертый тип отвечает нерегулярному режиму работы, когда условие стабильности потребления электроэнергии уже не соблюдается. Это означает, что технологический процесс имеет неустойчивый характер.

### 7.3. Групповые графики электрических нагрузок

Групповые графики электрических нагрузок относятся к группе электроприемников, объединенных одной питающей линией. В отличие от индивидуальных графиков групповой график в строгом смысле непериодичен. Однако если за какой-то повторяющийся период времени для нескольких графиков одной и той же группы потребителей расход электроэнергии  $\mathcal{E}_{\text{г}}$  оказывается одинаковым, то можно ввести понятие обобщенного цикла  $T_{\text{г}}$ . При установившемся темпе производства за установившийся цикл принимается длительность смены.

Характер и форма индивидуального графика нагрузки электроприемника определяются технологическим процессом. Групповой график представляет собой результат суммирования графиков отдельных электроприемников, входящих в группу. Однако даже при одинаковых электроприемниках их групповой график может принимать различные очертания в зависимости от ряда случайных факторов, обуславливающих сдвиги во времени работы отдельных электроприемников. Учесть возможность таких сдвигов, как и некоторых изменений характера индивидуальных графиков, а также оценить их влияние на величину максимальной нагрузки группового графика можно при применении для этой цели методов теории вероятностей и математической статистики.

Пример группового графика нагрузок приведен на рис. 7.1. Здесь  $P_{\Theta\text{г}}$  — мощность нагрузок при получасовом осреднении ( $\Theta = 0,5$  ч) для группы электроприводов механического цеха.

При очень большом числе электроприемников, входящих в группу, суточный график приобретает устойчивый характер. Длительные наблюдения за действующими объектами позволили составить характерные графики для различных отраслей промышленного и сельскохозяйственного производства, а также для городов и поселков. Такие графики

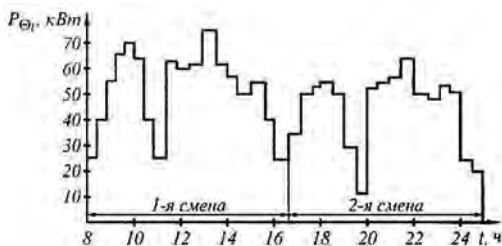


Рис. 7.1. График получасовых нагрузок линии (группы электроприводов механического цеха)

называют типовыми и строят их в относительных единицах (отн. ед.), выражая нагрузки в разные часы суток в процентах от максимальной нагрузки, принимаемой за 100%.

Располагая ординаты суточного группового графика в порядке убывания и откладывая по оси абсцисс продолжительность работы при разных нагрузках, получим так называемую упорядоченную диаграмму группового графика.

#### 7.4. Представление нагрузок случайными величинами

Природа графика нагрузки наиболее полно отражается в математическом понятии случайного процесса. Поэтому в определении нагрузки используются элементы математического аппарата, описывающего случайные процессы.

Групповая нагрузка есть сумма индивидуальных. Согласно теореме Ляпунова, при некоторых условиях, всегда удовлетворяемых для индивидуальных графиков независимых электроприемников (при числе приемников в группе больше 10), случайная величина групповой нагрузки подчиняется нормальному закону распределения. Основными числовыми характеристиками нормального закона являются математическое ожидание  $MP$  и дисперсия  $DP$ . Корень квадратный из дисперсии называется среднеквадратическим отклонением, или стандартом, нагрузки:

$$\sigma_p = \sqrt{DP}.$$

Для характеристики случайной величины часто применяется вариация

$$\gamma_p = \frac{\sigma_p}{MP}.$$

Чем меньше вариация, тем более скученно располагаются значения нагрузки около математического ожидания (среднего значения).

При значении  $DP = 0$  случайная величина нагрузки становится детерминированной и постоянной.

Дисперсию случайной величины можно также определить по выражению

$$DP = M[P^2] - M^2[P],$$

где  $M[P^2]$  — математическое ожидание квадрата нагрузки или эффективная нагрузка  $P_3$ .

## 7.5. Показатели графиков электрических нагрузок

### Общие замечания

При обобщенном исследовании и расчетах нагрузок необходимо применение некоторых безразмерных коэффициентов, характеризующих режим работы приемников электроэнергии, например по степени их использования во времени и по мощности.

Показатель любого типа может определяться для индивидуального или для группового графика как активной, так и реактивной мощности или тока. В связи с этим далее принята следующая система обозначений.

Показатели индивидуальных и групповых графиков различаются применением строчной или соответственно прописной буквы.

Все показатели активной нагрузки обозначаются  $K, k$ ; реактивной нагрузки —  $L, l$ ; токовой нагрузки —  $G, g$ .

Род показателя обозначается индексом в виде русской начальной буквы его названия. Например,  $K_{\text{и}}$  означает групповой (прописная буква) коэффициент использования (индекс «и») графика активной мощности (буква  $K$ ).

### Коэффициент использования

Основным показателем режима работы одного или группы электроприемников служит коэффициент использования, выражающий отношение среднесменной нагрузки ( $p_{\text{см}}, P_{\text{см}}$ ) к номинальной ( $p_{\text{ном}}, P_{\text{ном}}$ ). Применительно к трем представлениям нагрузки различают коэффициенты использования по активной мощности, реактивной мощности и току. Наибольшее распространение имеет первый из этих коэффициентов — по активной мощности:

$$k_{\text{и}} = p_{\text{см}} / p_{\text{ном}}; \quad (7.2)$$

$$K_{\text{и}} = P_{\text{см}} / P_{\text{ном}} = [\sum k_{\text{и}i} p_{\text{ном}i}] / [\sum p_{\text{ном}i}] = [\sum k_{\text{и}i} P_{\text{ном}i}] / [P_{\text{ном}}]. \quad (7.3)$$

$$K_{\text{и}} \leq 1.$$

Коэффициент использования активной мощности за смену может быть определен как отношение энергии  $\mathcal{E}_a$ , потребленной приемником за

смену, к энергии  $\mathcal{E}_{a,ном}$ , которая могла быть потреблена приемником за смену при номинальной нагрузке его в течение смены:

$$k_{и} = \mathcal{E}_a / \mathcal{E}_{a,ном}. \quad (7.4)$$

### Коэффициент включения

Коэффициент включения  $k_{в}$  электроприемника характеризует степень использования электроприемника по времени:

$$k_{в} = t_{в} / t_{ц}, k_{в} \leq 1, \quad (7.5)$$

где время включения  $t_{в}$  приемника электроэнергии за цикл  $t_{ц}$  складывается из времени работы  $t_{р}$  и времени холостого хода  $t_{х.х}$ :  $t_{в} = t_{р} + t_{х.х}$ .

Коэффициент включения электроприемника соотносится с вероятностью включения приемника в тот или иной период времени. Очевидно, что коэффициент включения различен для разных периодов суток и определяется его назначением и характером участия в технологическом процессе.

Групповым коэффициентом включения  $K_{в}$  называется средневзвешенное по активной номинальной мощности значение индивидуальных коэффициентов включения электроприемников, входящих в группу, состоящую из 1, 2, ...,  $i$ , ...,  $n$  электроприемников:

$$K_{в} = [\sum k_{вi} p_{номi}] / [\sum p_{номi}] = [\sum k_{вi} p_{номi}] / [P_{ном}]; K_{в} \leq 1. \quad (7.6)$$

Понятно, что числовое значение  $K_{в}$  отнесено к тому же циклу, что и входящие в него индивидуальные  $k_{вi}$ .

В отличие от индивидуального понятие группового коэффициента включения лишено четкого физического смысла и используется лишь в качестве расчетной величины.

### Коэффициент загрузки

Коэффициент загрузки отдельного электроприемника определяется как отношение средних за время включения активной, реактивной мощности или тока к их номинальным величинам.

Очевидно, что средняя активная мощность за время включения  $p_{с.в}$  больше средней мощности за цикл  $p_{с.ц}$  и обратно пропорциональна отношению времени включения к общей продолжительности цикла:

$$p_{с.в} = p_{с.ц} / [t_{в} / t_{ц}] = p_{с.ц} / [k_{в}]. \quad (7.7)$$

Тогда коэффициент загрузки по активной мощности

$$k_3 = p_{с.в} / p_{ном} = p_{с.ц} / [p_{ном} k_{в}]. \quad (7.8)$$



Если приближенно считать, что средняя нагрузка за цикл  $p_{с.ц}$  равна среднесменной  $p_{см}$ , что характерно для периодических, циклических и нециклических графиков, тогда

$$k_3 = p_{см} / [p_{ном} k_в] = k_и / k_в. \quad (7.9)$$

Последние выражения позволяют записать аналогичные формулы для групповых графиков:

$$K_3 = K_и / K_в \text{ или } K_и = K_3 K_в. \quad (7.10)$$

### Коэффициент формы графика нагрузки

Коэффициент формы графика нагрузки — это отношение средне-квадратичной (эффективной)  $p_э$ ,  $P_э$  нагрузки к средней  $p_c$ ,  $P_c$  за данный период времени:

$$k_\phi = \frac{p_э}{p_c}; K_\phi = \frac{P_э}{P_c}; \quad (7.11)$$

$$K_\phi = \sqrt{(p_c)^2 + \frac{DP}{P_c}}. \quad (7.12)$$

Коэффициент формы графика нагрузки группы из  $n$  приемников определяется так же:

$$K_\phi = \sqrt{1 + \left[ \sum (k_{\phi i})^2 - 1 \right] \left[ \sum (p_{ном i}^2) \right] / \left[ \sum p_{ном i} \right]^2}. \quad (7.13)$$

Введем величину

$$n_э = \left[ \sum (p_{ном i})^2 \right] / \left[ \sum p_{ном i} \right]^2, \quad (7.14)$$

которую назовем эффективным числом приемников.

Тогда коэффициент формы

$$K_\phi = \sqrt{1 + \frac{\sum (k_{\phi i}^2 - 1)}{n_э}}. \quad (7.15)$$

Следовательно, вариация суммарного графика нагрузки

$$\gamma_\Sigma = \frac{\sum (\gamma_i)}{\sqrt{n_э}}. \quad (7.16)$$

Если все приемники имеют одинаковую номинальную мощность  $p_{ном}$ , то

$$n_э = \frac{[np_{ном}]^2}{[np_{ном}]^2} = n. \quad (7.17)$$

В общем случае  $n_3 < n$ .

Если все приемники группы имеют однородный график работы, т. е.  $k_{\Phi i} = k_{\Phi}$ , тогда

$$K_{\Phi} = k_{\Phi}. \quad (7.18)$$

При  $n_3 \rightarrow \infty$  коэффициент формы  $K_{\Phi} \rightarrow 1$ , это означает, что при неограниченном возрастании числа приемников групповой график для стационарного режима становится постоянным с минимальной вариацией, т. е.  $\gamma_{\Sigma} \rightarrow 0$ . Для реальных графиков нагрузки на интервалах стационарности, например в период максимума нагрузок,  $K_{\Phi} = 1,02-1,25$ , однако для объектов с достаточно ритмичным процессом  $K_{\Phi} = 1,05-1,15$ . Данные выводы справедливы для графиков нагрузок групп, объединяющих значительное число приемников, например шины трансформаторных подстанций.

### Коэффициент заполнения графика

Коэффициентом заполнения графика нагрузок активной мощности называется отношение средней активной мощности за исследуемый период времени к максимальной за тот же период:

$$K_{3.г} = \frac{P_c}{P_{\max}}. \quad (7.19)$$

Следует отметить, что максимальная нагрузка определяется исходя из периода осреднения графика нагрузки, равного 0,5 ч, т. е. за основу берется так называемый получасовой максимум нагрузки. Для практических расчетов принимается, что вероятность превышения получасового максимума не больше 0,005, т. е. при этом  $P_{\max} = P_c + 2,5\sigma_p$ .

Тогда

$$K_{3.г} = \frac{P_c}{P_c + 2,5\sigma_p} = \frac{1}{1 + 2,5\gamma_p}. \quad (7.20)$$

Следовательно, чем меньше вариация нагрузки  $\gamma_p$ , тем больше коэффициент заполнения графика, и при  $\gamma_p \rightarrow 0$  коэффициент заполнения графика  $K_{3.г} \rightarrow 1$ . При  $K_{\Phi} = 1,1$  ( $\gamma_p \approx 0,5$ )  $K_{3.г} = 0,45$ .

Для характеристики заполнения графика нагрузки используют также понятие числа часов использования максимальной нагрузки

$$T_{\max} = \frac{\mathcal{E}_r}{P_{\max}}, \quad (7.21)$$

где  $\mathcal{E}_r$  — годовой расход активной электроэнергии объекта.

### Коэффициент энергоиспользования

Неравномерность нагрузки по сменам, работу в праздничные дни, а также сезонные колебания нагрузки учитывает годовой коэффициент энергоиспользования  $K_{э.г}$ , который устанавливает связь

между средними активными нагрузками за смену  $P_c$  и среднегодовыми нагрузками  $P_{c.g}$ :

$$K_{э.г} = \frac{P_c}{P_{c.g}}, \quad (7.21)$$

где  $P_{c.g}$  — среднегодовая нагрузка, равная  $\mathcal{E}_r/T_r$ ;  $T_r$  — годовое число часов работы:

$$T_r = (365 - m)nT_{cm}K_p - T_{пр}, \quad (7.23)$$

где  $T_{cm}$  — продолжительность смены;  $T_{пр}$  — годовое число часов, на которое сокращена продолжительность работы в предвыходные (предпраздничные) дни;  $m$  — число нерабочих дней в году;  $n$  — число смен;  $K_p$  — коэффициент, учитывающий время ремонта и другие простои, принимаемый равным 0,96–0,98.

Годовую продолжительность работы предприятия, за исключением цехов с непрерывным производством, в зависимости от числа и продолжительности смен можно принимать по данным табл. 7.1.

Таблица 7.1

**Годовое число часов работы предприятия**

Продолжительность смены, ч	Годовое число часов работы при числе смен, ч		
	одна	две	три
8	2250	4500	6400
7	2000	3950	5870

Для предприятий и цехов с непрерывным производством годовое число часов работы соответственно увеличивается.

Коэффициент энергоиспользования  $K_{э.г}$  изменяется в пределах 0,55–0,95.

### Коэффициент одновременности максимумов нагрузок

Элементы электрических сетей используются для совместного питания различных потребителей. Результирующая максимальная нагрузка таких элементов не может быть определена простым суммированием максимальных нагрузок отдельных потребителей, так как максимум нагрузки потребителей может быть не в одно и то же время. Например, максимум нагрузки промышленных потребителей отмечается утром, с 10 до 12 ч, максимум бытовых потребителей приходится на вечер, около 20 ч. Потребители разных подразделений промышленного предприятия также имеют максимальную нагрузку, не совпадающую во времени. Таким образом, максимумы нагрузки отдельных потребителей, питающихся от одного элемента сети, не наступают одновременно и время их наступления не совпадает с временем наступления максимума их суммарной нагрузки этого элемента.

Поэтому определение максимальной суммарной нагрузки производится, как правило, с использованием так называемого коэффициента одновременности максимумов нагрузки. В литературе встречаются иные названия, например, коэффициент участия в максимуме, коэффициент разновременности, коэффициент несовпадения максимумов и т. п.

Коэффициент одновременности максимумов нагрузки  $K_{o \max}$  учитывает нагрузки отдельных потребителей, формирующих нагрузку общего элемента сети, в момент максимума результирующего графика нагрузки. Коэффициент одновременности максимумов нагрузки  $K_{o \max} \leq 1$ . Значения коэффициента одновременности максимумов нагрузки определяются характером нагрузки потребителей и могут изменяться в заметных пределах. Обычно значения коэффициента одновременности максимумов определяются для утреннего и вечернего максимумов. Для утреннего максимума силовой нагрузки промышленного объекта  $K_{o \max} = 0,7-0,95$ , для осветительной нагрузки  $K_{o \max} = 0,8-1,0$ .

## 7.6. Понятие расчетной электрической нагрузки

В технических данных всех видов (элементов) электрооборудования указывается неизменная во времени токовая нагрузка, длительно допустимая по условиям его нагрева  $I_{\text{доп}}$ . Очевидно, что для выбора элемента согласно табличным значениям допустимых токовых нагрузок по графику переменных нагрузки  $I_t$ , последний необходимо сначала заменить эквивалентным по эффекту нагрева простейшим графиком  $I = I_{\text{расч}}$ , где  $I_{\text{расч}}$  и есть определяемая расчетная нагрузка из данного графика. Наиболее часто расчетную нагрузку определяют в соответствии с максимальной температурой нагрева элемента. Таким образом, расчетной нагрузкой по пику температуры называют такую неизменную во времени нагрузку  $I_{\text{расч}}$ , которая обуславливает в элементе тот же максимальный перегрев, что и заданная переменная нагрузка  $I_t$ .

Практически важно уметь по возможности просто, хотя бы с определенной погрешностью, оценить расчетную нагрузку для данного графика.

Эффективное значение нагрузки определяет среднюю величину потерь мощности в проводнике, а следовательно, и средний перегрев элемента; последний всегда меньше максимального, кроме случая неизменной во времени нагрузки, когда оба перегрева равны. Расчетный ток  $I_{\text{расч}}$  всегда превышает эффективный  $I_{\text{э}}$  и тем более средний  $I_{\text{с}}$  токи. Отсюда вытекает неравенство

$$I_{\max t} \geq I_{\text{расч}} \geq I_{\text{э}} \geq I_{\text{с}}, \quad (7.24)$$

где  $I_{\max t}$  — наибольшее (максимальное) текущее значение тока в данном графике.

Это неравенство дает достаточно наглядную, однако слишком грубую оценку расчетной нагрузки  $I_{\text{расч}}$ . Гораздо большая точность в оценке достигается с помощью понятия максимума средней (или эффективной) нагрузки  $I_{\text{max } \Theta}$  за скользящий интервал времени  $\Theta$ .

Действительно, поскольку нагрев проводника является результатом воздействия на него нагрузки за некоторое время, средняя нагрузка  $I_{\Theta}$  за интервал времени  $\Theta$  характеризует нагрев проводника более точно, чем наибольшая мгновенная нагрузка  $I_{\text{max } t}$  в том же интервале.

Нетрудно убедиться, что существует оптимальная длительность интервала осреднения  $\Theta_{\text{опт}}$  при которой средняя нагрузка  $I_{\Theta}$  при прочих равных условиях наиболее точно характеризует изменение нагрева проводника за время  $t + \Theta_{\text{опт}}$ . Очевидно, что длительность интервала осреднения не должна быть мала из-за необходимости учета интегрального воздействия нагрузки на перегрев проводника. Но длительность интервала осреднения не должна быть слишком велика, так как внутри большой длительности интервала даже при меньшей нагрузке возможен значительный пик графика, который успеет вызвать значительный перегрев проводника. Иными словами, при чрезмерно большом интервале осреднения  $\Theta$  связь между значениями средней нагрузки и наибольшего перегрева в данном интервале будет потеряна.

Следовательно, оптимальное значение  $\Theta_{\text{опт}}$  должно быть возможно меньшим, но все же достаточным по величине для того, чтобы наибольший перегрев проводника наступал в конце интервала осреднения. Доказано, что оптимальный интервал осреднения следует принимать равным трем постоянным времени нагрева проводника, т. е.  $\Theta_{\text{опт}} = 3T_0$ .

После того как найдено наибольшее значение  $I_{\text{max } \Theta_{\text{опт}}}$  остается найти соответствующее значение расчетной нагрузки  $I_{\text{расч}}$ . Практически с достаточно большой степенью точности можно принять

$$I_{\text{расч}} = I_{\text{max } \Theta_{\text{опт}}} \quad (7.25)$$

Таким образом, максимальная средняя нагрузка за интервал времени  $\Theta_{\text{опт}} = 3T_0$  принимается равной расчетной нагрузке  $I_{\text{расч}}$ , в этом и заключается принцип максимума средней нагрузки.

Отметим, что для графиков с высокой неравномерностью (большой вариацией), например, для резкопеременных нагрузок, расчетную нагрузку необходимо приравнять максимуму эффективной, а не средней нагрузки.

*Для определения расчетных нагрузок групп приемников необходимо знать установленную мощность (сумму номинальных мощностей) всех электроприемников группы и характер технологического процесса.*

Расчетная нагрузка определяется для смены с наибольшим потреблением энергии данной группы электроприемников (ЭП), цехом или предприятием в целом для характерных суток. Обычно наиболее загруженной сменой является смена, в которой используется наибольшее число агрегатов (дневная).

«Указания по расчету электрических нагрузок систем электро-снабжения» (РТМ 36.18.32.0.1–89) допускают применение следующих методов определения расчетных нагрузок.

1. По удельным расходам электроэнергии и плотностям нагрузки:

а) при наличии данных об удельных расходах электроэнергии на единицу продукции в натуральном выражении  $\Theta_{\text{уд}}$  и выпускаемой за год продукции  $M$  по формуле

$$P_{\text{расч}} = \frac{\Theta_{\text{уд}} M}{T_{\text{max}}}, \quad (7.26)$$

где  $T_{\text{max}}$  — годовое число часов использования максимума активной мощности.

Величина  $\Theta_{\text{уд}}$  является интегральным показателем расхода электроэнергии на единицу продукции, в который входит и расход электроэнергии на вспомогательные нужды производств, и освещение цехов. Пределы средних значений удельных расходов по отдельным видам продукции приводятся в соответствующих справочниках;

б) при наличии данных об удельных плотностях максимальной нагрузки на квадратный метр площади цеха  $p_{\text{уд}}$  и заданной величине этой площади  $F_{\text{ц}}$  по формуле

$$P_{\text{расч}} = p_{\text{уд}} F_{\text{ц}}. \quad (7.27)$$

Расчетные удельные нагрузки  $p_{\text{уд}}$  зависят от рода производства и выявляются по статистическим данным. Этот метод применяется для определения расчетной нагрузки для производств с относительно равномерно распределенной по производственной площади нагрузкой (механические и механосборочные цехи, осветительные установки). Для осветительных нагрузок  $p_{\text{уд ОН}} = 8\text{--}25 \text{ Вт/м}^2$ , а для силовых нагрузок  $p_{\text{уд СН}}$  обычно не превышают  $0,3 \text{ кВт/м}^2$ .

2. По коэффициенту спроса  $K_{\text{с}}$ .

Определение расчетной нагрузки по коэффициенту спроса применяется при отсутствии данных о числе электроприемников и их мощности, об удельном потреблении электроэнергии на единицу продукции или удельной плотности нагрузок на  $1 \text{ м}^2$  площади цеха. В соответствии с методом коэффициента спроса допускается (на стадии проектного задания и при других ориентировочных расчетах) определять нагрузку предприятия в целом по средним величинам коэффициента спроса по формуле

$$P_{\text{расч}} = K_{\text{с}} P_{\text{ном}}. \quad (7.28)$$

Значения коэффициента спроса зависят от технологии производства и приводятся в отраслевых инструкциях и справочниках. В настоящем учебном пособии значения коэффициента спроса приводятся в главе «Расчет проводов и кабелей».

3. По коэффициенту расчетной активной мощности  $K_p$ .

Определение расчетной нагрузки по коэффициенту расчетной активной мощности применяется при наличии данных о числе ЭП, их мощности и режиме работы для определения нагрузки на всех ступенях распределительных и питающих сетей (включая трансформаторы и преобразователи).

## 7.7. Расчет электрических нагрузок по коэффициенту расчетной активной мощности

Расчетный максимум нагрузки  $P_{\text{расч}}$  НН элемента системы электропитания, питающего силовую нагрузку напряжением до 1 кВ (кабель, провод, шинопровод, трансформатор, аппарат и т. п.) определяется по коэффициенту расчетной активной мощности:

$$P_{\text{расч}} = K_p \sum_1^m P_{cj}, \quad (7.29)$$

где  $K_p$  — расчетный коэффициент активной мощности;  $j$  — подгруппа ЭП группы, имеющих одинаковый тип работы, т. е. одинаковую величину индивидуального коэффициента использования  $k_{иj}$ ;  $m$  — число подгрупп ЭП, имеющих одинаковый тип работы;  $P_{cj}$  — средняя мощность рабочих ЭП  $j$ -й подгруппы.

Средняя мощность  $P_{cj}$  силовых ЭП одинакового режима работы определяется путем умножения установленных мощностей ЭП  $p_{\text{ном}i}$  на значения коэффициентов использования  $k_{иi}$ , выявляемых из материалов обследования действующих предприятий:

$$P_{cj} = \sum k_{иi} p_{\text{ном}i}. \quad (7.30)$$

Средняя реактивная нагрузка

$$Q_{cj} = \sum k_{иi} p_{\text{ном}i} \text{tg} \varphi_i, \quad (7.31)$$

где  $\text{tg} \varphi_i$  — коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному коэффициенту мощности  $\cos \varphi$ , характерному для  $i$ -го ЭП данного режима работы.

Величина расчетного коэффициента активной мощности  $K_p$  находится по справочным данным (табл. 7.2 и 7.3) в зависимости от величины группового коэффициента использования  $K_{и}$ , эффективного числа ЭП в группе  $n_z$  и постоянной времени нагрева  $T_0$  выбираемого элемента сети.

Групповой коэффициент использования  $K_{и}$  активной мощности определяется по формуле

$$K_{и} = \frac{\left( \sum_1^m P_{cj} \right)}{\left( \sum_1^m P_{\text{ном}j} \right)}. \quad (7.32)$$

Эффективное число ЭП в группе из  $n$  электроприемников:

$$n_{\text{э}} = \frac{(\sum p_{\text{ном } j})^2}{\sum (p_{\text{ном } j})^2}, \quad (7.33)$$

где  $p_{\text{ном } i}$  — номинальная мощность отдельных ЭП.

При определении  $n_{\text{э}}$  для многодвигательных приводов учитываются все одновременно работающие электродвигатели данного привода. Если в числе этих двигателей имеются одновременно включаемые (с идентичным режимом работы), то они учитываются в расчете как один ЭП с номинальной мощностью, равной сумме номинальных мощностей одновременно работающих двигателей.

Допускается определение эффективного числа приемников всего цеха по упрощенной формуле:

$$n_{\text{э}} = \frac{(2\sum p_{\text{ном } i})^2}{p_{\text{ном max}}}, \quad (7.34)$$

где  $p_{\text{ном max}}$  — номинальная мощность наиболее мощного ЭП цеха.

Принимаются следующие значения постоянных времени нагрева:

- $T_0 = 10$  мин — для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, сборки, щиты. Значения расчетного коэффициента активной мощности  $K_p$  для этих сетей принимаются по табл. 7.2;
- $T_0 = 2,5$  ч — для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов значения  $K_p$  принимаются по табл. 7.3;
- $T_0 \geq 30$  мин — для кабелей напряжением 6–10 кВ, питающих цеховые трансформаторы, распределительные подстанции и высоковольтные электроприемники. При этом расчетная мощность принимается равной средней, т. е.  $K_p = 1$ .

Расчетная активная мощность узлов нагрузки определяется по средней мощности узла  $\sum P_c$  и соответствующего значения  $K_p$ :

$$P_{\text{расч НН}} = K_p \sum P_c. \quad (7.35)$$

Расчетная реактивная нагрузка определяется следующим образом:

$$Q_{\text{расч НН}} = L_p \sum Q_c. \quad (7.36)$$

где  $L_p$  для реактивной нагрузки принимаются следующими:

- для питающих сетей напряжением до 1 кВ  $L_p = 1,1$  при  $n_{\text{э}} \leq 10$ ;  $L_p = 1,0$  при  $n_{\text{э}} > 10$ ;
- для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов значения  $L_p = 1$ ;
- для кабелей напряжением 6–10 кВ, питающих цеховые трансформаторы, распределительные подстанции и высоковольтные приемники  $L_p = 1$ .



Полная расчетная мощность силовой нагрузки низшего напряжения:

$$S_{\text{расч НН}} = \sqrt{(P_{\text{расч НН}})^2 + (Q_{\text{расч НН}})^2}. \quad (7.37)$$

Таблица 7.2

**Значения расчетного коэффициента активной мощности  $K_p = f(n_z, K_n)$  для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные пункты и шинопроводы, сборки, щиты ( $T_0 = 10$  мин)**

$n_z$	$K_n = 0,1$	$K_n = 0,15$	$K_n = 0,2$	$K_n = 0,3$	$K_n = 0,4$	$K_n = 0,5$	$K_n = 0,6$	$K_n = 0,7$
2	8,00	5,30	4,00	2,66	2,00	1,60	1,33	1,14
3	4,52	3,20	2,55	1,90	1,56	1,41	1,28	1,12
4	3,42	2,47	2,00	1,53	1,30	1,24	1,14	1,08
5	2,84	2,10	1,78	1,34	1,16	1,15	1,08	1,03
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,12	1,06	1,01
7	2,50	1,86	1,54	1,25	1,12	1,10	1,04	1,00
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,00
9	2,26	1,70	1,43	1,16	1,08	1,07	1,01	1,00
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,06	1,05	1,00	1,00
11	2,10	1,60	1,35	1,10	1,06	1,04	1,00	1,00
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,04	1,03	1,00	1,00
13	1,98	1,52	1,29	1,06	1,03	1,02	1,00	1,00
14	1,93	1,49	1,27	1,05	1,02	1,01	1,00	1,00
15	1,90	1,46	1,25	1,03	1,01	1,00	1,00	1,00
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00
17	1,81	1,40	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
18	1,78	1,38	1,19	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
19	1,75	1,36	1,17	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
20	1,72	1,34	1,16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
21	1,70	1,33	1,15	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
22	1,66	1,31	1,13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
23	1,65	1,29	1,12	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
24	1,62	1,28	1,11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
25	1,60	1,27	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30	1,51	1,21	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
35	1,44	1,16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
40	1,40	1,13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
45	1,35	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50	1,30	1,07	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
60	1,25	1,03	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
70	1,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
80	1,16	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90	1,13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 7.3

**Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторов и магистральных шинопроводов (для постоянной времени нагрева  $T_0 = 2,5-3$  ч)**

Эффективное число приемников $n_э$	Коэффициенты расчетной нагрузки $K_p$	
	При $K_{и} \leq 0,5$	При $K_{и} > 0,5$
10–25	0,8	0,9
20–50	0,75	0,85
Более 50	0,7	0,8

## 7.8. Расчет нагрузки электрического освещения

В качестве электрических источников света на промышленных предприятиях и сельскохозяйственных объектах используются газоразрядные лампы и лампы накаливания.

Активная расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной нагрузке и коэффициенту спроса:

$$P_{\text{расч ОН}} = K_{с \text{ ОН}} P_{\text{уд ОН}} F_{ц} \quad (7.38)$$

где  $P_{\text{уд ОН}}$  — удельная нагрузка осветительных приемников (ламп);  $F_{ц}$  — площадь пола цеха, определяемая по генплану;  $K_{с \text{ ОН}}$  — коэффициент спроса осветительной нагрузки.

Лампы накаливания на предприятиях в основном используются в качестве аварийного освещения, которое служит для временно-го продолжения работы или для эвакуации людей из помещения при внезапном отключении рабочего освещения. Для ламп накаливания  $\text{tg } \varphi_{\text{л.н}} = 0$ .

Газоразрядные лампы на предприятии используются как основные источники света (составляют примерно 75% от общей мощности осветительной нагрузки), обеспечивающие нормальную работу производства, для них реактивная мощность определяется по формуле

$$Q_{\text{расч ОН}} = 0,75 P_{\text{расч ОН}} \text{tg } \varphi_{\text{ОН}}, \quad (7.39)$$

где  $\text{tg } \varphi_{\text{ОН}} = 0,33$ .

Однако для правильного определения нагрузки электрического освещения объекта необходимо произвести светотехнический расчет для определения типа и количества светильников для каждого помещения. Более подробно — в главе «Расчет освещения».

## 7.9. Порядок определения расчетной нагрузки элемента сети, питающей группу электроприемников напряжением до 1 кВ

Расчетный максимум нагрузки выбираемого  $j$ -го элемента (кабель, провод, шинопровод, трансформатор, аппарат и т. д.), питающего определенную группу как силовых, так и осветительных электроприемников напряжением до 1 кВ, представляется как сумма расчетной силовой и осветительной нагрузки:

$$\begin{aligned} P_{\text{расч } j} &= P_{\text{расч НН } j} + P_{\text{расч ОН } j}; \\ Q_{\text{расч } j} &= Q_{\text{расч НН } j} + Q_{\text{расч ОН } j}; \\ S_{\text{расч } j} &= \sqrt{(P_{\text{расч } j})^2 + (Q_{\text{расч } j})^2}. \end{aligned} \quad (7.40)$$

Для определения расчетного максимума нагрузки может быть соблюден следующий порядок расчета.

1. Выявляются номинальные параметры электроприемников, входящих в группу, а также их коэффициенты использования. Резервные и работающие эпизодически приемники не учитываются. Также можно пренебречь электроприемниками малой мощности, если их мощность составляет менее 5 % от суммарной номинальной мощности ЭП совокупности. Определяется постоянная времени нагрева выбираемого  $j$ -го элемента  $T_{0j}$ .

2. Определяются и суммируются средние активные и реактивные нагрузки рабочих силовых приемников электроэнергии данного элемента. Определяется групповой коэффициент использования  $K_{\text{г}}$  и эффективное число электроприемников  $n_{\text{э } j}$ . По справочным данным находятся расчетные коэффициенты  $K_{\text{р } j}$  активной и  $L_{\text{р } j}$  реактивной нагрузок для выбираемого  $j$ -го элемента. Подсчитывается максимальная силовая расчетная нагрузка  $P_{\text{расч НН } j}$  и  $Q_{\text{расч НН } j}$ .

3. Определяются расчетные активные  $P_{\text{расч ОН } j}$  и реактивные  $Q_{\text{расч ОН } j}$  нагрузки осветительных приемников, питающихся от  $j$ -го элемента.

4. Суммируются расчетные силовые и осветительные нагрузки  $j$ -го элемента и определяется полная расчетная мощность  $S_{\text{расч } j}$ .

## 7.10. Расчет электрической нагрузки промышленного или сельскохозяйственного предприятия

Расчетные полная, активная и реактивная мощности промышленного или сельскохозяйственного предприятия (ПП)  $S_{\text{расч ПП}}$ ,  $P_{\text{расч ПП}}$ ,  $Q_{\text{расч ПП}}$ , отнесенные к шинам вторичного напряжения главной понижающей подстанции, определяются по расчетным активным и реактивным нагруз-

кам цехов (как силовым — до и выше 1 кВ —  $P_{\text{расч НН}}, P_{\text{расч ВН}}, Q_{\text{расч НН}}, Q_{\text{расч ВН}}$ , так и осветительным —  $P_{\text{расч ОН}}, Q_{\text{расч ОН}}$ ) с учетом потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и цеховых сетях напряжением до 1 кВ —  $\Delta P_{\text{ц}}, \Delta Q_{\text{ц}}$  и коэффициента одновременности максимумов силовой нагрузки  $K_{\text{о max}}$ :

$$P_{\text{расч ПП}} = (\sum P_{\text{расч НН}} + \sum P_{\text{расч ВН}}) K_{\text{о max}} + \sum P_{\text{расч ОН}} + \Delta P_{\text{ц}};$$

$$Q_{\text{расч ПП}} = (\sum Q_{\text{расч НН}} + \sum Q_{\text{расч ВН}} - \sum Q_{\text{СД}}) K_{\text{о max}} + \sum Q_{\text{расч ОН}} + \Delta Q_{\text{ц}}; \quad (7.41)$$

$$S_{\text{расч ПП}} = \sqrt{(P_{\text{расч ПП}})^2 + (Q_{\text{расч ПП}})^2}.$$

Суммарные потери активной и реактивной мощности в трансформаторах цеховых подстанций и цеховых сетях напряжением до 1 кВ принимаются равными соответственно 3 и 10 % от полной трансформируемой мощности  $S_{\text{расч ΣН}}$ :

$$\Delta P_{\text{ц}} = 0,03 S_{\text{расч ΣН}}; \Delta Q_{\text{ц}} = S_{\text{расч ΣН}}; \quad (7.42)$$

$$\text{где } S_{\text{расч ΣН}} = \sqrt{(P_{\text{расч ΣН}})^2 + (Q_{\text{расч ΣН}})^2}; \quad (7.43)$$

$$P_{\text{расч ΣН}} = \sum P_{\text{расч НН}} + \sum P_{\text{расч ОН}}; \quad (7.44)$$

$$Q_{\text{расч ΣН}} = \sum Q_{\text{расч НН}} + \sum Q_{\text{расч ОН}}. \quad (7.45)$$

Потери активной и реактивной мощности в кабелях высшего напряжения в предварительных расчетах не учитываются вследствие их малой значимости.

Значения коэффициента одновременности максимумов для шин ГПП  $K_{\text{о max}}$  принимаются по справочным данным (табл. 7.4) в зависимости от величины средневзвешенного коэффициента использования  $K_{\text{и.ПП}}$  всей группы ЭП, подключенной к шинам ГПП.

Таблица 7.4

**Значения коэффициентов одновременности  $K_{\text{о max}}$  на шинах (6–10 кВ) трансформаторов ГПП**

Коэффициенты одновременности $K_{\text{о max}}$		
При $K_{\text{и}} \leq 0,3$	$0,3 < K_{\text{и}} < 0,5$	При $K_{\text{и}} \geq 0,5$
0,75	0,8	0,85

## 7.11. Расчетные электрические нагрузки жилых зданий

Расчетная электрическая нагрузка квартир, приведенная к вводу жилого дома,

$$P_{\text{кв}} = p_{\text{кв.уд}} n, \quad (7.46)$$

где  $p_{\text{кв.уд}}$  — удельная расчетная нагрузка электроприемников (табл. 7.5) квартир (домов), кВт/кв.;  $n$  — число квартир.

Расчетная нагрузка силовых электроприемников  $P_{\text{с}}$ , приведенная к вводу жилого дома:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{р.лф}} + P_{\text{с-т}} \quad (7.47)$$

Таблица 7.5

**Удельная расчетная нагрузка  
электроприемников квартир жилых домов**

Плиты	Число квартир				
	12	40	100	400	1000
На природном газе	1,45	0,8	0,6	0,45	0,4
На сжиженном газе или твердом топливе	1,65	1	0,8	0,7	0,5
Электрические	2,4	1,5	1,15	0,9	0,8

Мощность лифтовых установок  $P_{\text{р.лф}}$  определяется по формуле

$$P_{\text{р. лф}} = K_{\text{с. лф}} \sum_1^m p_{\text{лф}i}, \quad (7.48)$$

где  $K_{\text{с. лф}}$  — коэффициент спроса (табл. 7.6) лифтовых установок;  $m$  — число лифтовых установок;  $p_{\text{лф}i}$  — установленная мощность электродвигателя лифта.

Мощность электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств  $P_{\text{с-т}}$  определяется по их установленной мощности  $P_{\text{с-т}y}$  и коэффициенту спроса  $K_{\text{с. с-т}}$  (табл. 7.7):

$$P_{\text{с-т}} = K_{\text{с. с-т}} \sum_1^n P_{\text{с-т.}y}. \quad (7.49)$$

Мощность резервных электродвигателей, а также электроприемников противопожарных устройств при расчете электрических нагрузок не учитывается.

Расчетная электрическая нагрузка жилого дома  $P_{\text{р.жд}}$  определяется по формуле

$$P_{\text{р.жд}} = P_{\text{кв}} + K_y (P_{\text{р. лф}} + P_{\text{с-т}}). \quad (7.50)$$

Коэффициент участия в максимуме  $K_y = 0,9$ .

Таблица 7.6

**Коэффициенты спроса лифтовых установок  $K_{с. лф}$** 

Число лифтовых установок	Число этажей жилого дома	
	до 12	более 12
4–5	0,7	0,8
10	0,5	0,6
25 и больше	0,35	0,4

Таблица 7.7

**Коэффициенты спроса электродвигателей санитарно-технических устройств  $K_{с. с-т}$** 

Число электродвигателей	$K_{с. с-т}$	Число электродвигателей	$K_{с. с-т}$
2	1	20	0,65
5	0,8	30	0,6
10	0,7	50	0,55

Таблица 7.8

**Удельные расчетные электрические нагрузки  $P_{р.ж.д.уд}$  Вт/м<sup>2</sup>, жилых домов на шинах напряжением 0,4 кВ ТП**

Число этажей		Плиты		
		на природном газе	на сжиженном газе или твердом топливе	электрические
1–2		9,5/0,96	14,2/0,96	20,0/0,98
3–6		9,3/0,96	12,3/0,96	10,2/0,98
Более 5 с долей квартир выше 6 этажа	20%	10,2/0,94	13,3/0,94	19,8/0,97
	50%	10,9/0,93	14,0/0,93	20,4/0,97
	100%	12,0/0,92	15,1/0,92	21,5/0,96

**Примечания:**

1. В таблице учтены нагрузки насосов систем отопления, горячего водоснабжения, лифтов и наружного освещения территории микрорайонов.
2. Удельные нагрузки определены исходя из средней общей площади квартир до 55 м<sup>2</sup>.
3. В знаменателе приведены значения коэффициента мощности.

Расчетная электрическая нагрузка жилых домов микрорайона (квартала)  $P_{р.мр}$ , кВт, приведенная к шинам напряжением 0,4 кВ ТП, ориентировочно может определяться по формуле

$$P_{р.мр} = P_{р.ж.д.уд} \cdot F_{мр} \cdot 10^{-3}, \quad (7.51)$$

где  $P_{р.ж.д.уд}$  — удельная расчетная нагрузка (табл. 7.8) жилых домов, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $F_{мр}$  — общая площадь жилых домов микрорайона (квартала), м<sup>2</sup>.

## 7.12. Расчетные электрические нагрузки общественных зданий

Расчетные электрические нагрузки общественных зданий (помещений) следует принимать по проектам электрооборудования этих зданий. Обычно расчетные электрические нагрузки этих объектов определяются по удельным расчетным электрическим нагрузкам  $P_{общ. эл. уд}$ , отнесенным или к площади, или к числу мест (табл. 7.9).

Таблица 7.9

### Удельные расчетные электрические нагрузки общественных зданий

Общественные здания	Единица измерения	Удельная нагрузка	Коэффициент мощности
Предприятия общественного питания	кВт/место	0,65–0,9	0,98
Продовольственные магазины	кВт/м <sup>2</sup>	0,22	0,8
Промтоварные магазины	кВт/м <sup>2</sup>	0,14	0,9
Школы	кВт/ученик	0,13–0,22	0,92
Детские сады-ясли	кВт/место	0,4	0,97
Кинотеатры	кВт/место	0,12	0,95
Здания учреждений управления	кВт/м <sup>2</sup>	0,045	0,87
Гостиницы	кВт/место	0,4	0,85
Фабрики химчистки	кВт/кг вещей	0,065	0,8

## Глава 8. РАСЧЕТ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

### 8.1. Параметры режимов электрических систем

Режим работы электрической системы характеризуется значениями показателей ее состояния, называемых параметрами режимов. Все процессы в электрических системах можно охарактеризовать тремя параметрами: напряжением, током и активной мощностью. Но для удобства

расчетов режимов применяются и другие параметры, в частности, реактивная и полная мощность. Произведение показаний вольтметра и амперметра в цепи переменного тока называется полной мощностью. Для трехфазной цепи она выражается формулой

$$S = \sqrt{3}IU, \quad (8.1)$$

где  $I$  — ток в одной фазе;  $U$  — линейное напряжение.

Активная мощность трехфазного переменного тока определяется по формуле

$$P = \sqrt{3}IU \cos \varphi. \quad (8.2)$$

Множитель  $\cos \varphi$  называется коэффициентом мощности. Угол  $\varphi$  указывает сдвиг по фазе тока и напряжения.

На основании этих выражений полная мощность  $S$  представляется гипотенузой прямоугольного треугольника, один катет которого представляет активную мощность  $P = S \cos \varphi$ , а другой — реактивную  $Q = S \sin \varphi$ .

Реактивная мощность находится также из выражения

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi, \quad (8.3)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  — коэффициент реактивной мощности.

Следует помнить об условности толкования  $Q$  как мощности. Только активная мощность и энергия могут совершать работу и преобразовываться в механическую, тепловую, световую и химическую энергию. Активная мощность обусловлена преобразованием энергии первичного двигателя, полученной от природного источника, в электроэнергию. Реактивная мощность не преобразуется в другие виды мощности, не совершает работу и поэтому называется мощностью условно. Реактивная мощность идет на создание магнитных и электрических полей. Для анализа режимов в цепях синусоидального тока реактивная мощность является очень удобной характеристикой, широко используемой на практике.

## 8.2. Баланс активных мощностей

Особенностью производства и потребления электроэнергии является равенство выработанной и израсходованной в единицу времени электроэнергии (мощности). Следовательно, в электрической системе должно выполняться равенство (баланс) для активных мощностей

$$P_{\Gamma} = P_{\text{потр}} + \Delta P_{\text{пер}} + P_{\text{с.н.}} \quad (8.4)$$

где  $P_{\Gamma}$  — суммарная активная мощность, отдаваемая в сеть генераторами электростанций, входящих в систему;  $P_{\text{потр}}$  — суммарная совмещенная активная нагрузка потребителей системы;  $\Delta P_{\text{пер}}$  — суммарные потери активной мощности во всех элементах передачи электроэнергии (линии



ях, трансформаторах) по электрическим сетям;  $P_{с.н}$  — суммарная активная нагрузка собственных нужд всех электростанций системы при наибольшей нагрузке потребителя.

Основная доля выработанной мощности идет на покрытие нагрузки потребителей. Суммарные потери на передачу зависят от протяженности линий электрических сетей, их сечений и числа трансформаций и находятся в пределах 5–15% от суммарной нагрузки. Нагрузка собственных нужд электростанций зависит от их типа, рода топлива и типа оборудования; она составляет для тепловых электростанций 5–12%, для гидроэлектростанций — 0,5–1 % от мощности электростанции.

Равенство (8.4) позволяет определить рабочую активную мощность системы. Располагаемая мощность генераторов  $P_{г.расп}$  системы несколько больше, чем рабочая мощность в режиме максимальных нагрузок  $P_{г.мах}$ ; требуется учитывать необходимость резервирования при аварийных и плановых (ремонтных) отключениях части основного оборудования электроэнергетической системы:

$$P_{г.расп} = P_{г.мах} + P_{г.рез}, \quad (8.5)$$

где  $P_{г.рез}$  — мощность резерва системы, который должен быть не меньше 10% ее рабочей мощности.

При нарушении баланса активных мощностей, например, если

$$P_{г.расп} < P_{потр} + \Delta P_{пер} + P_{с.н}, \quad (8.6)$$

то происходит снижение частоты в системе.

### 8.3. Баланс реактивных мощностей

В электрической системе суммарная генерируемая реактивная мощность должна быть равна потребляемой реактивной мощности. В отличие от активной мощности, источниками которой являются только генераторы электростанций, реактивная мощность генерируется как ими, так и другими источниками, к которым относятся воздушные и кабельные линии разных напряжений  $Q_{л}$ , а также установленные в сетях источники реактивной мощности (ИРМ) (компенсирующие устройства — КУ) мощностью  $Q_{КУ}$ .

Поэтому баланс реактивной мощности в электрической системе представляется уравнением

$$Q_{г} + Q_{л} + Q_{КУ} = Q_{потр} + \Delta Q_{пер} + Q_{с.н}. \quad (8.7)$$

Следует отметить, что уравнение баланса реактивных мощностей связано с уравнением баланса активных мощностей, так как

$$Q_{г} = P_{г} \operatorname{tg} \varphi_{г}; \quad (8.8)$$

$$Q_{потр} = P_{потр} \operatorname{tg} \varphi_{потр}.$$

Генерация реактивной мощности на электростанциях зависит от числа и активной мощности работающих агрегатов, а потребление реактивной мощности — от состава электроприемников. При номинальном коэффициенте мощности генераторов  $\cos \varphi_r = 0,85$  коэффициент реактивной мощности  $\tan \varphi_r = 0,6$ . Для потребителей коэффициент реактивной мощности  $\tan \varphi_{\text{потр}} = 0-3$ .

Потери реактивной мощности на передачу в основном определяют потерями реактивной мощности в трансформаторах, при трех-четырех трансформациях суммарные потери мощности в трансформаторах могут достигать 40 % от передаваемой полной мощности.

В линиях напряжением 110 кВ и выше генерация реактивной мощности (зарядная мощность) компенсирует реактивные потери в линиях и может превысить их.

Таким образом, при выборе активной мощности генераторов энергосистемы по условию баланса активных мощностей и при работе генераторов с номинальным коэффициентом мощности генерируемая суммарная реактивная мощность без дополнительно используемых ИРМ может оказаться меньше требуемой по условию баланса реактивных мощностей:

$$Q_r + Q_d < Q_{\text{потр}} + \Delta Q_{\text{пер}} + Q_{\text{с.н.}} \quad (8.9)$$

В этом случае образуется дефицит реактивной мощности, который приводит к следующему:

- большая нагрузка реактивной мощностью генераторов электростанций приводит к перегрузке по току генераторов;
- передача больших потоков реактивной мощности от генераторов по элементам сети приводит к повышенным токовым нагрузкам и, как следствие, к увеличению затрат на сооружение сети, повышенным потерям активной мощности;
- недостаток реактивной мощности в системе влечет за собой снижение напряжения в узлах электрических сетей и у потребителей.

Для получения баланса реактивных мощностей вблизи основных потребителей реактивной мощности устанавливают дополнительные источники с выдаваемой реактивной мощностью  $Q_{\text{КУ}}$ .

При избытке реактивной мощности в системе, т. е. при

$$Q_r + Q_d + Q_{\text{КУ}} > Q_{\text{потр}} + \Delta Q_{\text{пер}} + Q_{\text{с.н.}} \quad (8.10)$$

в элементах электрической сети возникают перетоки реактивной мощности, встречные направлению потоков активной мощности, что приводит к повышению напряжений в узлах и увеличению потерь мощности. Данный режим характерен для периода минимальных нагрузок в системе.

Отсюда возникает задача оптимизации режима реактивной мощности в системе электроснабжения промышленного предприятия, выбора типа и мощности, а также места установки компенсирующих устройств.

В системах электроснабжения городов с коммунально-бытовой нагрузкой компенсирующие устройства обычно не устанавливаются. Компенсирующие устройства устанавливаются в основном для промышленных предприятий.

#### 8.4. Исходные положения по компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных и сельскохозяйственных предприятий

При выборе средств компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий или сельскохозяйственных объектов необходимо различать две группы промышленных сетей в зависимости от состава их нагрузок:

- сети общего назначения с режимом прямой последовательности основной частоты 50 Гц;
- сети со специфическими нелинейными, несимметричными и резкопеременными нагрузками.

В данном разделе рассматриваются вопросы компенсации реактивной мощности в промышленных сетях общего назначения.

На начальной стадии проектирования определяются наибольшие суммарные расчетные нагрузки предприятия при естественном (т. е. до установки КУ) коэффициенте реактивной мощности  $P_{\text{расч}} \text{ ПП}$ ,  $Q_{\text{расч}} \text{ ПП}$ .

Наибольшая суммарная нагрузка предприятия, принимаемая для определения мощности компенсирующих устройств,

$$Q_{\text{max}} \text{ ПП} = L_{0, \text{max}} Q_{\text{расч}} \text{ ПП}, \quad (8.11)$$

где  $L_{0, \text{max}}$  — коэффициент, учитывающий несовпадение по времени наибольшей активной нагрузки системы и реактивной мощности промышленного предприятия. Значения для разных отраслей промышленности  $L_{0, \text{max}} = 0,75-0,95$ .

Значения наибольших реактивной и активной нагрузок предприятия сообщаются в энергосистему для определения значения экономически оптимальной реактивной мощности, которая может быть передана предприятию в режимах наибольшей и наименьшей активных нагрузок энергосистемы, соответственно  $Q_{\text{э1}}$  и  $Q_{\text{э2}}$ .

По реактивной мощности  $Q_{\text{э1}}$  определяется суммарная мощность компенсирующих устройств предприятия, а в соответствии с заданным значением  $Q_{\text{э2}}$  — регулируемая часть компенсирующих устройств.

Суммарная мощность компенсирующих устройств

$$Q_{\text{КУ}} = Q_{\text{max}} \text{ ПП} - Q_{\text{э1}}. \quad (8.12)$$

В период минимальных активных нагрузок системы входная реактивная мощность предприятия должна быть равна  $Q_{\text{э2}}$ , для чего

требуется отключение части установленной на предприятии мощности КУ.

В качестве средств компенсации реактивной мощности используются статические конденсаторы напряжением до и выше 1 кВ и синхронные двигатели

## 8.5. Основные потребители реактивной мощности на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях

Рассмотрим основные виды электроприемников различного технологического назначения, электропотребителей разных отраслей промышленности, характер их нагрузок и особенности режимов работы.

Электродвигатели применяются в приводах различных производственных механизмов на всех промышленных и сельскохозяйственных предприятиях. Электропривод представляет собой комплекс электрических машин, аппаратов и систем управления, в котором электродвигатели конструктивно связаны с исполнительным механизмом и преобразуют электрическую энергию в механическую работу. В установках, не требующих регулирования скорости в процессе работы, применяются исключительно электроприводы переменного тока (асинхронные и синхронные двигатели).

Нерегулируемые электродвигатели переменного тока — основной вид электроприемников в промышленности, на долю которого приходится около 2/3 суммарной мощности. Доля электропотребления асинхронными двигателями напряжением 0,38 кВ составляет 52% в машиностроении.

Электротермия, электросварка, электролиз и прочие потребители составляют около 1/3 суммарной промышленной нагрузки.

Электротермические приемники в соответствии с методами нагрева делятся на следующие группы: дуговые электропечи для плавки черных и цветных металлов, установки индукционного нагрева для плавки и термообработки металлов и сплавов, электрические печи сопротивления, электросварочные установки, термические коммунально-бытовые приборы.

Наибольшее распространение в цеховых электрических сетях напряжением 0,38 кВ имеют печи сопротивления и установки индукционного нагрева. Печи сопротивления прямого и косвенного действия имеют мощность до 2000 кВт и подключаются к сети напряжением 0,38 кВ, коэффициент мощности близок к 1,0.

Индукционные плавильные печи промышленной и повышенной частоты представляют собой трехфазную электрическую нагрузку «спойного» режима работы. Печи повышенной частоты питаются от вен-

тильных преобразователей частоты, к которым подводится переменный ток напряжением 0,4 кВ. Индукционные печи имеют низкий коэффициент мощности: от 0,1 до 0,5.

Электросварочные установки переменного тока дуговой и контактной сварки представляют собой однофазную неравномерную и несинусоидальную нагрузку с низким коэффициентом мощности: 0,3 — для дуговой сварки и 0,7 — для контактной.

Электрохимические и электролизные установки работают на постоянном токе, который получают от преобразовательных подстанций, выпрямляющих трехфазный переменный ток. Коэффициент мощности установок 0,8–0,9.

Установки электрического освещения с лампами накаливания, люминесцентными, дуговыми, ртутными, натриевыми, ксеноновыми лампами применяются на всех предприятиях для внутреннего и наружного освещения. В производственных цехах в настоящее время применяются преимущественно дуговые ртутные лампы высокого давления типов ДРЛ и ДРИ 220 В. Аварийное освещение, составляющее 10 % общего, выполняется лампами накаливания. Коэффициент мощности светильников с индивидуальными конденсаторами 0,9–0,95. Лишь лампы накаливания имеют коэффициент мощности 1,0.

## 8.6. Источники реактивной мощности (компенсирующие устройства)

На промышленных предприятиях для компенсации реактивной мощности применяют синхронные двигатели и батареи силовых конденсаторов.

### Синхронные двигатели как источник реактивной мощности

Основное назначение синхронных двигателей — выполнение механической работы, следовательно, он является потребителем активной мощности. При перевозбуждении СД его ЭДС больше напряжения сети, в результате вектор тока статора опережает вектор напряжения, т. е. имеет емкостный характер, а СД выдают реактивную мощность. При недо возбуждении СД является потребителем реактивной мощности. При некотором режиме возбуждения СД его коэффициент мощности равен единице. Изменение тока возбуждения позволяет плавно регулировать генерируемую СД реактивную мощность. Затраты на генерацию двигателями реактивной мощности определяются в основном стоимостью связанных с этим потерь активной мощности в самом двигателе. Потери активной мощности в СД зависят от генерируемой ими реактивной мощности, причем чем меньше номинальная мощность СД и его частота вращения, тем больше эти потери. Для быстроходных СД удельный расход

активной мощности составляет около 10 Вт/квар; для СД с частотой вращения 300–500 об/мин — около 20–30 Вт/квар; для СД с частотой вращения 50–100 об/мин — около 60–85 Вт/квар. Следовательно, маломощные двигатели с малой частотой вращения неэкономичны в качестве ИРМ. В качестве ИРМ обычно используют СД на номинальное напряжение 6 или 10 кВ, недогруженные по активной мощности.

Значения реактивной мощности, которую можно получить от СД, зависят от его загрузки активной мощностью и относительного напряжения на зажимах двигателя.

### Силовые конденсаторы

Силовые конденсаторы — специальные однофазные или трехфазные емкости, предназначенные для выработки реактивной мощности. Мощность конденсаторов в одном элементе составляет 5–100 квар, номинальное напряжение — от 220 В до 10 кВ.

Реактивная мощность, вырабатываемая конденсатором,

$$Q_K = U^2 \omega C_K, \quad (8.13)$$

где  $U$  — напряжение на зажимах конденсатора;  $\omega$  — угловая частота переменного тока;  $C_K$  — емкость конденсатора, которая определяется, в основном, площадью обкладок.

В установках с большей мощностью и на большее напряжение применяют батареи конденсаторов с параллельным и последовательно-параллельным включением элементов. Увеличение номинального напряжения конденсаторной батареи достигается последовательным включением элементов, а для увеличения мощности применяют параллельное соединение элементов.

Обычно конденсаторы включаются в сеть по схеме треугольника (рис. 8.1). При отключении конденсаторов необходимо, чтобы запасенная в них энергия разряжалась автоматически на постоянно включенное активное сопротивление, например трансформатор напряжения (для батарей высокого напряжения) или лампы накаливания (для батарей низкого напряжения).

В сети напряжением 380 В в качестве разрядных сопротивлений рекомендуется применять три группы по две последовательно соединенные лампы на 220 В, подключенные треугольником параллельно батарее конденсаторов (рис. 8.1, б).

Конденсаторы по сравнению с СД обладают следующими преимуществами: простотой эксплуатации вследствие отсутствия вращающихся частей; простотой монтажных работ вследствие малой массы; малыми потерями активной мощности на выработку реактивной (2,5–5 Вт/квар).

К недостаткам конденсаторов относят зависимость генерируемой реактивной мощности от напряжения, недостаточную стойкость то-

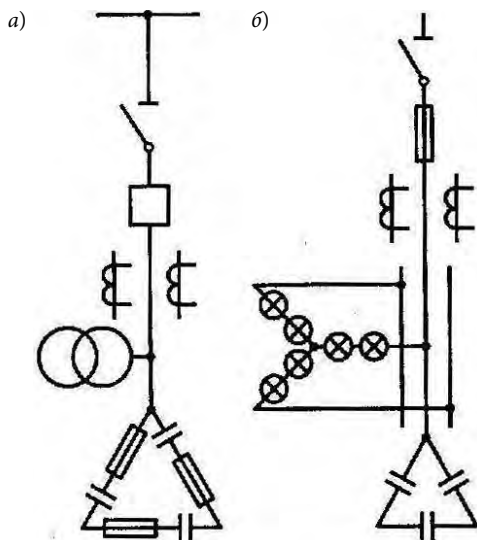


Рис. 8.1. Схемы присоединения конденсаторных батарей:

*а* — через выключатель на напряжении 6–10 кВ; *б* — через рубильник и предохранитель на напряжении до 1 кВ

кам к. з. и перенапряжениям, чувствительность к искажениям формы кривой подводимого напряжения, невозможности плавного изменения мощности конденсаторной установки.

## 8.7. Расчет силовых (статических) конденсаторов для компенсации реактивной мощности

Для компенсации реактивной мощности эксплуатируемых или проектируемых электроустановок напряжением до 1 кВ обычно применяют генерирование реактивной мощности на самом предприятии. Одним из распространенных способов компенсации реактивной мощности является установка статических конденсаторов.

В соответствии с (8.12) реактивная мощность, квар, статических конденсаторов определяется как разность между фактической наибольшей реактивной мощностью  $Q_{\max \text{ ПП}}$  нагрузки предприятия и предельной реактивной мощностью  $Q_{\text{э1}}$ , представляемой предприятию энергосистемой по условиям режима ее работы:

$$Q_K = Q_{\max \text{ ПП}} - Q_{\text{э1}} = P_{\max \text{ ПП}} (\operatorname{tg} \varphi_{\max} - \operatorname{tg} \varphi_{\text{э1}}), \quad (8.14)$$

где  $Q_{\max \text{ ПП}} = P_{\max} \operatorname{tg} \varphi_{\max}$ ;  $P_{\max \text{ ПП}}$  — мощность активной нагрузки предприятия в часы максимума энергосистемы, принимается по средней рас-

четной мощности наиболее загруженной смены;  $\operatorname{tg} \varphi_{\max}$  — фактический тангенс угла, соответствующий мощностям нагрузки  $P_{\max \text{ ПП}}$  и  $Q_{\max \text{ ПП}}$  ( $\operatorname{tg} \varphi_{\max} = Q_{\max \text{ ПП}} / P_{\max \text{ ПП}}$ );  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{эл}}$  — оптимальный тангенс угла, соответствующий установленным предприятию условиям получения от энергосистемы мощностей нагрузки  $P_{\max \text{ ПП}}$  и  $Q_{\max \text{ ПП}}$ .

Значение  $Q_{\text{эл}}$ , а затем и  $Q_{\text{к}}$  для предприятия с присоединенной мощностью  $S_{\text{пр}} \geq 750$  кВА, получающих питание от сети с несколькими ступенями трансформации, определяют по специальным формулам (в данном разделе не рассматривается).

Тип и мощность конденсаторов выбираются по табл. 8.1.

Таблица 8.1

**Основные данные конденсаторных установок  
для внутренней установки 0,38 кВ**

Типовое обозначение	Номинальная мощность, квар
УК-0,38–75УЗ	75
УК-0,38–150УЗ	150
УКБ-0,38–150УЗ	150
УКБ-0,38–300УЗ	300
УКБ-0,38–50УЗ	50
УКБН-0,38–150УЗ	150

Значение  $Q_{\text{к}}$  для предприятий с присоединенной мощностью  $S_{\text{пр}} \leq 750$  кВА определяется следующим образом.

Вначале рассчитывают  $Q_{\text{к}}^{\text{р}}$ :

$$Q_{\text{к}}^{\text{р}} = (0,2 + 0,5d) S_{\text{пр}} k_3, \quad (8.15)$$

где  $S_{\text{пр}}$  — присоединенная мощность трансформаторов 6–10/0,4 кВ;  $d$  — доля установленной мощности асинхронных двигателей и сварочных трансформаторов в составе приемников электроэнергии низкого напряжения;  $k_3$  — коэффициент загрузки трансформаторов 6–10 кВ.

Далее определяют мощность компенсирующих устройств  $Q_{\text{к}}$  по следующей шкале:

$Q_{\text{к}}^{\text{р}}$ , квар	До 50	50–120	120–190	190–260	260–380	Более 380
$Q_{\text{к}}$ , квар	0	75	150	225	300	450

Если  $Q_{\text{к}}$  окажется меньше мощности уже установленного в сети потребителя, то в качестве  $Q_{\text{к}}$  принимают фактическую мощность установленного потребителя (при расчете компенсирующих устройств для отдельных линий потребителей предприятия).

При питании потребителя от сети 380 В в качестве присоединенной мощности  $S_{\text{пр}}$  принимают его максимальную нагрузку (независимо от периода максимальных нагрузок энергосистемы), определяемую измере-



нием. Для таких потребителей  $Q_k^p$  определяют по той же формуле, при этом коэффициент  $k_3$  принимают равным единице.

При выдаче технических требований для проектирования электроснабжения потребителей с  $S_{пр} < 750$  кВА мощность компенсирующих устройств можно определить следующим образом:

$$Q_k^p = P_{расч} (\operatorname{tg} \varphi_{расч} - 0,2), \quad (8.16)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_{расч}$  соответствует стороне высокого напряжения трансформаторов.

При питании потребителей от сети 380 В значение  $Q_k$  устанавливают равным стандартной мощности батарей конденсаторов, ближайшей к расчетной реактивной нагрузке потребителя.

В цехах промышленных предприятий батареи статических конденсаторов рекомендуется размещать у групповых распределительных пунктов, на подстанции, магистральных и распределительных шинопроводах.

Если распределительная сеть выполнена только кабельными линиями, конденсаторную установку (КУ) любой мощности рекомендуется присоединять непосредственно к шинам цеховой подстанции. При питании от одного трансформатора двух и более магистральных шинопроводов к каждому из них присоединяется только по одной батарее конденсаторов. Общая расчетная мощность батарей распределяется между шинопроводами пропорционально их суммарной реактивной нагрузке.

Если нагрузка распределена равномерно по шинопроводу, то точка присоединения конденсаторов определяется по формуле для определения  $L_{ш}$ , м:

$$L_{ш} = L_0 + (1 + Q_k/(2Q)) L, \quad (8.17)$$

где  $L_0$ ,  $L$  — соответственно длина магистральной и распределительной части шинопровода, м (рис. 8.2);  $Q_k$  — мощность конденсаторов, квар;  $Q$  — суммарная реактивная мощность шинопровода, квар.

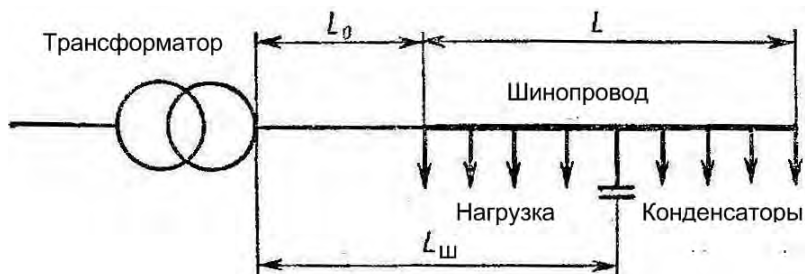


Рис. 8.2. Схема нагрузки шинопровода

## 8.8. Пример

Определить мощность конденсаторной батареи  $Q_k$  для компенсации реактивной мощности при следующих данных: присоединенная мощность  $S_{\text{пр}} = 630$  кВА; доля асинхронной и сварочной нагрузки составляет 80 %; коэффициент загрузки трансформатора  $k_3 = 0,8$ .

*Решение:*

1. Реактивная мощность, передаваемая энергосистемой предприятию, равна  $Q_k^p = (0,2 + 0,5d) S_{\text{пр}} k_3 = (0,2+0,5 \cdot 0,8)630 \cdot 0,8 = 302,4$  квар.
2. По шкале стандартных мощностей  $Q_k$  равна 300 квар. По табл. 8.1 выбираем конденсаторную установку УКБ-0,38–300УЗ мощностью 300 квар.

## Глава 9. РАСЧЕТ ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ, ВЫБОР ШИНОПРОВОДОВ

### 9.1. Общие положения

В соответствии с требованиями ПУЭ выбор сечений электрических проводников осуществляется по допустимому нагреву, экономической плотности тока и по условиям короны. Если сечение проводника, определенное по этим условиям, получается меньше сечения, требуемого по другим условиям (термическая и электродинамическая стойкость при токах к. з., потери и отклонения напряжения, механическая прочность, защита от перегрузки), то должно приниматься наибольшее сечение, требуемое этими условиями.

По экономической плотности тока расчет сетей не производится для:

- сетей промышленных предприятий и сооружений напряжением до 1000 В, имеющих число часов использования максимума нагрузки предприятий до 4000–5000;
- ответвлений к отдельным электроприемникам напряжением до 1000 В, а также осветительных сетей промышленных предприятий, жилых и общественных зданий;
- сборных шин электроустановок и ошиновки в пределах открытых и закрытых распределительных устройств всех напряжений;
- проводников, идущих к резисторам, пусковым реостатам и т. п.;

- сетей временных сооружений, а также устройств со сроком службы 3–5 лет.

По условиям образования короны проверяются проводники при  $U \geq 35$  кВ.

## 9.2. Определение сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву

### Выбор сечения проводов и кабелей

Сечение проводника, выбранного в соответствии с условиями среды, должно обеспечить допустимый нагрев при расчетном токе  $I_p$  и допустимую потерю напряжения при этом же расчетном токе. Кроме того, сечение проводника проверяется при выборе установки автомата (плавкой вставки предохранителя), защищающих данный участок сети по условиям нагрева токами перегрузки и короткого замыкания, а также по падению напряжения на участке сети.

Длительно допустимые нагрузки на провода и кабели с различной изоляцией приведены в ПУЭ (глава 1.3) и электротехнических справочниках.

Сечение проводов и кабелей напряжением до 1000 В по условию нагрева выбирается в зависимости от длительно допустимой токовой нагрузки.

Выбор сечения производится:

- по условию нагрева длительно расчетным током

$$I_{н.доп} \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2}; \quad (9.1)$$

- по условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защиты

$$I_{н.доп} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k_1 \cdot k_2}, \quad (9.2)$$

где  $I_p$  — расчетный ток нагрузки;  $I_{н.доп}$  — длительно-допустимый ток на провода, кабели и шинопроводы (табл. 9.4, 9.5, 9.8);  $I_3$  — номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата (табл. 9.1);  $I_3 = I_{ном вст}$ , если линия защищена предохранителем;  $I_3 = I_{сраб}$ , если линия защищена автоматом (например,  $I_{сраб}$  для автоматов с электромагнитным и тепловым расцепителями — это ток срабатывания теплового расцепителя в соответствии с времятоковыми характеристиками отключения, см. рис. 10.1);  $k_3$  — коэффициент защиты или кратность защиты (отношение длительно-допустимого тока для провода к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата), определяется по данным табл. 9.1;  $k_1$  — поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей (табл. 9.2);  $k_2$  — по-

Таблица 9.1

Значения  $k_3$ ,  $I_3$ 

Вид тока $I_3$ в зависимости от типа защитного аппарата	$k_3$			
	Сети, для которых защита от перегрузки обязательна			Сети, не требующие за- щиты от перегрузки
	проводники с резиновой и аналогичной ей изоляцией		кабели с бумаж- ной изоляцией	
	взрыво- и пожароопасные помещения, жилые, торговые помещения и т. п.	невзрывопожаро- опасные производ- ственные помеще- ния промышленных предприятий		
Номинальный ток плавкой вставки предохранителей	1,25	1,0	1	0,33
Ток уставки автоматиче- ского выключателя с мак- симальным мгновенным расцепителем	1,25	1	1	0,22
Номинальный ток расце- пителя автоматического выключателя с нерегулиру- емой обратнoзависимой от тока характеристикой	1	1	1	1
Ток трогания (срабатыва- ния) расцепителя автоматического выклю- чателя с регулируемой обратнoзависимой от тока характеристикой (при на- личии на автоматическом выключателе отсечки)	1	1	0,8	0,8

правочный коэффициент на число работающих кабелей, лежащих рядом в земле в трубах или без труб (табл. 9.3).

В тех случаях, когда указанные выше соотношения не выполняются, желательно избегать завышения сечения проводников, например, выбирают автоматы не с электромагнитными, а с комбинированными расцепителями. Если требуемая длительная токовая нагрузка проводника, выбранная по условиям нагрева, не совпадает с требуемыми данными по приведенным выше условиям, допускается применение проводника ближайшего меньшего сечения. Но не меньше чем это требуется по расчетному току.

Чтобы правильно выбрать коэффициент  $k_3$  по табл. 9.1, необходимо определить, от каких аномальных режимов будет защищаться про-

Таблица 9.2

**Поправочные коэффициенты на температуру земли и воздуха  
для токовых нагрузок, голые и изолированные провода**

Расчетная температура среды, °С	Нормируемая температура жил, °С	Поправочные коэффициенты $k_1$ при фактической температуре $t_1$ , °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1	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	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,2	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,1	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,71	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,2	1,15	1,12	1,06	1	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,41
25	60	1,36	1,31	1,25	1,2	1,13	1,07	1	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,5	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1	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	0,89	0,78	0,63	0,45	—

ектируемая электрическая сеть (или линия). От каких режимов должны быть защищены электрические сети в соответствии с ПУЭ, указано в главе «Выбор аппаратов защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ».

### Определение расчетного тока для различных приемников

**А.** Расчетный ток (в А) нагрузки для одного двигателя определяют следующим образом:

$$I_p = \frac{P_n \cdot 1000}{1,73 \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (9.3)$$

где  $P_n$  — номинальная мощность двигателя, кВт;  $U_{\text{л}}$  — линейное напряжение, В;  $\eta$  — КПД двигателя (можно принимать его равным номинальному);  $\cos \varphi$  — номинальный коэффициент мощности.

**Б.** Для магистрали (фидера), по которой передается энергия для нескольких потребителей, величину  $I_p$  можно определить по коэффициенту спроса или методу упорядоченных диаграмм (метод коэффициента максимума).

*Метод коэффициента спроса.* Коэффициентом спроса называется отношение расчетной (в условиях проектирования) или потребляемой (в условиях эксплуатации) активной мощности к номинальной (установленной).

Используя этот метод, прежде всего находят расчетную активную мощность:

$$P = \sum_1^n k_c \cdot P_{ny}, \quad (9.4)$$

где  $P$  — расчетная активная мощность электроприемника  $n$ -й группы, кВт;  
 $P_{ny}$  — установленная мощность электроприемника  $n$ -й группы, кВт;  
 $k_c$  — коэффициент спроса  $n$ -й характерной группы электроприемников (табл. 9.6).

Затем находят реактивную мощность, квар:

$$Q = \sum_1^n P \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (9.5)$$

где  $Q$  — расчетная реактивная мощность  $n$ -й группы электроприемников;  $\operatorname{tg} \varphi$  — значение, соответствующее коэффициенту мощности  $n$ -й группы электроприемников.

Далее определяют полную мощность, кВт  $\cdot$  А, потребляемую всеми электроустановками:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (9.6)$$

Отсюда находится  $I_p$  для данной магистрали (фидера):

$$I_p = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \text{ А — для трехфазной сети;} \quad (9.7)$$

$$I_p = \frac{S}{U}, \text{ А — для однофазной сети (двухпроводной цепи);} \quad (9.8)$$

Метод упорядоченных диаграмм (метод коэффициента максимума) является более громоздким и результаты, вычисленные данным методом, не всегда более точны, чем полученные методом коэффициента спроса. Для практических расчетов чаще используют метод коэффициента спроса.

**В. Определение  $I_p$  для сети освещения (с учетом п. 7.8 главы «Расчет электрических нагрузок»).**

Расчетную нагрузку питающей осветительной сети определяют умножением установленной мощности ламп на коэффициент спроса  $k_c$ , а при газоразрядных лампах — еще на коэффициент, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА):

$$P = P_{уст} \cdot k_c \cdot k_{ПРА}, \quad (9.9)$$

где  $k_c = 1$  для небольших производственных зданий, крупных сетей и всех звеньев сети аварийного освещения;  $k_c = 0,9$  — для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;  $k_c = 0,8$  — для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений;  $k_{ПРА} = 1,1$  — для ламп ДРЛ и ДРИ;  $k_{ПРА} = 1,2$  — для люминесцентных

Таблица 9.3

**Поправочные коэффициенты на число работающих кабелей,  
лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)**

Расстояние в свету, мм	Коэффициент $k_2$ при числе кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблица 9.4

**Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами  
с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках  
и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой,  
поливинилхлоридной, найритовой или резиновой оболочке,  
бронированных и небронированных**

Сечение токопрово- дящей жилы, мм²	Ток*, А, для проводов и кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
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
240	605	—	—	—	—

\* Токи относятся к проводам и кабелям как с нулевой жилой, так и без нее.

ламп в стартерных схемах включения;  $k_{ПРА} = 1,3-1,35$  — для люминесцентных ламп в бесстартерных схемах.

Отсюда расчетный ток (с учетом формул 9.5, 9.6), А:

$$I_p = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}}. \quad (9.10)$$

### 9.3. Проверка сечения проводов и кабелей по допустимой потере напряжения

В некоторой литературе встречается формулировка «определение сечения проводов и кабелей по допустимой потере напряжения». Это связано с тем, что в ПУЭ шестого издания определение сечений по допустимому нагреву и по допустимой потере напряжения равнозначны. Однако практически осуществляется сначала выбор сечения кабеля по допустимому нагреву, а затем проверяется по допустимой потере напряжения. Так же трактуется данный вопрос и в Своде правил «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» СП 31-110-2003, введенного в действие вместо ВСН 59-88 в 2004 г. В статье 11.6 СП 31-110-2003 говорится: «Сечения проводов и кабелей выбираются в соответствии с главой 1.3 ПУЭ по условию нагрева длительным расчетным током в нормальных и послеаварийных режимах и проверяются по потере напряжения, соответствию току выбранного аппарата защиты, условиям окружающей среды».

Сечение проводов и кабелей по допустимой потере напряжения проверяется для силовых и осветительных сетей.

В общем случае падение напряжения в кабеле определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = 10^{-3} \cdot \sqrt{3} \cdot I \cdot L (r_{\text{уд}} \cos \varphi + x_{\text{уд}} \sin \varphi), \quad (9.11)$$

где  $I$  — ток нагрузки (расчетный ток), А;  $\varphi$  — угол (фаза) нагрузки,  $\text{эл.}^\circ$ ;  $r_{\text{уд}}$  и  $x_{\text{уд}}$  — активное и индуктивное удельные сопротивления кабеля,  $\text{мОм/м}$  (если сопротивления измеряются в  $\text{Ом/м}$ , то множитель  $10^{-3}$  не нужен);  $L$  — длина кабеля, м.

В соответствии с требованиями ПУЭ  $\Delta U$  для силовых сетей должно быть не более 5 %, для осветительных сетей — не более 7 %. Падение напряжения считается от ТП до наиболее удаленного проводника сети.

Для практических расчетов сечение проводов и кабелей с одинаковым сечением по всей длине рассчитываются по следующим формулам.

**А.** Для трехфазной сети с сосредоточенной нагрузкой в конце линии, %:



$$\Delta U = \frac{P \cdot L \cdot 10^5}{\sigma \cdot U_{\text{л}}^2 \cdot s}, \quad (9.12)$$

где  $P$  — расчетная нагрузка, кВт;  $U_{\text{л}}$  — линейное напряжение, В;  $L$  — общая длина линии, м;  $s$  — сечение жилы кабеля, мм<sup>2</sup>;  $\sigma$  — удельная проводимость; для алюминия  $\sigma = 34,5$  м/(Ом · мм<sup>2</sup>), для меди  $\sigma = 57$  м/(Ом · мм<sup>2</sup>).

**Б.** Для сетей освещения, %:

$$\Delta U = \frac{P \cdot L}{c \cdot s}, \quad (9.13)$$

где  $P$  — расчетная нагрузка, кВт;  $s$  — сечение жилы кабеля, мм<sup>2</sup>;  $L$  — общая длина линии, м;  $c$  — коэффициент, зависящий от напряжения и удельного сопротивления (табл. 9.7).

Таблица 9.5

**Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных**

Сечение токо- проводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов и кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
при прокладке					
в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле	
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	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	—	—	—	—

*Примечание.* Допустимые длительные токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут выбираться по табл. 9.5 как для трехжильных кабелей, но с коэффициентом 0,92.

Таблица 9.6

**Коэффициенты использования  $k_{\text{и}}$  и спроса  $k_{\text{с}}$   
для определения потребной мощности силовых установок**

Группы электро-приемников	Установки	$k_{\text{и}}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$k_{\text{с}}$
Электродвигатели, работающие с полной нагрузкой и непрерывно работающие	Вентиляторы, насосы, компрессоры, двигатель-генераторы и др.	0,65	0,8	0,75	0,75–0,8
Электродвигатели металло-обрабатывающих станков	Станки универсального назначения (токарные, фрезерные, строгальные, сверлильные)	0,12–0,14	0,4–0,6	—	0,14–0,16
	Специализированные станки, станки-автоматы, агрегатные	0,22–0,25	0,65	1,17	—
	Механизмы кузнечных (кривошипные прессы, ковочные машины, прессы горячей штамповки и т. п.), литейных цехов (бегуны, шаровые мельницы и т. д.)	0,25–0,35	0,65	1,17	0,35–0,40
	Автоматические поточные линии	0,6	0,7	1	—
Электродвигатели механизмов непрерывного транспорта	Транспортеры, конвейеры, элеваторы и сблокированные с ними механизмы	0,6	0,75	0,88	0,55
Электродвигатели повторно-кратковременного режима работы	Краны, кран-балки, тельферы и т. п. (механические, сборные и им подобные цеха)	0,15–0,35	0,45	1,98	0,2–0,5
Электрические печи	Печи сопротивления, нагревательные аппараты, сушильные камеры периодического действия	0,5–0,55	0,85–0,95	0,62–0,53	0,8
Поверхностная закалка и высоко-частотный нагрев	Печи сопротивления непрерывного действия, методические, конвейерные	0,75	0,95	0,33	0,85
	Индукционные печи низкой частоты	0,75	0,35	2,68	0,8
	То же, высокой частоты	0,6	0,7	1	0,8

Группы электро-приемников	Установки	$k_{\text{и}}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$k_{\text{с}}$
Электрическая сварка	Трансформаторы дуговой сварки	0,3	0,35	2,68	0,35
	Аппараты стыковой, шовной и точечной сварки	0,35	0,55	1,52	0,4–0,5
	Однопостовые сварочные двигатель-генераторы	0,3	0,65	1,17	0,35
Текстильная промышленность	Прядильные машины	—	0,8	0,75	0,7–0,9
	Крутильные и перемоточные машины	—	0,75	0,88	0,65–0,8
	Ткацкие станки	—	0,7	1	0,8–0,9
	Отделочные фабрики	—	0,77–0,85	0,83–0,62	0,5–0,9

Таблица 9.7

Значения коэффициента  $c$ 

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Коэффициент $c$	
		для медных проводов	для алюминевых проводов
380/220	Трехфазная с нулевым проводом	77	46
380/220	Двухфазная с нулевым проводом	34	20
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	12,8	7,7
220/127	Трехфазная с нулевым проводом	25,6	15,5
220/127	Двухфазная с нулевым проводом	11,4	6,9
127	Двухпроводная переменного или постоянного тока	4,3	2,6
120	Двухпроводная переменного или постоянного тока	3,8	2,3
110	То же	3,2	1,9
42	— « —	0,34	0,21
24	— « —	0,153	0,092
12	— « —	0,038	0,023

Таблица 9.8

## Допустимый длительный ток для шин прямоугольного сечения

Размеры, мм	Медные шины					Алюминиевые шины					Стальные шины	
	Ток*, А, при количестве полос на фазу или полюс										Размеры, мм	Ток*, А
	1	2	3	4		1	2	3	4			
15×3	210	—	—	—	—	165	—	—	—	—	16×2,5	55/70
20×3	275	—	—	—	—	215	—	—	—	—	20×2,5	60/90
25×3	340	—	—	—	—	265	—	—	—	—	25×2,5	75/110
30×4	475	—	—	—	—	365/370	—	—	—	—	20×3	65/100
40×4	625	—/1090	—	—	—	480	—/855	—	—	—	25×3	80/120
40×5	700/705	—/1250	—	—	—	540/545	—/965	—	—	—	30×3	95/140
50×5	860/870	—/1525	—/1895	—	—	665/670	—/1180	—/1470	—	—	40×3	125/190
50×6	955/960	—/1700	—/2145	—	—	740/745	—/1315	—/1655	—	—	50×3	155/230
60×6	1125/1145	1740/1990	2240/2495	—	—	870/880	1350/1555	1720/1940	—	—	60×3	185/280
80×6	1480/1510	2110/2630	2720/3220	—	—	1150/1170	1630/2055	2100/2460	—	—	70×3	215/320
100×6	1810/1875	2470/3245	3170/3940	—	—	1425/1455	1935/2515	2500/3040	—	—	75×3	230/345
60×8	1320/1345	2160/2485	2790/3020	—	—	1025/1040	1680/1840	2180/2330	—	—	80×3	245/365
80×8	1690/1755	2620/3095	3370/3850	—	—	1320/1355	2040/2400	2620/2975	—	—	90×3	275/410
100×8	2080/2180	3060/3810	3930/4690	—	—	1625/1690	2390/2945	3050/3620	—	—	100×3	305/460
120×8	2400/2600	3400/4400	4340/5600	—	—	1900/2040	2650/3350	3380/4250	—	—	20×4	70/115
60×10	1475/1525	2560/2725	3300/3530	—	—	1155/1180	2010/2110	2650/2720	—	—	22×4	75/125
80×10	1900/1990	3100/3510	3990/4450	—	—	1480/1540	2410/2735	3100/3440	—	—	25×4	85/140
100×10	2310/2470	3610/4325	4650/5385	5300/6060	—	1820/1910	2860/3350	3650/4160	4150/4400	—	30×4	100/165
120×10	2650/2950	4100/5000	5200/6250	5900/6800	—	2070/2300	3200/3900	4100/4860	4650/5200	—	40×4	130/220
											50×4	165/270
											60×4	195/325
											70×4	225/375
											80×4	260/430
											90×4	290/480
											100×4	325/535

\* В числителе приведены значения переменного тока, в знаменателе — постоянного.

## 9.4. Выбор шинопроводов напряжением до 1 кВ и проверка шин на электродинамическую устойчивость

Шинопроводы выбираются по номинальному напряжению и номинальному току  $I_{\text{ном.ш}}$ , причем

$$I_{\text{ном.ш}} \geq I_{\text{р.ф}} \geq I_{\text{р.мах}}, \quad (9.14)$$

где  $I_{\text{р.мах}}$  — рабочий максимальный ток;  $I_{\text{р.ф}}$  — расчетный ток форсированного послеаварийного режима. Значения  $I_{\text{ном.ш}}$  в зависимости от типа и сечения шин имеются в ПУЭ, а также в табл. 9.8. Технические данные по магистральным и распределительным шинопроводам имеются в п. 5.3 главы «Конструктивное выполнение цеховых сетей напряжением до 1 кВ».

Выбранные шины необходимо проверить на электродинамическую устойчивость (стойкость).

Шина каждой фазы представляет собой упругую балку, жестко закрепленную на опорах, являющихся изоляторами (рис. 9.1).

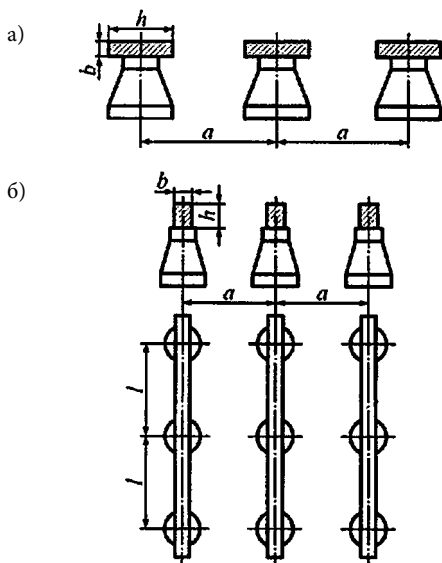


Рис. 9.1. Расположение шин на изоляторах:  
а — плашмя; б — на ребро

На опорах шины могут быть расположены плашмя или на ребро (рис. 9.1).

В нормальных режимах взаимодействие проводников с токами (шин) не приводит к появлению значительных электродинамических сил и, соответственно, механических изгибающих моментов.

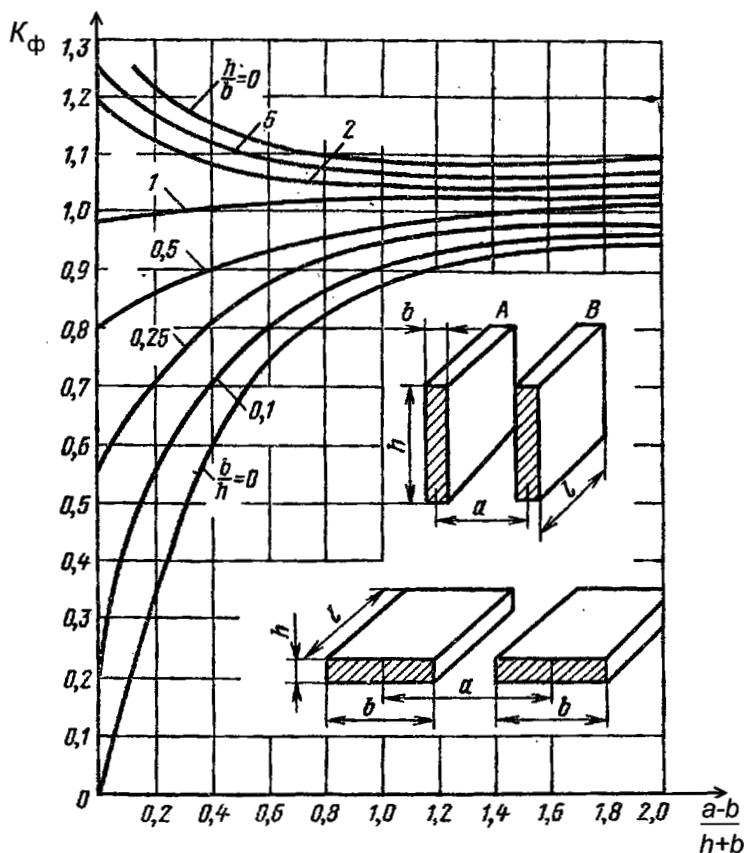


Рис. 9.2. Кривые Двайта, учитывающие влияние размеров поперечного сечения проводников

При возникновении токов короткого замыкания (к. з.), протекающих по шинам, электродинамические силы значительно возрастают и на шины оказываются значительные механические усилия (до нескольких тонн).

Электродинамическая сила, действующая на шину (Н), определяется выражением

$$F_{\max} = K \cdot K_{\phi} \cdot i_{\text{уд}}^2 \frac{l}{a} 10^{-7}, \quad (9.15)$$

где  $K$  — коэффициент, зависящий от вида к. з. электрической сети и принимающий следующие значения:

- 1,76 — для 3-фазного к. з. в электрической системе переменного тока (как правило, выбирается это значение как для наиболее тяжелого случая);
- 2,04 — для 2-фазного к. з. в электрической системе переменного тока;

$K_{\phi}$  — коэффициент формы сечения шин, определяемый по кривым Двайта (рис. 9.2); кривая для определения  $K_{\phi}$  выбирается из соотношения  $b/h$ ;  $i_{уд}$  — максимальное ударное значение тока к. з., протекающего по шинам, А;  $l$  — расстояние между опорами (изоляторами) шин, см;  $a$  — расстояние между центрами соседних фаз, см.

Далее рассчитывается наибольший изгибающий момент:

— для шин, расположенных на изоляторах ребром:

$$M = \frac{F_{\max} \cdot l}{10}, \text{ Н} \cdot \text{см}; \quad (9.16)$$

— для шин, расположенных на изоляторах плашмя:

$$M = \frac{F_{\max} \cdot l}{8}, \text{ Н} \cdot \text{см}. \quad (9.17)$$

Рассчитывается момент сопротивления для прямоугольного сечения шин:

— для шин, расположенных на изоляторах ребром ( $h$  и  $b$  — размеры шин):

$$W = \frac{1}{6} h \cdot b^2, \text{ см}^3; \quad (9.18)$$

— для шин, расположенных на изоляторах плашмя:

$$W = \frac{1}{6} h^2 \cdot b, \text{ см}^3. \quad (9.19)$$

По наибольшему изгибающему моменту  $M$ , возникающему при протекании по шинам максимального ударного тока к. з.  $i_{уд}$ , и моменту сопротивления  $W$  определяется расчетное значение механического напряжения шин  $\sigma_{расч}$  и сравнивается с предельно допустимым  $\sigma_{доп}$  для данного материала ( $\sigma_{расч}$  должно быть не больше, чем  $\sigma_{доп}$ ):

$$\sigma_{расч} = \frac{M}{W} \leq \sigma_{доп}. \quad (9.20)$$

Для меди  $\sigma_{доп} = 14\,000 \text{ Н/см}^2$ , для алюминия  $\sigma_{доп} = 7000 \text{ Н/см}^2$ .

## Глава 10. ВЫБОР АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 КВ

### 10.1. Требования к аппаратам защиты

Аппаратом защиты называется аппарат, автоматически отключающий защищаемую электрическую цепь при аномальных режимах работы. Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока (к. з.) в начале защищаемого участка электрической сети.

ПУЭ, 6 изд.: Допускается установка аппаратов защиты, нестойких к максимальным значениям тока к. з., а также выбранных по значению одноразовой предельной коммутационной способности, если защищающий их групповой аппарат или ближайший аппарат, расположенный к источнику питания, обеспечивает мгновенное отключение тока к. з., для чего необходимо, чтобы ток уставки мгновенно действующего расцепителя (ток отсечки) указанных аппаратов был меньше тока одноразовой коммутационной способности каждого из группы нестойких аппаратов, и если такое неселективное отключение всей группы аппаратов не грозит аварией, порчей дорогостоящего оборудования и материалов или расстройством сложного технологического процесса.

Номинальные токи плавких вставок предохранителей и токи уставок автоматических выключателей, служащих для защиты отдельных участков сети, во всех случаях следует выбирать наименьшими по расчетным токам этих участков или по номинальным токам электроприемников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали электроустановки при кратковременных перегрузках (например, при возникновении пусковых токов, пиков технологических нагрузок и т. д.).

В качестве аппаратов защиты применяются плавкие предохранители или автоматические воздушные выключатели со встроенными тепловыми (для защиты от перегрузок) и электромагнитными (для защиты от токов короткого замыкания) расцепителями. Автоматические выключатели могут выполняться с комбинированными расцепителями, обеспечивающими защиту от токов к. з. и перегрузки.

В соответствии с ПУЭ все электрические сети делятся на две группы:

- защищаемые от перегрузки и токов к. з.;
- защищаемые только от токов к. з.

Защите от перегрузки подлежат следующие сети внутри помещений:

- выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией;
- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюгов, чайников, плиток, комнатных холодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т. д.), а также в пожароопасных зонах;
- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях — в случае, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;
- сети всех видов во взрывоопасных зонах.

Все остальные сети защищаются только от токов к. з.

Защита от токов к. з. электрических сетей должна обеспечивать наименьшее время отключения и требования селективности.



Защита должна обеспечивать отключение поврежденного участка при к. з. в конце защищаемой линии: одно-, двух- и трехфазных — в сетях с глухозаземленной нейтралью; двух- и трехфазных — в сетях с изолированной нейтралью.

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения питания для системы TN не должно превышать следующих значений:

Таблица 10.1

**Наибольшее допустимое время  
защитного автоматического отключения питания  
для системы TN**

Напряжение фазное ( $U_{\text{ф}}$ ), В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
> 380	0,1

## 10.2. Места установки аппаратов защиты

Аппараты защиты следует располагать в доступных для обслуживания местах таким образом, чтобы была исключена возможность их механических повреждений. Их установка их должна быть выполнена таким образом, чтобы при оперировании с ними или при их действии были исключены опасность для обслуживающего персонала и возможность повреждения окружающих предметов.

Аппараты защиты должны устанавливаться, как правило, в местах сети, где сечение проводника уменьшается (по направлению к месту потребления электроэнергии) или где это необходимо для обеспечения чувствительности и селективности защиты.

Аппараты защиты должны устанавливаться непосредственно в местах присоединения защищаемых проводников к питающей линии.

При защите сетей предохранителями последние должны устанавливаться на всех нормально незаземленных полюсах или фазах. Установка предохранителей в нулевых рабочих проводниках запрещается.

При защите сетей с глухозаземленной нейтралью автоматическими выключателями их расцепители должны устанавливаться также во всех нормально незаземленных проводниках. В нулевых проводниках расцепители допускается устанавливать лишь при условии, что при их срабатывании отключаются от сети одновременно все проводники, находящиеся под напряжением.

### 10.3. Выбор автоматических выключателей

Определение типа и характеристик автоматических выключателей производится по следующим параметрам:

- по напряжению установки  $U_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}$ ;
- по роду тока и номинальному току расцепителя  $I_{\text{р}} \leq I_{\text{н.р}}$ ;
- по номинальному току автомата  $I_{\text{а}} \geq I_{\text{н.р}}$ ;
- по коммутационной способности  $I_{\text{п.0}} (I_{\text{п.01}}) \leq I_{\text{откл.}}$ ;
- по электродинамической стойкости  $i_{\text{дин}} > i_{\text{у}}^{(3)}$ ;

где:

- $U_{\text{уст}}$  — напряжение на установке, В;
- $U_{\text{н}}$  — номинальное напряжение автомата, В;
- $I_{\text{р}}$  — рабочий ток установки (рабочий ток приемников или линии), А;
- $I_{\text{н.р}}$  — номинальный ток расцепителя автомата, А (в литературе может обозначаться как  $I_{\text{н}}$ );
- $I_{\text{а}}$  — номинальный ток автомата, А;
- $I_{\text{п.0}}$  — начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного к. з., кА;
- $I_{\text{п.01}}$  — начальное действующее значение периодической составляющей тока однофазного к. з., кА;
- $I_{\text{откл}}$  — предельный ток, отключаемый автоматом (предельная отключающая (коммутационная) способность), кА;
- $i_{\text{дин}}$  — ток электродинамической стойкости автомата, кА;
- $i_{\text{у}}^{(3)}$  — значение ударного тока трехфазного к. з., кА.

После предварительного выбора типа автомата, соответствующего указанным выше параметрам, производится выбор уставок автомата.

#### А. Номинальный ток теплового расцепителя.

Номинальный ток теплового расцепителя, защищающего от перегрузки, выбирается только по длительному расчетному току линии

$$I_{\text{т}} \geq I_{\text{дл.}} \quad (10.1)$$

#### Б. Номинальный ток электромагнитного или комбинированного расцепителя.

Номинальный ток электромагнитного или комбинированного расцепителя автоматических выключателей выбирается также по длительному расчетному току линии

$$I_{\text{эл}} \geq I_{\text{дл.}} \quad (10.2)$$

#### В. Проверка выбранного расцепителя (для данного типа автомата) на срабатывание при возникновении пикового тока.

Данная проверка производится для того, чтобы исключить срабатывание автомата при возникновении кратковременных токов перегрузки (пиковых токов). Например, при пуске электродвигателя.

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя или комбинированного расцепителя  $I_{\text{ср.эл}}$  проверяется по максимальному кратковременному пиковому току линии

$$I_{\text{ср.эл}} \geq I_{\text{пик}} k. \quad (10.3)$$

Коэффициент  $k$  учитывает неточность в определении пикового тока и разброс характеристик электромагнитных расцепителей автоматов. При отсутствии заводских данных для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А кратность  $k$  пикового тока относительно уставки следует принимать не менее 1,4 ( $k$  принимают 1,4). Для автоматических выключателей с номинальным током более 100 А — не менее 1,25 ( $k \geq 1,25$ ), если выбран автомат с электромагнитным расцепителем. Коэффициент  $k \geq 3$ , если выбран автомат с обратозависимой от тока характеристикой.

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя или комбинированного расцепителя  $I_{\text{ср.эл}}$  может быть задан конкретным значением в технической документации, либо определен в соответствии с типом время-токовой характеристики отключения. Основные типы время-токовых характеристик отключения автоматических выключателей показаны на рис. 10.1.

Для осуществления проверки необходимо определить величину пикового тока защищаемой линии, к которой подключены электроприемники.

Пиковый ток ответвления, идущего к одиночному двигателю, равен его пусковому току  $I_{\text{пик}} = I_{\text{пус}}$ .

Пиковый ток линии, питающей группы электроприемников (не более трех), определяется из выражения:

$$I_{\text{пик}} = \sum I_{\text{н}} - I_{\text{н.б}}(1 - k'), \quad (10.4)$$

где  $\sum I_{\text{н}}$  — сумма номинальных токов всех двигателей группы;  $I_{\text{н.б}}$  — номинальный ток двигателя, имеющего наибольший пусковой ток;

$k' = \frac{I_{\text{пус}}}{I_{\text{н.б}}}$  — кратность пускового тока двигателя, имеющего наибольший

пусковой ток.

Пиковый ток линии, питающей группу токоприемников (более трех), определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{р}} + k' \cdot I_{\text{н.б}} - I_{\text{н.б}} \frac{I_{\text{р}}}{\sum I_{\text{н}}}, \quad (10.5)$$

где  $I_{\text{р}}$  — расчетный ток линии, А;  $I_{\text{н.б}}$ ,  $k'$  — номинальный ток и кратность пускового тока двигателя, имеющего наибольший пусковой ток;  $\sum I_{\text{н}}$  — сумма номинальных токов всех двигателей группы.

Если автоматы установлены в закрытых шкафах, номинальный ток автомата, теплового или комбинированного расцепителя уменьшается до 85 % номинальных значений, указанных в каталогах. Технические данные автоматов приведены в табл. 10.2–10.5.

Таблица 10.2

**Технические данные автоматических выключателей серии АЗ000**

Тип	Номинальный ток, А	Напряжение, В	Число полюсов	Ток уставки расцепителя, А	Предельная отключающая способность, кА
A3160	50	110, 220	1, 2, 3	15–50	2,5–4,5
A3110	100	220	2, 3	15–100	2,5–10
A3120	200	220	2, 3	15–100	18
A3130	200	220	2, 3	100–200	14–25
A3140	600	220	2, 3	250–600	32–40
A3710Б–3740Б	160–630	440 660	2, 3	—	40–60

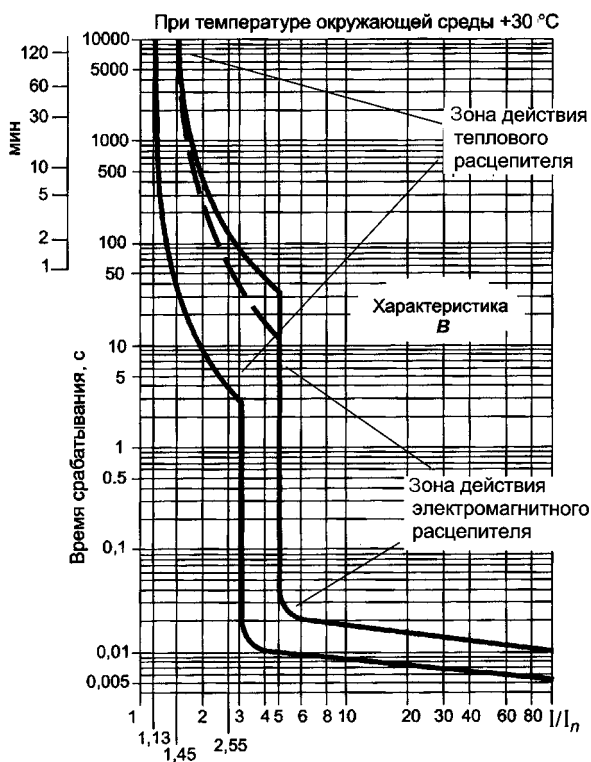


Рис. 10.1, а. Времятоковая характеристика отключения типа В

**Технические данные**  
**автоматических выключателей серии АЕ, АК, АП, А, АС**

Ток	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Число полюсов	Ток ставки, А	Предельная отключающая способность, кА
АК-63	63	200-400	2, 3	0,63-63	9
АК-50	50	320-400	2, 3	2-50	9
АП-50	50	220-500	2, 3	1,6-50	0,3-2
А-63	25	110-220	1	0,63-25	2,5
АЕ-1000	25	240	1	6-25	1,5
АЕ-2000	23, 63, 100	220-500	1, 2, 3	—	16
АС-25	25	220-380	2, 3	1-20	2

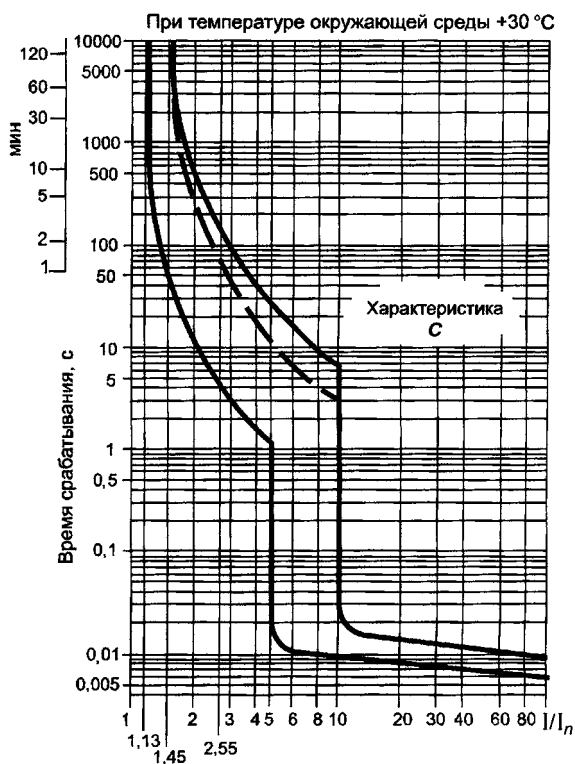


Рис. 10.1, б. Времятоковая характеристика отключения типа С

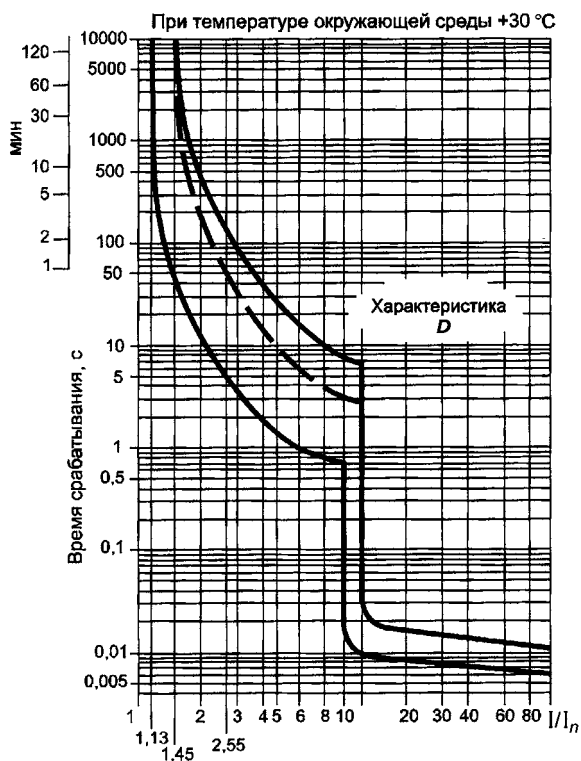


Рис. 10.1, в. Времятоковая характеристика отключения типа D

Таблица 10.4

**Технические данные автоматических выключателей  
серии ВА 47–29, ВА 47–100 (модульных)**

Технические характеристики	ВА 47–29	ВА 47–100
Номинальное напряжение $U_N$ , В	~ 230/400	~ 230/400
Номинальная частота тока сети, Гц	50	50
Номинальные токи расцепителей $I_{н.р.}$ , А	0,5; 1,6; 2,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	10; 16; 25; 32; 35; 40; 50; 63; 80; 100
Предельная отключающая способность, кА	4,5	10
Напряжение постоянного тока на один полюс, не более, В	48	60
Электрическая износостойкость, циклов включения/отключения (В/О), не менее	6000	6000

Технические характеристики	ВА 47–29	ВА 47–100
Механическая износостойкость, циклов В/О, не менее	20 000	20 000
Число полюсов	1, 2, 3, 4	1, 2, 3, 4
Степень защиты по ГОСТ 14254–96	IP20	IP20
Максимальное сечение провода, присоединяемого к зажимам, мм <sup>2</sup>	25	35
Характеристика теплового расцепителя	По ГОСТ Р 50345–99	По ГОСТ Р 50345–99
Характеристика срабатывания электромагнитного расцепителя	$B, C, D, t_{cp} < 0,1 \text{ с}$	$C \text{ и } D, t_{cp} < 0,1 \text{ с}$
Диапазон рабочих температур, °C	– 40 ч + 50	– 40 ч + 50
Масса одного полюса, не более, кг	0,103	0,156

Таблица 10.5

**Технические данные автоматических выключателей серии ВА 88**

Технические характеристики	ВА 88–32		ВА 88–33	ВА 88–35	ВА 88–37	ВА 88–40	ВА 88–43
Номинальное напряжение $U_n$ , В	~ 400						
Номинальная частота тока сети, Гц	50						
Максимальный номинальный ток (номинальный ток автомата) $I_{max \text{ н}} (I_{н.а})$ , А	125		160	250	400	800	1600
Номинальный ток расцепителя (теплового), $I_{н.р}$ , А	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	50; 63; 80; 100; 125	16; 20; 25 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	125; 160; 200; 250	250; 315; 400	400; 500; 630; 800	800; 1000; 1250; 1600
Уставка по току срабатывания эл.-маг. расцепителя	500 А	10 $I_{н.р}$	10 $I_{н.р}$	10 $I_{н.р}$	10 $I_{н.р}$	10 $I_{н.р}$	Регулир.
Номинальная рабочая отключающая способность $I_{cs}$ , кА	12,5		17,5	25	35	35	50
Номинальная предельная наибольшая отключающая способность $I_{cn}$ , кА	25		35	35	35	35	50

Технические характеристики	ВА 88–32	ВА 88–33	ВА 88–35	ВА 88–37	ВА 88–40	ВА 88–43
Механическая износостойкость, циклов В/О, не менее	8500	7000	7000	4000	4000	2500
Электрическая износостойкость, циклов В/О, не менее	1500	1000	1000	1000	1000	500
Степень защиты по ГОСТ 14254–96	IP00 (по контактным зажимам)					

## 10.4. Выбор предохранителей

Предохранитель — это коммутационный аппарат, предназначенный для отключения защищаемой цепи разрушением специально предусмотренных для этого токоведущих частей под действием тока, превышающего определенное значение. В большинстве предохранителей отключение цепи происходит за счет расплавления плавкой вставки, которая нагревается проходящим через нее током защищаемой цепи. После отключения цепи необходимо заменить перегоревшую вставку на исправную (стандартную).

Выбор предохранителей производится:

- по напряжению  $U_{уст} \leq U_n$ ;
- по току предохранителя (основания)  $I_p \leq I_n$ ;
- по току отключения  $I_{п0} (I_{п01}) \leq I_{н.о.}$ , где  $I_{н.о.}$  — номинальный ток отключения, кА (табл. 10.6);  $I_{п0} (I_{п01})$  — трех- и однофазный токи короткого замыкания, кА.

Номинальный ток плавкой вставки для инерционных предохранителей определяется только по длительному расчетному току линии.

Номинальный ток плавкой вставки для безынерционных предохранителей должен удовлетворять двум условиям:  $I_{вст} \geq I_p$ ;  $I_{вст} \geq \frac{I_{пик}}{k}$ .

Коэффициент  $k$  выбирается в зависимости от длительности прохождения пикового тока и колеблется в пределах 1,6–2,5.

При длительности пуска до 8 с принимается  $k = 2,5$ ; при более длительных пусах —  $k = 1,6–2$ .

При защите двигателя ответственных механизмов ток плавкой вставки равен  $I_{вст} = \frac{I_{пик}}{1,6}$  независимо от условий пуска электродвигателя. Номинальный ток плавкой вставки для защиты ответвления к сварочному аппарату  $I_{вст} = 1,2 \cdot I_{св} \cdot \sqrt{ПВ}$ , где  $I_{св}$  — номинальный ток сварочного аппарата при номинальной продолжительности включения ПВ.

Технические данные некоторых предохранителей приведены в табл. 10.6.



Перегоревшие плавкие вставки следует заменить запасными заводской калибровки. Если таких нет, их можно временно заменить заранее подготовленными проволочками, рассчитанными на определенный ток (по данным табл. 10.7, 10.8)

Таблица 10.6

**Технические данные предохранителей  
с закрытыми патронами до 1000 В**

Тип	Номинальное напряжение, В	Номинальный ток, А		Предельный ток отключения, кА	
		предохранителя	плавкой вставки	~380 В	–220 В
НПН2–60	500	60	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60	10	—
ПН2–100	~380	100	30, 40, 50, 80, 100	100	100
ПН2–250		250	80, 100, 120, 150, 200, 250	100	100
ПН2–400	–220	400	200, 250, 315, 355, 400	40	60
ПН2–600		600	300, 400, 500, 600	25	40
ПР–2	~220	15	6, 10, 15	8	—
	–400	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	4,5	—
		100	60, 80, 100	—	—
ПР–2	~500	200	100, 125, 160, 200	11	10
	–400	350	200, 225, 260, 300, 350	13	11
		600	350, 430, 500, 600	23	20
	~380	1000	600, 700, 850, 1000	20	20

Таблица 10.7

**Выбор диаметра проволоки  
для плавких вставок предохранителя ПР-2**

Номинальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки, А	Диаметр проволоки, мм	Число параллельно включенных проволок
15	6	0,25	1
	10	0,35	1
60	15	0,45	1
	20	0,55	1
	25	0,6	1
	35	0,75	1
	45	0,9	1
	60	1	1
100	80	0,8	2
	100	1	2
200	125	1,1	2
	160	0,9	3
350	200	1,15	3
	300	1,2	4
	350	1,3	4

Таблица 10.8

**Выбор диаметра проволоки для плавких вставок  
предохранителей пробочного типа\***

Номинальный ток, А	свинец		медь		Номинальный ток, А	свинец		медь	
	число проволоки	диаметр проволоки, мм	число проволоки	диаметр проволоки, мм		число проволоки	диаметр проволоки, мм	число проволоки	диаметр проволоки, мм
4	1	0,6	1	0,1	25	1	2,2	2	0,3
6	1	0,9	1	0,15	35	2	2,2	3	0,3
10	1	0,2	1	0,2	50	—	—	5	0,3
15	1	1,6	1	0,3	60	—	—	7	0,3
20	1	1,8	2	0,2	—	—	—	—	—

\* Активная длина вставки около 60 мм.

## 10.5. Выбор устройств защитного отключения

### Общие положения

Устройства защитного отключения (УЗО), реагирующие на дифференциальный ток, наряду с устройствами защиты от токов к. з. и перегрузки, относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения электрическим током при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания. В основе действия УЗО как электрозащитного средства лежит принцип ограничения (за счет быстрого отключения) продолжительности протекания тока через тело человека при непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением. Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на разницу токов (дифференциальный ток) в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой установке.

УЗО применяется для комплектации вводно-распределительных устройств (ВРУ), распределительных щитов (РЩ), групповых щитков (квартирных и этажных), а также для защиты отдельных потребителей электроэнергии.

Областью применения УЗО являются электроустановки жилых и общественных зданий, административных зданий и производственных помещений, промышленных предприятий. Исключение составляют электроустановки, не допускающие по технологическим причинам перебива в электроснабжении.

## Виды устройств защитного отключения

По техническому исполнению существующие виды УЗО классифицируются следующим образом.

По назначению:

- без встроенной защиты от сверхтоков;
- со встроенной защитой от сверхтоков.

По условию зависимости от напряжения:

- функционально не зависящие от напряжения;
- функционально зависящие от напряжения.

По положению силовых контактов и сохранению защитных функций при отсутствии напряжения:

- автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения и замыкающиеся при восстановлении напряжения;
- автоматически размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения и не замыкающие при восстановлении напряжения;
- устройства, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения, но сохраняющие свои защитные функции, т. е. способность разомкнуть силовую цепь при протекании дифференциального тока;
- устройства, не размыкающие силовые контакты при исчезновении напряжения и теряющие защитные функции, т. е. неспособные произвести отключение при протекании дифференциального тока.

По способу установки:

- для стационарной установки при неподвижной электропроводке;
- для подвижной установки (переносного типа) и шнурового присоединения.

По числу полюсов и токовых путей:

- двухполюсные с двумя защищенными полюсами;
- четырехполюсные с четырьмя защищенными полюсами.

По условию функционирования при наличии составляющей постоянного тока:

- типа АС, реагирующие на переменный синусоидальный дифференциальный ток: медленно нарастающий, либо возникающие скачком;
- типа А, реагирующие как на переменный синусоидальный дифференциальный ток, так и на пульсирующий постоянный дифференциальный ток, которые медленно нарастают, либо возникают скачком;
- типа В, реагирующие на дифференциальные токи: синусоидальный переменный, пульсирующий постоянный, пульсирующий постоянный с наложенной сглаженной пульсацией постоянного тока значением 0,006 А, медленно нарастающие, либо возникающие скачком.

По наличию задержки по времени:

- без выдержки времени — тип общего применения;
- с выдержкой времени — типы S и G (селективные).

По характеристике мгновенного расцепления (для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков): типа B, C и D.

Принципиальное значение при рассмотрении конструкции УЗО имеет разделение устройств по условию зависимости от напряжения на следующие типы:

- функционально не зависящие от напряжения питания (электро-механические). Источником энергии, необходимой для функционирования, т. е. выполнения защитных функций, включая операцию отключения, для устройства является сам сигнал — дифференциальный ток, на который оно реагирует;
- функционально зависящие от напряжения питания (электронные), механизм которых для выполнения операции отключения нуждается в энергии, получаемой либо от контролируемой цепи, либо от внешнего источника.

Применение устройств, функционально зависящих от напряжения питания, ограничено. Основной причиной меньшего распространения таких устройств является их неработоспособность при часто встречающейся и наиболее опасной по условиям вероятности электропоражения неисправности электроустановки, а именно: при обрыве нулевого проводника в цепи до УЗО по направлению к источнику питания. В этом случае «электронное» УЗО, не имея питания, не функционирует, а на электроустановку по фазному проводнику выносится опасный для жизни человека потенциал. Другими причинами являются малая надежность, большая подверженность электронных схем воздействию внешних факторов: электромагнитных полей, импульсов тока и др.

Напротив, электромеханические устройства в рассмотренном аварийном режиме сохраняют работоспособность и при возникновении тока утечки, вызванного прикосновением человека, размыкают электрическую цепь и обеспечивают надежную защиту от поражения электрическим током.

## Технические параметры устройств защитного отключения

К рабочим характеристикам УЗО относятся: номинальное напряжение, номинальный ток, номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка по току утечки).

*Номинальное напряжение УЗО  $U_n$*  (здесь и до конца главы обозначения индексов соответствуют международным) — это напряжение, установленное изготовителем для заданных условий эксплуатации, при котором обеспечивается работоспособность устройства. Допустимо применение четырехполюсных УЗО в режиме двухполюсных, т. е. в однофазной цепи, при условии, что изготовитель обеспечивает нормаль-

ное функционирование цепи эксплуатационного контроля (кнопки «Т») при этом напряжении. Нормами установлен также диапазон напряжений, в котором УЗО должно сохранять работоспособность, что имеет принципиальное значение для УЗО, функционально зависимых от напряжения питания. Функционально независимые от напряжения питания (электрохимические) устройства сохраняют работоспособность при любых значениях напряжения и даже при отсутствии напряжения, например при обрыве нулевого проводника.

*Номинальное напряжение изоляции  $U_i$*  — это установленное изготовителем значение напряжения, при котором производится испытание изоляции УЗО. При отсутствии других указаний значение номинального напряжения изоляции есть не что иное, как максимальное значение номинального напряжения. УЗО.

*Номинальный ток  $I_n$*  — это указанный изготовителем ток, который УЗО может проводить в продолжительном режиме работы при установленной контрольной температуре окружающего воздуха. Для УЗО со встроенной защитой от сверхтока (так называемые дифференциальные автоматы) номинальный ток — это еще и номинальный ток входящего в состав УЗО автоматического выключателя, значение которого используется для определения расчетным путем или по диаграммам времени отключения при сверхтоках.

Продолжительный режим работы означает непрерывную эксплуатацию устройства в течение длительного периода времени. В качестве стандартной контрольной температуры окружающего воздуха принято 30 °С.

Номинальный ток УЗО выбирается из ряда: 10, 16, 20, 25, 32, 40, 63, 80, 100, 125 А (для УЗО со встроенной защитой от сверхтока дополнительно введены значения 6 и 8 А). Поскольку УЗО должно быть защищено последовательным защитным устройством (ПЗУ, которым является автоматический выключатель), номинальный ток УЗО должен быть скоординирован с номинальным током ПЗУ. Для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков ПЗУ не требуется.

Номинальный ток УЗО следует выбирать равным или на ступень больше номинального тока ПЗУ. Однако в практическом проектировании рекомендуется выбирать ток УЗО на ступень выше номинального тока последовательного защитного устройства (табл. 10.9). Такие требования предъявляются и в некоторых зарубежных нормативных документах.

Таблица 10.9

**Соотношение номинальных токов нагрузки ПЗУ и УЗО**

Устройство	Номинальный ток нагрузки, А						
ПЗУ	10	16	25	40	63	80	100
УЗО	16	25	40	63	80	100	125

Целесообразность такого требования можно объяснить простым примером. Если УЗО и автоматический выключатель имеют равные номинальные токи, то при протекании рабочего тока, превышающего номинальный, например, на 45%, т. е. тока перегрузки, этот ток будет отключен автоматическим выключателем по истечении времени длительностью до одного часа. Таким образом, в течение этого времени УЗО будет работать с перегрузкой по току.

Данный недостаток присущ и для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков, имеющих один общий (для УЗО и для встроенного автоматического выключателя) параметр — номинальный ток нагрузки.

Номинальная частота  $f_n$  — промышленная частота, на которую рассчитано УЗО и которой соответствуют значения других характеристик. Существуют специальные УЗО, рассчитанные на определенный диапазон частот.

Номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n}$  — это значение отключающего дифференциального тока, указанное изготовителем, при котором УЗО должно срабатывать при заданных условиях. В отечественной электротехнической применяется термин «уставка». Применительно к УЗО номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) УЗО выбирается из следующего ряда: 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА. На практике номинальный отключающий дифференциальный ток УЗО для каждого конкретного случая выбирают с учетом следующих факторов:

- значения существующего в данной электроустановке суммарного (с учетом подключаемых стационарных и переносных электроприемников) тока утечки на землю, так называемого «фонового тока утечки»;
- значения допустимого для человека тока на основе критериев электробезопасности;
- реальное значение отключающего дифференциального тока УЗО, которое находится в диапазоне от  $0,5 I_{\Delta n}$  до  $I_{\Delta n}$ .

Согласно требованиям ПУЭ номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО должен не менее чем в три раза превышать суммарный ток утечки  $I_{\Delta}$  защищаемой цепи электроустановки, т. е.  $I_{\Delta n} \geq 3 I_{\Delta}$ .

При отсутствии фактических (измеренных) значений тока утечки в электроустановке ПУЭ предписывается принимать ток утечки электроприемников из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки цепи из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника.

Рекомендуемые значения номинального отключающего дифференциального тока УЗО для диапазона номинальных токов 16–100 А приведены в табл. 10.10.

В некоторых случаях для определенных потребителей значения отключающего дифференциального тока УЗО задаются нормативными документами:

Таблица 10.10

**Рекомендуемые значения номинального отключающего дифференциального тока УЗО различного назначения**

Номинальный отключающий дифференциальный ток, ма					
Режим работы УЗО	Номинальный ток в зоне защиты, А				
	16	25	40	63	80–100
Работа в зоне защиты одиночного потребителя	10	30	30	30	100
Работа в зоне защиты группы потребителей	30	30	30 (100)	100	300
УЗО противопожарного назначения	300	300	300	300	500

- для сантехнических кабин, ванных и душевых используются УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 10 мА, если для них выделена отдельная линия;
- в остальных случаях (например, при использовании одной линии для сантехнической кабины, кухни и коридора) допускается использовать УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА;
- в индивидуальных жилых домах для групповых цепей, питающих штепсельные розетки внутри дома, включая подвалы, встроенные и пристроенные гаражи, а также в групповых сетях, питающих ванные комнаты, душевые и сауны, используются УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА;
- для наружных штепсельных розеток используются УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА.

Для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленные части на вводе в квартиру, индивидуальный дом и т. п. ПУЭ рекомендует использовать УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током до 300 мА. Штепсельные розетки строительных площадок должны быть защищены путем использования УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. Для предупреждения возгораний и пожаров электрическая цепь должна быть защищена УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током, не превышающим 0,5 А.

Как указывалось ранее, УЗО типа АС реагирует на переменный синусоидальный дифференциальный ток, а типа А — на переменный синусоидальный дифференциальный ток и пульсирующий постоянный дифференциальный ток. Действующие в настоящее время указания предписывают в электроустановках жилых зданий применять, как правило, УЗО типа А. Использование УЗО типа АС допускается в обоснованных случаях. Связано это с появлением большого числа электроприборов с бестрансформаторным питанием. Практически все персональные компьютеры,

телевизоры, видеомагнитофоны снабжены импульсными блоками питания. Все последние модели электроинструментов, стиральных и швейных машин, бытовых кухонных электроприборов имеют встроенные тиристорные регуляторы мощности без разделительного трансформатора. Это означает, что вероятность возникновения утечки пульсирующего постоянного тока и, соответственно, поражения человека током значительно возросла, что и явилось основанием для внедрения в широкую практику УЗО типа А. В европейских странах в соответствии с требованиями новых электротехнических норм ведется планомерная замена УЗО типа АС на более современные типа А.

УЗО типа В распространено крайне мало. Его применяют в специальных промышленных электроустановках со смешанным питанием — переменным и постоянным токами.

*Номинальный неотключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n0}$*  — это значение дифференциального тока, указанное изготовителем, при котором УЗО не срабатывает при заданных условиях. Номинальный неотключающий синусоидальный дифференциальный ток УЗО равен половине значения номинального отключающего дифференциального тока, т. е.  $I_{\Delta n0} = 0,5I_{\Delta n}$ .

*Номинальное время отключения УЗО* — это промежуток времени между моментом внезапного появления отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах УЗО.

*Номинальное предельное время неотключения (несрабатывания)* — для УЗО типа S это максимальный промежуток времени с момента возникновения в главной цепи УЗО отключающего дифференциального тока до момента трогания размыкающихся контактов. Предельное время неотключения является выдержкой времени, позволяющей достичь селективности действия УЗО при работе в многоуровневых системах защиты.

Временные характеристики УЗО приведены в табл. 10.11.

Таблица 10.11

### Временные характеристики УЗО

Тип УЗО	$I_n$ , А	$I_{\Delta n}$ , А	Стандартные значения времени отключения и неотключения, с, при дифференциальном токе				Примечание
			$I_{\Delta n}$	$2I_{\Delta n}$	$5I_{\Delta n}$	500 А	
Общий	Любое значение		0,3	0,15	0,04	0,04	Максимальное время отключения
S	$\geq 25$	$> 0,03$	0,5	0,2	0,15	0,15	
			0,13	0,06	0,05	0,04	Предельное время неотключения

Данные табл. 10.11 показывают, что предельно допустимое время отключения УЗО составляет 0,3 с (для УЗО типа S — 0,5 с). В действительности современные качественные электромеханические УЗО имеют



быстродействие 20–30 мс. Это означает, что УЗО является «быстрым» выключателем, поэтому на практике часто происходит так, что УЗО реагирует на ток замыкания на землю, сопутствующий к. з., и размыкает цепь раньше аппарата защиты от сверхтоков и отключает как токи нагрузки, так и сверхтоки.

*Предельное значение сверхтока неотключения  $I_{nm}$*  характеризует способность УЗО не реагировать на симметричные токи к. з. и перегрузки (до определенного значения) и является важным показателем качества устройства.

При протекании сверхтока через главную цепь УЗО возможно его срабатывание даже при отсутствии в данной цепи дифференциального тока — происходит так называемое «ложное» отключение УЗО. Причиной ошибочного срабатывания является появление во вторичной обмотке дифференциального трансформатора тока небаланса, превышающего заданное значение порогового устройства УЗО. ГОСТ Р 51326.1–99 устанавливает предельное значение сверхтока, протекающего через главную цепь УЗО, не вызывающего его автоматического срабатывания при условии отсутствия в его цепи дифференциального тока. Это значение равно  $6 I_n$ .

Для УЗО с защитой от сверхтоков данный параметр имеет другой смысл, поскольку сверхток отключается встроенным в УЗО автоматическим выключателем. Данный параметр равен 0,8 от значения нижнего предела соответствующих характеристик мгновенного расцепления (типов  $B — 2,4I_n$ ,  $C — 4I_n$  и  $D — 8I_n$ ).

*Номинальная включающая и отключающая (коммутационная) способность  $I_m$*  является одной из важнейших характеристик УЗО, определяющей его качество и надежность. Согласно ГОСТ Р 51326.1–99 номинальная наибольшая включающая и отключающая способность — это среднеквадратичное значение переменной составляющей ожидаемого тока, указанное изготовителем, которое УЗО способно включать, проводить и отключать при заданных условиях (при наличии в главной цепи УЗО отключающего дифференциального тока). Так  $I_m$  должен быть не менее  $10 I_n$  или 500 А (берется большее значение).

*Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току  $I_{\Delta m}$*  — параметр, характеризующий надежность УЗО. Согласно ГОСТ Р 51326.1–99 номинальная наибольшая дифференциальная включающая и отключающая способность  $I_{\Delta m}$  — это среднеквадратичное значение переменной составляющей ожидаемого дифференциального тока, указанное изготовителем, которое УЗО способно включать, проводить и отключать при заданных условиях. Минимальное значение номинальной наибольшей дифференциальной включающей и отключающей способности  $I_{\Delta m}$  составляет  $10 I_m$  или 500 А (выбирают большее значение).

*Номинальный условный ток к. з.  $I_{nc}$*  — важнейший параметр УЗО, характеризующий прежде всего качество изделия, а также надежность

и прочность устройства, качества исполнения его механизма и электрических соединений. Этот параметр еще называют «стойкостью к токам к. з.». ГОСТ Р 50807–95 для УЗО устанавливает минимально допустимое значение  $I_{nc}$  равное 3 кА.

*Номинальный условный дифференциальный ток к. з.  $I_{\Delta c}$*  — это параметр, который характеризует стойкость устройства к протеканию сверхтока по одному полюсу. Значения  $I_{\Delta c}$  стандартизированы и составляют 3000, 4500, 6000 и 10 000 А.

*Интеграл Джоуля  $I^2t$*  применительно к УЗО, в соответствии со стандартом, представляет собой кривую, дающую его максимальное значение как функцию ожидаемого тока в указанных условиях эксплуатации:

$$I^2t = \int_{t_0}^{t_1} t^2 dt. \quad (10.5)$$

Интеграл Джоуля пропорционален количеству энергии, пропущенной через УЗО при испытаниях на условный ток к. з. Эта энергетическая характеристика позволяет комплексно оценить стойкость устройства при прохождении через него определенного количества энергии, часть которой выделяется в конструкции УЗО в виде тепла, динамических усилий, приложенных к проводникам и изоляционным элементам устройства.

Интеграл Джоуля для УЗО со встроенной защитой от сверхтоков имеет несколько другой смысл. Данный параметр определен для встроенного устройства для защиты от сверхтоков — автоматического выключателя. В данном случае интеграл Джоуля представляет собой количество энергии, которую способен пропустить через себя автоматический выключатель до момента отключения тока к. з.

*Номинальная наибольшая коммутационная способность  $I_{cn}$*  для УЗО со встроенной защитой от сверхтока в соответствии с ГОСТ Р 51327.1–99 определяется как значение предельной наибольшей отключающей способности, указанной изготовителем. Стандартные значения номинальной наибольшей коммутационной способности равны 1500, 3000, 4500, 6000, 10 000 А.

*Рабочая наибольшая отключающая способность  $I_{cs}$*  УЗО с защитой от сверхтоков — это отключающая способность, для которой предписанные условия согласно указанному циклу испытаний предусматривают способность проводить в течение установленного времени ток, равный 0,85 тока нерасцепления.

Соотношение между рабочей  $I_{cs}$  и номинальной  $I_{cn}$  наибольшими коммутационными способностями согласно ГОСТ Р 51327.1–99 следующие:

- при  $I_{cn} = 6000$  А значение  $I_{cs} = I_{cn}$  ;
- при  $6000$  А <  $I_{cn}$  <  $10000$  А значение  $I_{cs} = 0,75 I_{cn}$ , но не менее 6000 А;
- при  $I_{cn} > 10000$  А значение  $I_{cs} = 0,5 I_{cn}$ , но не менее 7500 А.

В табл. 10.12 указаны технические характеристики УЗО типа ВД1–63.

Таблица 10.12

**Технические характеристики УЗО типа ВД1–63**

Технические характеристики	Двухполюсные	Четырех- полюсные
Номинальное напряжение $U_n$ , В	~ 230	~ 230/400
Номинальная частота тока сети, $f_n$ , Гц	50	50
Номинальный ток $I_n$ , А	16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	16, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100
Номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка) $I_{\Delta n}$ , ма	10, 30, 100, 300	30, 100, 300, 500
Число полюсов	2	4
Номинальный неотключающий дифференциальный ток	$0,5 I_{\Delta n}$	$0,5 I_{\Delta n}$
Номинальная наибольшая дифференциальная включающая и отключающая способность $I_{\Delta m}$ , А	800	800
Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания $I_{\Delta c}$ , А	3000	3000
Время отключения при номинальном дифференциальном токе $T_n$ , не более, мс	40	40
Электрическая износостойчивость, циклов включения-отключения, не менее	4000	4000
Механическая износостойчивость, циклов включения-отключения, не менее	10 000	10 000
Максимальное сечение провода, присоединяемого к силовым зажимам, мм <sup>2</sup>	50	50
Категория применения по ГОСТ Р 50030.1–2000	AC-22	AC-22
Диапазон рабочих температур, °С	–25...+40	–25...+40
Степень защиты по ГОСТ 14254–96	IP20	IP20

**Применение УЗО в электроустановках зданий**

Принятие решения о выборе конкретных типов УЗО и их технических характеристик для проектируемой электроустановки производится в соответствии с подходом, изложенным в п. «Выбор автоматических выключателей», при этом учитываются характеристики УЗО, указанные в предыдущем пункте.

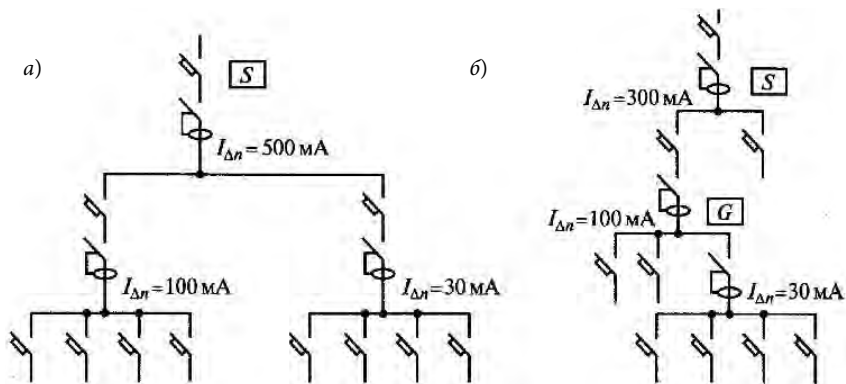


Рис. 10.2. Примеры схем с двумя (а) и тремя (б) уровнями селективности

При использовании нескольких УЗО в радиальных линиях должен выполняться принцип селективности по номинальному отключающему дифференциальному току  $I_{\Delta n}$ . При этом необходимо учитывать факторы, указанные ниже.

Из-за достаточно высокого быстродействия УЗО (20–30 мс) практически сложно обеспечить селективность действия УЗО по отключающему дифференциальному току при значениях уставок на соседних ступенях защиты, например, 10 и 30 мА или 30 и 100 мА. Необходимо также учитывать, что на практике утечка тока землю в электроустановке не обязательно плавно увеличивается по мере старения изоляции, появления мелких дефектов и т. д. Возможны пробой изоляции или ее серьезное повреждение, когда ток утечки мгновенно достигает значения, превышающего уставки устройств на обеих ступенях защиты. В этих условиях возможно срабатывание любого из УЗО, установленных последовательно в цепи.

Поэтому селективность работы УЗО должна быть обеспечена также отстройкой работы устройств по времени посредством установки на головных участках питающих сетей УЗО типа S или G (с задержкой срабатывания). УЗО типа S имеют выдержку времени от 0,13 до 0,5 с, а типа G — меньшую выдержку. Необходимо учесть, что УЗО, работающие с выдержкой по времени, находятся более долгое время под воздействием экстремальных токов, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по условному току короткого замыкания  $I_{nc}$ , термической и динамической стойкости, коммутационной способности и т. д.

Примеры схем с двумя и тремя уровнями селективности приведены на рис. 10.2.

На рис. 10.3 показан пример электроснабжения двухкомнатной квартиры повышенной комфортности.

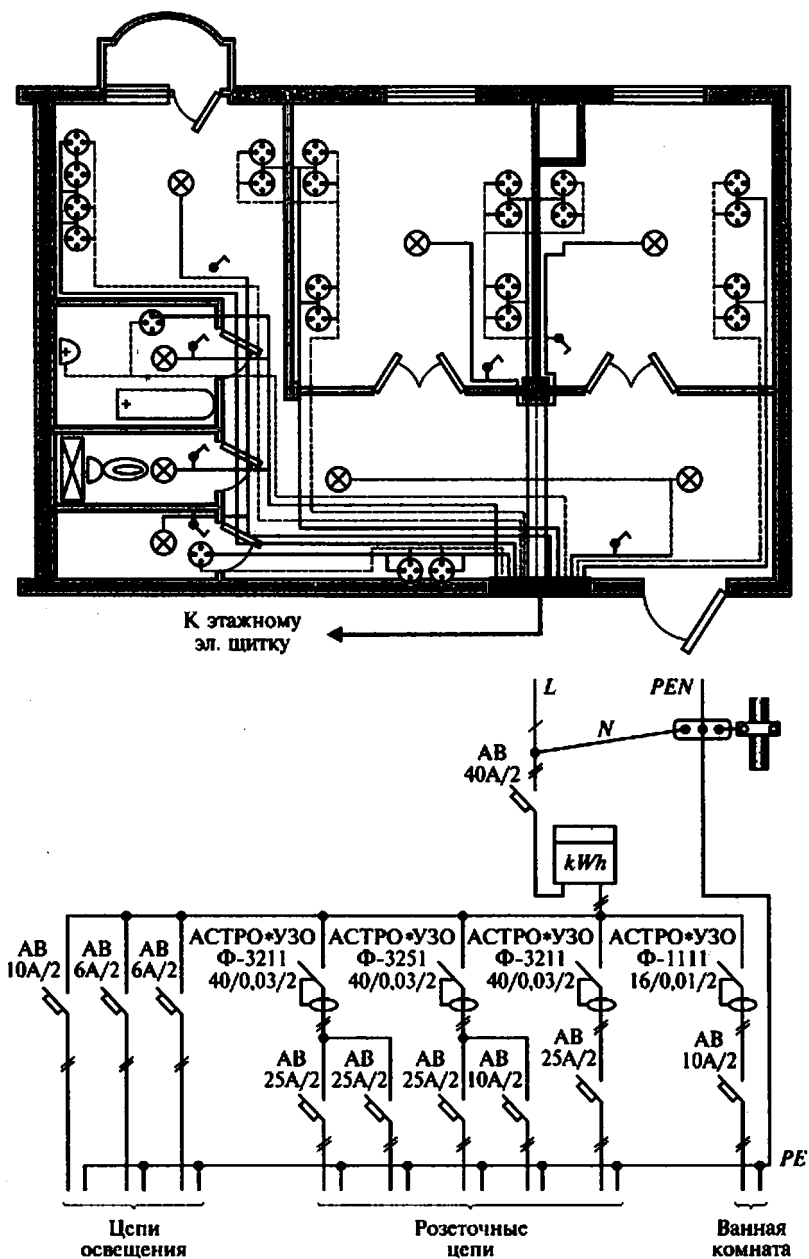


Рис. 10.3. Пример электроснабжения двухкомнатной квартиры повышенной комфортности

# Глава 11. РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

## 11.1. Практический расчет тока трехфазного короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания (к. з.) в системах электроснабжения напряжением до 1000 В требуется для проверки работы электроаппаратов и проводников в режиме сверхтоков, а также для проверки автоматического отключения линии в сетях до 1000 В с глухозаземленной нейтралью при возникновении замыкания на корпус.

В соответствии с ПУЭ по режиму короткого замыкания в электроустановках до 1000 В проверяются только распределительные щиты, токопроводы и силовые шкафы. Стойкими при токах короткого замыкания являются те аппараты и проводники, которые при расчетных условиях выдерживают воздействие этих токов, не подвергаясь электрическим, механическим или иным разрушениям. Для проверки коммутационной способности аппаратов и предохранителей используют начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного короткого замыкания  $I_{n0}$ , кА ( $t = 0$ ):

$$I_{n0} = \frac{U_{\text{ср. н}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}}, \quad (11.1)$$

где  $U_{\text{ср. н}}$  — среднее номинальное напряжение ступени, на которой находится точка короткого замыкания ( $U_{\text{ср. н}} = 690, 525, 400, 230, 127$  В);  $r_{\Sigma}$ ,  $x_{\Sigma}$  — суммарное активное и индуктивное сопротивления цепи короткого замыкания, мОм.

Схема замещения для расчета трехфазного короткого замыкания может быть представлена в виде (рис. 11.1, а) цепочки последовательно включенных сопротивлений, расположенных между точкой короткого замыкания и шинами высшего напряжения цехового трансформатора, на которых приложено среднее номинальное напряжение  $U_{\text{ср. н}}$ , приведенное ко вторичной обмотке трансформатора.

Рекомендуется при расчете тока короткого замыкания учитывать сопротивление  $x_c$  внешней системы, примыкающей к цеховому трансформатору, что дает некоторое уточнение при расчете электрически удаленных коротких замыканий за мощным цеховым трансформатором (1600, 2500 кВА) при относительно небольшой мощности системы, которая характеризуется током или мощностью короткого замыкания на шинах высшего напряжения цеховой подстанции. В частности, сопротивление системы учитывается, если  $S_c < 50S_n$ , где  $S_c$  — мощность системы,

$S_H$  — номинальная мощность трансформатора, за которым рассчитывается ток короткого замыкания. При этом схема замещения принимает вид (рис 11.1, б).

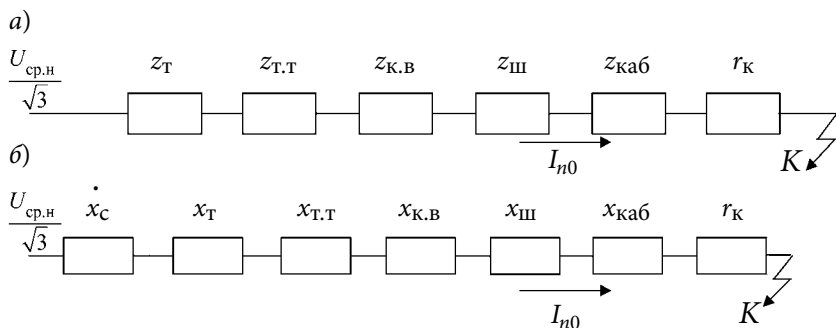


Рис. 11.1. Схема замещения для расчета трехфазного короткого замыкания

В соответствии с рис. 11.1, а активные и индуктивные сопротивления короткозамкнутой цепи определяются следующим образом:

$$r_{\Sigma} = r_T + r_{T.T} + r_{K.B} + r_{ш} + r_K + r_{каб}, \quad (11.2)$$

$$x_{\Sigma} = x_T + x_{T.T} + x_{K.B} + x_{ш} + x_{каб} + x_c,$$

где  $r_T$  и  $x_T$  — активное и индуктивное сопротивления понижающего трансформатора;  $r_{T.T}$  и  $x_{T.T}$  — активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока;  $r_{K.B}$  и  $x_{K.B}$  — активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей;  $r_{ш}$  и  $x_{ш}$  — активное и индуктивное сопротивления шинопроводов;  $r_K$  — суммарное сопротивление различных контактных соединений;  $r_{каб}$  и  $x_{каб}$  — активное и индуктивное сопротивления кабелей.

Если при расчете тока короткого замыкания учитывается сопротивление  $x_c$  системы, то индуктивное сопротивление внешней системы до понижающего трансформатора, приведенное к ступени низшего напряжения, равно

$$\dot{x}_c = x_c \frac{U_{ср.н}^2}{U_{ср.в}^2}. \quad (11.3)$$

Здесь  $U_{ср.в}$  — среднее номинальное напряжение ступени, соответствующее обмотке высшего напряжения трансформатора:

$$x_c = \frac{U_{ср.в}^2}{S_{H.O}}, \quad (11.4)$$

где  $S_{H.O}$  — номинальная мощность отключения выключателя, установленного в сети питания понижающего трансформатора.

Значения  $r_T$  и  $x_T$ , мОм, принимаются по таблицам или определяются по формулам:

$$r_T = \frac{\Delta P_K U_H^2}{S_H^2} 10^6; x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}; z_T = \frac{U_K \cdot U_H^2}{S_H} 10^6, \quad (11.5)$$

где  $S_H$  — номинальная мощность трансформатора, кВА;  $U_H$  — номинальное напряжение обмотки низшего напряжения, кВ;  $\Delta P_K$  — потери короткого замыкания, кВт;  $U_K$  — напряжение короткого замыкания, %.

Значения  $\Delta P_K$  и  $U_K$  принимаются по табл. 11.1.

Активные и индуктивные сопротивления для шинопроводов некоторых типов приведены в табл. 11.6 и 11.7 (см. также табл. 5.1, 5.2, 5.3).

Активное и индуктивное сопротивления катушек автоматических выключателей определяются по табл. 11.2.

Активное и индуктивное сопротивления трансформаторов тока напряжением до 1000 В определяются по табл. 11.3.

Суммарное сопротивление различных контактных соединений  $r_K$  носит выраженный вероятностный характер и зависит от таких факторов, как состояние контактных поверхностей, степени затяжки болтов, силы сжатия пружины и др. При этом сопротивление контактных соединений может существенно влиять на ток трехфазного к. з., снижая его на 50 % и более.

Суммарное сопротивление контактов (активное) в соответствии с ПУЭ можно принимать:

- для распределительных щитов на подстанциях — 15 мОм;
- для первичных цеховых распределительных щитков и на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов трансформаторных подстанций или от магистралей, — 20 мОм;
- для вторичных цеховых распределительных пунктов и на зажимах аппаратов, питаемых от первичных распределительных пунктов, — 25 мОм;
- для аппаратуры, установленной непосредственно у приемников электрической энергии, получающих питание от вторичных распределительных пунктов, — 30 мОм.

Для проверки коммутационной способности автоматов и предохранителей требуется знать и наибольшее действующее значение полного тока к. з.  $I_y$ , кА, которое определяется по выражению

$$I_y = I_{n0} \sqrt{1 + 2(k_y - 1)}, \quad (11.6)$$

где  $k_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T}}$  ударный коэффициент, зависящий от постоянной времени  $T$  ( $e$  — основание натурального логарифма,  $e = 2,718$ ).



Постоянная  $T$  может быть определена отношением результирующего индуктивного сопротивления  $x_{\Sigma}$  короткозамкнутой цепи и ее результирующего активного сопротивления  $r_{\Sigma}$ :

$$T = \frac{x_{\Sigma}}{3,14 \cdot r_{\Sigma}}. \quad (11.7)$$

Ориентировочные значения для рассматриваемых электроустановок лежат в пределах  $1,0 \leq k_y \leq 1,5$ , причем большие значения соответствуют точкам к. з., расположенным вблизи выводов трансформаторов цеховых подстанций, а меньшие — более удаленным точкам. Приближенно для трансформаторов с  $S_T = 630-1000$  кВА и  $U_k = 5,5$  % значение  $k_y = 1,3$ ; для трансформаторов мощностью  $S_T = 100-400$  кВА значение  $k_y = 1,2$ ; для удаленных точек сети  $k_y = 1$ .

Для проверки электродинамической стойкости аппаратов и проводников требуется расчет ударного тока к. з.:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п0}. \quad (11.8)$$

Для проверки термической стойкости нужно знать тепловой импульс  $B_k$ , который воздействует на проверяемый аппарат или проводник при протекании по нему тока к. з. за время  $t_0$ . Если принять периодическую составляющую тока к. з. неизменной по всей амплитуде, т. е.  $I = I_{\infty}$ , что близко к истине в электроустановках напряжением до 1000 В из-за их большой электрической удаленности от основных источников питания, то тепловой импульс к. з. можно найти по формуле  $B_k = [I_{п0}]^2 \cdot (t_0 + T)$ , где  $t_0$  — время отключения тока короткого замыкания.

## 11.2. Практический расчет тока однофазного короткого замыкания

При проектировании системы электроснабжения промпредприятий для проверки быстрого и надежного отключения однофазных к. з. в сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью (сеть 380/220 В промпредприятий) необходимо уметь рассчитывать минимальное значение тока однофазного к. з.  $I_{п0}$ . Очевидно, что при этом расчетная точка к. з. должна выбираться в конце каждого участка сети, защищаемого автоматом или предохранителем.

В принятой проектной практике расчет однофазных к. з. для проверки их автоматического отключения упрощается. В частности, ток однофазного к. з., кА, определяется лишь с учетом сопротивлений силового трансформатора и линии по формуле

$$I_{п0} = \frac{U_{ср.л}}{\sqrt{3} \left( \frac{z_T}{3} + z_{л} \right)}, \quad (11.9)$$

где  $\frac{z_{\tau}}{3}$  — сопротивление фазы трансформатора, мОм;  $z_{\pi}$  — полное сопротивление петли фаза — нуль линии от шин низшего напряжения трансформатора до точки к. з. Для трансформаторов мощностью более 630 кВА сопротивление фазы трансформатора можно принять равным нулю.

Сопротивление, мОм, петли фаза — нуль состоит из ряда последовательно включенных сопротивлений и равно

$$z_{\pi} = \sqrt{\left(r_{\phi} + r_0\right)^2 + \left(x_{\phi} + x_0 + x_{\pi}\right)^2}, \quad (11.10)$$

где  $r_{\phi}$ ,  $r_0$  — активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводов, мОм;  $x_{\phi}$ ,  $x_0$  — индуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводов, мОм;  $x_{\pi}$  — сопротивление взаимоиндукции петли фаза — нуль, мОм.

Активные и индуктивные сопротивления на единицу длины можно определить по табл. 11.8.

Индуктивные сопротивления медных и алюминиевых проводов малы и ими можно пренебречь.

Сопротивление взаимоиндукции зависит от расстояния между проводами  $D$  их диаметра  $d$ . Обычно при отдельно проложенных нулевых защитных проводах принимают  $x_n = 0,6 \cdot l$ , при прокладке кабелей или в стальных трубах значением  $x_n$  можно пренебречь.

В случае использования в качестве нулевого защитного проводника стальных труб, корпуса шинопроводов сопротивления их можно определить по формулам.

Сопротивление трубы, мОм, равно

$$r_{\text{тр}} = \frac{4 \cdot l \cdot 10^3}{\gamma \cdot \pi (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2)}, \quad (11.11)$$

где  $\gamma$  — удельная проводимость стали [обычно 10,2 м/(Ом · мм<sup>2</sup>)],  $l$  — длина участка трубы, м;  $D_{\text{н}}$  — наружный диаметр трубы, мм;  $D_{\text{в}}$  — внутренний диаметр трубы, мм.

Технические данные труб приведены в табл. 11.4, 11.5.

Сопротивление, мОм, короба шинопровода равно  $Z_{\text{кор}} = 2 \cdot Z_{\text{ШРА}}$ , где  $Z_{\text{кор}}$  — сопротивление короба;  $Z_{\text{ШРА}}$  — сопротивление, мОм, фазы распределительного алюминиевого шинопровода (ШРА)

$$Z_{\text{ШРА}} = l \cdot \sqrt{r_{\phi}^2 + x_{\phi}^2} \cdot 10^3, \quad (11.12)$$

где  $r_{\phi}$ ,  $x_{\phi}$  — погонные сопротивления шинопроводов с алюминиевыми шинами, Ом/км.

Технические данные шин и шинопроводов приведены в табл. 5.1, 5.2, 5.3, 9.8, 11.6, 11.7. Надежное отключение опасного участка сети будет обеспечено при

$$I_{n01} \geq k \cdot I_{\text{н}}, \quad (11.13)$$

где  $I_n$  — номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток срабатывания автоматического выключателя, А;  $k$  — коэффициент кратности тока (принимается по данным, приведенным в главе «Выбор аппаратов защиты»).

На основании расчета токов короткого замыкания проверяются предохранители и автоматические выключатели по предельно отключаемому току (по коммутационной способности и электродинамической стойкости); шины проверяются на электродинамическую и термическую стойкость, если по причине наличия у автомата выдержки времени могут оказаться под действием тока к. з. более одной секунды; трансформаторы тока напряжением до 1000 В на электродинамическую и термическую стойкость не проверяются при присоединении их к сетям, питаемым от трансформатора мощностью 1000 кВА и ниже.

Таблица 11.1

Каталожные данные силовых трансформаторов

Тип и мощность, кВА	Номинальные напряжения обмоток, кВ		$\Delta P_k$ , кВт	$U_k$ , %
	ВН	НН		
ТС-160	6; 10	0,4	2,7	5,5
ТС-250	6; 10	0,23; 0,4	3,8	5,5
ТС-400	6; 10	0,23; 0,4	5,4	5,5
ТС-630	6; 10	0,23; 0,4	7,3	5,5
ТС-1000	6; 10	0,4	11,2	5,5
ТС-1600	6; 10	0,4	16	5,5
ТМ-160	6; 10	0,4	2,65; 3,1	4,5; 4,7
ТМ-250	6; 10	0,4	3,7; 4,2	4,5; 4,7
ТМ-400	6; 10	0,4	5,5; 5,9	4,5; 4,7
ТМ-630	6; 10	0,4	7,6; 8,5	4,5; 4,7
ТМ-1000	6; 10	0,4	12,2	5,5
ТМ-1600	6; 10	0,4	18,0	5,5
ТМ-160	35	0,4	2,65; 3,1	6,5; 6,8
ТМ-250	35	0,4	3,7; 4,2	6,5; 6,8
ТМ-400	35	0,4	5,5	6,5
ТМ-630	35	0,4	7,6	6,5
ТМ-1000	35	0,4	12,2	6,5
ТМ-1600	35	0,4	18	6,5

Таблица 11.2

### Активные и индуктивные сопротивления автоматических выключателей

Номинальный ток катушек (расцепителя), А	Значения сопротивлений, мОм, катушек (расцепителя) максимального тока автоматических выключателей	
	индуктивное	активное (при 65 °С)
100	0,86	1,3
140	0,55	0,74
200	0,28	0,36
400	0,10	0,15
600	0,084	0,12

Таблица 11.3

### Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока напряжением до 1000 В

Коэффициент трансформации трансформатора тока	Сопротивление, мОм, первичных обмоток катушек трансформаторов тока классов точности			
	1		2	
	индуктивное	активное	индуктивное	активное
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица 11.4

### Трубы стальные тонкостенные для электропроводок

Внутренний диаметр $D_{в}$ , мм	Наружный диаметр $D_{н}$ , мм	Толщина стенки, мм
15	20	1,6
20	26	1,8
25	32	2
40	47	2
50	59	2

Таблица 11.5

**Трубы стальные водогазопроводные, обыкновенные**

Условный приход, мм	Диаметр, мм		Толщина стенки, мм
	внутренний $D_v$	наружный $D_n$	
15	15,7	21,3	2,8
20	21,2	26,8	2,8
25	27,1	33,5	3,2
32	35,9	42,3	3,2
40	41	48	3,5
50	53	60	3,5

Таблица 11.6

**Удельные сопротивления шин при 65 °С, мОм/м**

Сечение, мм <sup>2</sup>	$r_{уд}$		$x_{уд}$ при среднем геометрическом расстоянии между фазами, мм, равном			
	медь	алюминий	100	150	200	250
25×3	0,2630	0,475	0,1790	0,2000	0,225	0,244
30×3	0,2230	0,394	0,1630	0,1890	0,206	0,235
30×4	0,1670	0,296	0,1630	0,1890	0,206	0,23B
40×4	0,1250	0,222	0,1450	0,1700	0,189	0,214
40×5	0,1000	0,177	0,1450	0,1700	0,189	0,214
50×5	0,0800	0,142	0,1370	0,1565	0,180	0,200
50×6	0,0670	0,118	0,1370	0,1565	0,180	0,200
60×6	0,0558	0,099	0,1195	0,1450	0,163	0,139
60×8	0,0418	0,074	0,1195	0,1450	0,163	0,189
80×8	0,0313	0,055	0,1020	0,1260	0,145	0,170
90×10	0,0250	0,0445	0,1020	0,1260	0,145	0,170
100×10	0,0200	0,0355	0,0900	0,1127	0,133	0,157
2(60×8)	0,0209	0,0370	0, 1200	0,1450	0,163	0,189
2(80×8)	0,0157	0,0277	—	0,1260	0,145	0,170
2(80×10)	0,0125	0,0222	—	0,1260	0,145	0,170
2(100×10)	0,0100	0,0178	—	—	0,133	0,157

Таблица 11.7

**Удельные сопротивления шинопроводов до 1000 В, мОм/м**

Тип шинопровода	Номинальный ток, А	Размеры сечения, мм <sup>3</sup>	
		фазных шин	нулевого провода
ШМА73	1600	2(90×8)	2×710
ШМА68Н	2500	2(120×10)	2×640
ШМА68Н	4000	2(160×12)	2×640
ШЗМ16	1600	2(100×8)	1500
ШРА73	250	35×5	—
ШРА73	400	50×5	—
ШРА 73	630	80×5	—

Окончание табл. 11.7

Тип шинопровода	Сопротивление фазы		Сопротивление петли фаза—нуль		
	$r_{уд}$	$x_{уд}$	$z_{п.уд}$	$x_{п.уд}$	$r_{п.уд}$
ШМА73	0,031	0,017	0,123	0,072	0,098
ШМА68Н	0,027	0,023	—	—	—
ШМА68Н	0,013	0,02	—	—	—
ШЗМ16	0,017	0,014			
ШРА73	0,200	0,100	—	—	—
ШРА73	0,130	0,100	—	—	—
ШРА 73	0,085	0,075	—	—	—

Таблица 11.8

**Активные и индуктивные сопротивления для проводов и кабелей с медными и алюминиевыми жилами**

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Сопротивление, мОм/м							
	активное $r$ для жил				индуктивное $x_0$			
	медных		алюминиевых		трехжильных кабелей с основной изоляцией до 1 кВ	проводов в трубе	проводов, расположенных открыто	воздушных линий до 1 кВ
	температура, °C							
	30	50	30	45				
1,5	12,3	13,3	—	—	0,113	0,126	0,374	—
2,5	7,4	8	12,5	13,3	0,104	0,116	0,358	—

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Сопротивление, мОм/м							
	активное $r$ для жил				индуктивное $x_0$			
	медных		алюминиевых		трехжильных кабелей с бумажной изоляцией до 1 кВ	проводов в трубе	проводов, проложенных открыто	воздушных линий до 1 кВ
	температура, °C							
	30	50	30	45				
4	4,63	5	7,81	8,34	0,095	0,107	0,343	—
6	3,09	3,34	5,21	5,56	0,09	0,0997	0,33	—
10	1,85	2	3,12	3,33	0,073	0,099	0,307	—
16	1,16	1,25	1,95	2,08	0,675	0,0947	0,293	0,354
25	0,741	0,8	1,25	1,33	0,0622	0,0912	0,278	0,339
35	0,53	0,57	0,89	0,951	0,0637	0,0879	0,268	0,33
50	0,371	0,4	0,62	0,666	0,0625	0,0854	0,256	0,317
70	0,265	0,29	0,45	0,447	0,0612	0,0819	0,245	0,307
95	0,195	0,21	0,33	0,351	0,0602	0,0807	0,236	0,297
120	0,154	0,17	0,26	0,278	0,0600	0,0802	0,229	0,293

### 11.3. Пример

Требуется рассчитать ток трехфазного к. з. в точке K1 и ток однофазного к. з. в точке K2 (рис. 11.2).

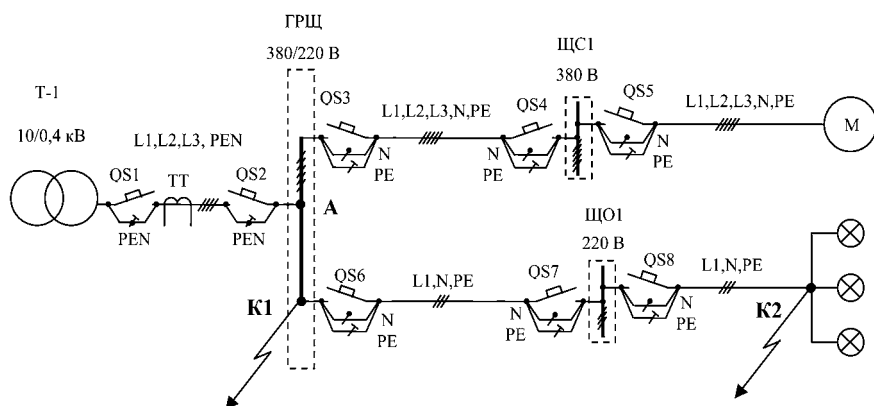


Рис. 11.2. Схема электрической сети

### Условия задания:

Трансформатор ТП (Т-1) типа ТС-160 (160 кВА) напряжением 10/0,4 кВ, с соединением обмоток  $Y/Y_0$  соединен с ГРЩ (0,4 кВ) здания кабелем АБВГ 4×120 с алюминиевыми жилами ( $I_{\text{доп}} = 295$  А) длиной 20 м. Кабель проложен в земле в асбестоцементной трубе. В линии Т-1 — ГРЩ установлены автоматические выключатели (QS1 и QS2) типа ВА 88–37 с  $I_{\text{ном.р}} = 250$  А. В ГРЩ использованы неизолированные алюминиевые шины прямоугольного сечения 40×4 (по одной шине на фазу,  $I_{\text{доп}} = 480$  А), длина шин — 2 м, кабель АБВГ подключен к середине ШРА (расстояние от точки А до точки К1 — 1 м).

В цепи Т-1 — ГРЩ установлен трансформатор тока 400/5.

В линии ГРЩ — ЩО1 смонтирован кабель с медными жилами НУМ 3×2,5, длина линии — 10 м. В данной линии установлены автоматические выключатели типа ВА 47–29 (QS6, QS7),  $I_{\text{ном.р}} = 20$  А, характеристика отключения — С.

От ЩО1 до точки К2 смонтирован кабель с медными жилами НУМ 3×1,5 длиной 15 м. В данной линии установлен автоматический выключатель ВА 47–29 (QS6),  $I_{\text{ном.р}} = 10$  А, характеристика отключения — С (5–10  $I_{\text{ном.р}}$ ).

### Решение

#### 1. Расчет тока трехфазного к. з.

Для расчета тока трехфазного к. з. в точке К1 составим схему замещения (рис. 11.3).

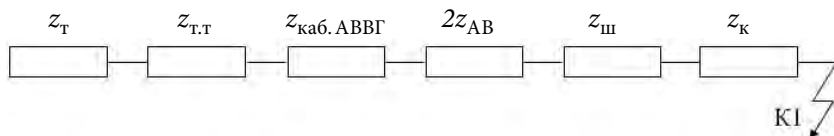


Рис. 11.3. Схема замещения электрической сети для расчета трехфазного к. з.

В данной схеме обозначены:

- $z_T$  — полное сопротивление понижающего трансформатора;
- $z_{T,T}$  — полное сопротивление первичной обмотки трансформатора тока;
- $z_{\text{каб. АБВГ}}$  — полное сопротивление кабеля АБВГ;
- $z_{AB}$  — полное сопротивление токовых катушек автоматов ВА 88–37;
- $z_{ш}$  — полное сопротивление участка шинопровода;
- $z_K$  — суммарное сопротивление различных контактных соединений.

Сопротивления схемы замещения:

а) сопротивление трансформатора

$$r_T = \frac{\Delta P_K U_H^2 \cdot 10^6}{S_H^2} = \frac{2,7 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{160^2} = 16,8 \text{ мОм}; \Delta P_K = 2,7 \text{ кВт}$$

(см. табл. 11.1);



$$Z_T = \frac{U_K \% U_H^2 \cdot 10^6}{100 S_H} = \frac{5,5 \cdot 0,4 \cdot 10^6}{100 \cdot 160} = 55 \text{ мОм}; U_K = 5,5 \%$$

(см. табл. 11.1);

$$x_T = \sqrt{Z_T^2 - r_T^2} = \sqrt{55^2 - 16,8^2} = 52,4 \text{ мОм};$$

б) сопротивление трансформатора тока принимаем по табл. 11.3 равными

$$r_{T.T} = 0,17 \text{ мОм}; x_{T.T} = 0,11 \text{ мОм};$$

в) сопротивление автоматических выключателей принимаем по табл. 11.2:

$$r_{AB} = 0,28 \text{ мОм}; x_{AB} = 0,36 \text{ мОм (для } I_{HP} = 250 \text{ А)};$$

г) сопротивление шин принимаем по табл. 11.6:

$$r_{уд} = 0,222 \text{ мОм/м}; x_{уд} = 0,145 \text{ мОм/м}$$

(берем расстояние между фаз 100 мм).

Для участка шин, по которому протекает ток к. з. (1 м):

$$r_{ш} = 0,222 \cdot 1 = 0,222 \text{ мОм};$$

$$x_{ш} = 0,145 \cdot 1 = 0,145 \text{ мОм};$$

д) сопротивление кабеля АВВГ:

$$r_{уд} = 0,26 \text{ мОм/м (для температуры } 30 \text{ °С)};$$

$$x_{уд} = 0,0802 \text{ мОм/м}.$$

Для кабеля длиной 20 м:

$$r_{ABBG} = 0,26 \cdot 20 = 5,2 \text{ мОм};$$

$$x_{ABBG} = 0,0802 \cdot 20 = 1,604 \text{ мОм};$$

е) сопротивление контактных соединений.

В соответствии с ПУЭ суммарное сопротивление контактов при к. з. около распределительного щита цеховой подстанции следует принять:

$$r_k = 15 \text{ мОм}.$$

Ток трехфазного к. з. будет равен:

$$I_{п0} = \frac{U_{ср.н}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2}},$$

откуда

$$r_{\Sigma} = 16,8 + 0,17 + 2 \cdot 0,28 + 0,222 + 5,2 + 15 = 37,95 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma} = 52,4 + 0,11 + 2 \cdot 0,36 + 0,145 + 1,6 = 54,98 \text{ мОм};$$

$$I_{п0} = \frac{400}{1,73\sqrt{37,95^2 + 54,98^2}} = 3,46 \text{ кА.}$$

Для проверки коммутационной способности автоматов требуется знать наибольшее действующее значение полного тока к. з.  $I_y$ :

$$I_y = I_{п0} \sqrt{1 + 2(k_y - 1)^2}, \quad k_y = 1,2$$

(для трансформаторов  $S = 100 \times 400$  кВА).

$$I_y = 3,46 \sqrt{1 + 2(1,2 - 1)^2} = 3,6 \text{ кА.}$$

Для проверки электродинамической стойкости требуется расчет ударного тока к. з.:

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{п0} = 1,2 \cdot 1,4 \cdot 3,46 = 5,81 \text{ кА.}$$

Для автомата ВА 88-37 номинальная предельная наибольшая отключающая способность  $I_{cu} = 35$  кА. Несмотря на отсутствие данных изготовителя по электродинамической стойкости автоматов данного типа, можно сделать вывод о правильности выбора автомата по следующему соотношению:

$$I_{cu} > I_y, i_y.$$

Таким образом, обеспечена коммутационная способность автоматов данного типа (и электродинамическая стойкость) в расчетной линии.

## 2. Расчет тока однофазного к. з.

Ток однофазного к. з. в точке К2 равен:

$$I_{п01} = \frac{U_{ср.л}}{\sqrt{3} \left( \frac{z_T}{3} + z_{\pi} \right)},$$

где  $z_T/3$  — сопротивление фазы трансформатора, мОм,  $z_T$  берется из предыдущего расчета,  $z_T/3 = 55/3 = 18,3$  мОм;  $z_{\pi}$  — полное сопротивление петли фаза-нуль — состоит из ряда последовательно включенных сопротивлений от трансформатора Т-1 до точки к. з. (К2);

$$z_{\pi} = \sum_{i=1}^n z_{\pi i},$$

где  $z_{\pi i}$  — полное сопротивление петли фаза — нуль  $i$ -го проводника;

$$z_{\pi i} = \sqrt{(r_{\phi i} + r_{0i})^2 + (x_{\phi i} + x_{0i} + x_{\pi i})^2}$$

где  $r_{\phi i}$ ,  $r_{0i}$  — активные сопротивления фазного и нулевого защитного проводов  $i$ -го проводника ( $i$ -го элемента цепи к. з.), мОм;  $x_{\phi i}$ ,  $x_{0i}$  — ин-

дуктивные сопротивления фазного и нулевого защитного проводов  $i$ -го проводника ( $i$ -го элемента цепи к. з.), мОм;  $x_{\Pi i}$  — сопротивление взаимной индукции петли фаза — нуль  $i$ -го проводника ( $i$ -го элемента цепи к. з.), мОм.

При использовании кабелей значением  $x_{\Pi}$  можно пренебречь.

Кроме того, в расчет  $z_{\Pi}$  не входят сопротивления контактов шин, аппаратов, трансформаторов тока, поскольку расчет для  $I_{\Pi 01}$  дает некоторый запас по току вследствие арифметического сложения  $z_T/3$  и  $z_{\Pi}$ .

Тогда схема замещения будет выглядеть следующим образом:

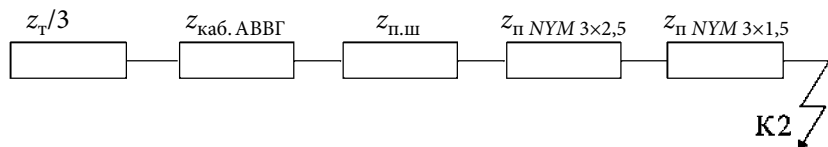


Рис. 11.4. Схема замещения электрической сети для расчета однофазного КЗ

Сопротивления схемы замещения:

а) сопротивление трансформатора:

$$z_T/3 = 55/3 = 18,3 \text{ мОм};$$

б) сопротивление кабеля АБВГ (длиной 20 м):

$$r_{\text{ф АБВГ}} = 0,26 \cdot 20 = 5,2 \text{ мОм};$$

$r_{0 \text{ АБВГ}} = 0,26 \cdot 20 = 5,2 \text{ мОм}$  (нулевой защитный проводник имеет такие же параметры, как и фазный);

$$x_{\text{ф АБВГ}} = 0,0802 \cdot 20 = 1,604 \text{ мОм};$$

аналогично  $x_{0 \text{ АБВГ}} = 0,0802 \cdot 20 = 1,604 \text{ мОм};$

$$z_{\text{п.каб АБВГ}} = \sqrt{(5,2 + 5,2)^2 + (1,6 + 1,6)^2} = 10,88 \text{ мОм};$$

в) сопротивление шин (длиной 1 м):

$$r_{\text{ф.ш}} = 0,222 \cdot 1 = 0,222 \text{ мОм};$$

аналогично  $r_{0 \text{ ш}} = 0,222 \cdot 1 = 0,222 \text{ мОм}$  (принимаем, что нулевой защитный проводник имеет такие же параметры, как и фазный);

$$x_{\text{ф.ш}} = 0,145 \cdot 1 = 0,145 \text{ мОм};$$

аналогично  $x_{0 \text{ ш}} = 0,145 \cdot 1 = 0,145 \text{ мОм};$

$$z_{\text{п.ш}} = \sqrt{(0,222 + 0,222)^2 + (0,145 + 0,145)^2} = 0,53 \text{ мОм};$$

г) сопротивления кабеля  $NYM\ 3 \cdot 2,5$  (длиной 10 м):

$$r_{уд.ф\ NYM\ 3 \times 2,5} = 7,4\ \text{мОм/м (при } 30\ ^\circ\text{C)},$$

$$r_{ф\ NYM\ 3 \times 2,5} = 7,4 \cdot 10 = 74\ \text{мОм};$$

$$x_{уд\ \phi\ NYM\ 3 \times 2,5} = 0,358\ \text{мОм/м},$$

$$x_{ф\ NYM\ 3 \times 2,5} = 0,358 \cdot 10 = 3,58\ \text{мОм};$$

аналогично

$$r_0\ NYM\ 3 \times 2,5 = 7,4 \cdot 10 = 74\ \text{мОм};$$

$$x_0\ NYM\ 3 \times 2,5 = 0,358 \cdot 10 = 3,58\ \text{мОм}$$

(нулевой защитный проводник имеет такие же параметры, как и фазный);

$$Z_{п\ NYM\ 3 \times 2,5} = \sqrt{(74 + 74)^2 + (3,58 + 3,58)^2} = 148,17\ \text{мОм};$$

д) сопротивления кабеля  $NYM\ 3 \times 1,5$  (длиной 15 м):

$$r_{уд\ \phi\ NYM\ 3 \times 1,5} = 12,3\ \text{мОм/м (при } 30\ ^\circ\text{C)},$$

$$r_{ф\ NYM\ 3 \times 1,5} = 12,3 \cdot 15 = 184,5\ \text{мОм};$$

$$x_{уд\ \phi\ NYM\ 3 \times 1,5} = 0,374\ \text{мОм/м},$$

$$x_{ф\ NYM\ 3 \times 1,5} = 0,374 \cdot 15 = 5,61\ \text{мОм}$$

(значения  $x_{уд}$  берутся для открытой прокладки);  
аналогично

$$r_0\ NYM\ 3 \times 1,5 = 12,3 \cdot 15 = 184,5\ \text{мОм};$$

$$x_0\ NYM\ 3 \times 1,5 = 0,374 \cdot 15 = 5,61\ \text{мОм}$$

(нулевой защитный проводник имеет такие же параметры, как и фазный);

$$Z_{п\ NYM\ 3 \times 1,5} = \sqrt{(184,5 + 184,5)^2 + (5,61 + 5,61)^2} = 369,17\ \text{мОм};$$

е) сопротивление  $z_{п}$ :

$$\begin{aligned} z_{п} &= z_{п\ каб\ АВВГ} + z_{п\ ш} + z_{п\ NYM\ 3 \times 2,5} + z_{п\ NYM\ 3 \times 1,5} = 10,88 + 0,53 + 148,17 + 369,17 = \\ &= 528,75\ \text{мОм}. \end{aligned}$$

$$\text{Вычислим } I_{п01} = 400/1,73 (18,3 + 528,75) = 0,423\ \text{кА} = 423\ \text{А}.$$

Проверим автомат ВА 47-29 ( $I_n = 10$  А), защищающий линию с точкой к. з. (К2), на отключающую способность при данном расчетном токе однофазного к. з. По условию, автомат имеет характеристику отключения типа С, т. е.  $I_{откл} = 10 \cdot I_n = 100$  А.

Надежное отключение опасного участка сети будет обеспечено при  $I_{п01} \geq k \cdot I_{откл}$ , где  $k$  — коэффициент кратности тока, учитывающий разброс характеристик электромагнитных расцепителей автоматов. Коэффициент  $k$  принимается равным 1,4 (для автоматов с  $I_n < 100$  А см. главу «Выбор аппаратов защиты»).

В нашем случае  $423 \text{ А} > 1,4 \cdot 100 = 140$  А, т. е. условие  $I_{п01} \geq k \cdot I_{откл}$  выполняется.

Таким образом, при возникновении расчетного к. з. автоматический выключатель отключит данный ток.

## Глава 12. ЗАЩИТНЫЕ МЕРЫ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ. РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

### 12.1. Общие положения

В ПУЭ 7-го издания определено, что для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты *при косвенном прикосновении*:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов;
- выравнивание потенциалов;
- двойная или усиленная изоляция;
- сверхнизкое (малое) напряжение;
- защитное электрическое разделение цепей;
- изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

Защитой *при косвенном прикосновении* называется защита от поражения электрическим током при прикосновении к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции.

Меры защиты от поражения электрическим током должны быть предусмотрены в электроустановке или ее части либо применены к отдельным электроприемникам и могут быть реализованы при изготовле-

нии электрооборудования, либо в процессе монтажа электроустановки, либо в обоих случаях.

Применение двух и более мер защиты в электроустановке не должно оказывать взаимного влияния, снижающего эффективность каждой из них.

Защиту *при косвенном прикосновении* следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного тока и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока.

В главе 1 ПУЭ 7-го издания даны следующие определения мер защиты.

*Заземление* — преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

*Защитное заземление* — заземление, выполняемое в целях электробезопасности.

*Рабочее (функциональное) заземление* — заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

*Заземлитель* — проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

*Заземляющий проводник* — проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

*Заземляющее устройство* — совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

*Защитное зануление* в электроустановках напряжением до 1 кВ — преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

*Уравнивание потенциалов* — электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

*Защитное уравнивание потенциалов* — уравнивание потенциалов, выполняемое в целях электробезопасности.

Термин *уравнивание потенциалов*, используемый в главе, следует понимать как *защитное уравнивание потенциалов*.

*Выравнивание потенциалов* — снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности

и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

*Защитный (РЕ) проводник* — проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

*Защитный заземляющий проводник* — защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

*Защитный проводник уравнивания потенциалов* — защитный проводник, предназначенный для защитного уравнивания потенциалов.

*Нулевой защитный проводник* — защитный проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для присоединения открытых проводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника питания.

*Нулевой рабочий (нейтральный) проводник (N)* — проводник в электроустановках до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

*Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий (PEN) проводник* — проводник в электроустановках напряжением до 1 кВ, совмещающий функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников.

*Главная заземляющая шина* — шина, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1 кВ и предназначенная для присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

*Защитное автоматическое отключение питания* — автоматическое размыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если требуется, нулевого рабочего проводника), выполняемое в целях электробезопасности.

Термин *автоматическое отключение питания*, используемый в учебном пособии, следует понимать как *защитное автоматическое отключение питания*.

О конструктивном исполнении мер защиты при косвенном прикосновении в электроустановках до 1 кВ можно судить по рис. 12.1, где представлена система уравнивания потенциалов в здании. На рис. 12.1 показано, что основная и дополнительная система уравнивания потенциалов связана с главной заземляющей шиной (ГЗШ), естественными заземлителями, токоотводами и заземлителями молниезащиты, проводниками и контурами рабочего и защитного заземления.

## 12.2. Расчет и выбор элементов защитного заземления

Конструктивно защитное заземление представляет собой преднамеренное электрическое соединение с землей (или ее эквивалентом) металлических нетокопроводящих частей электроустановок, которые могут оказаться под напряжением.

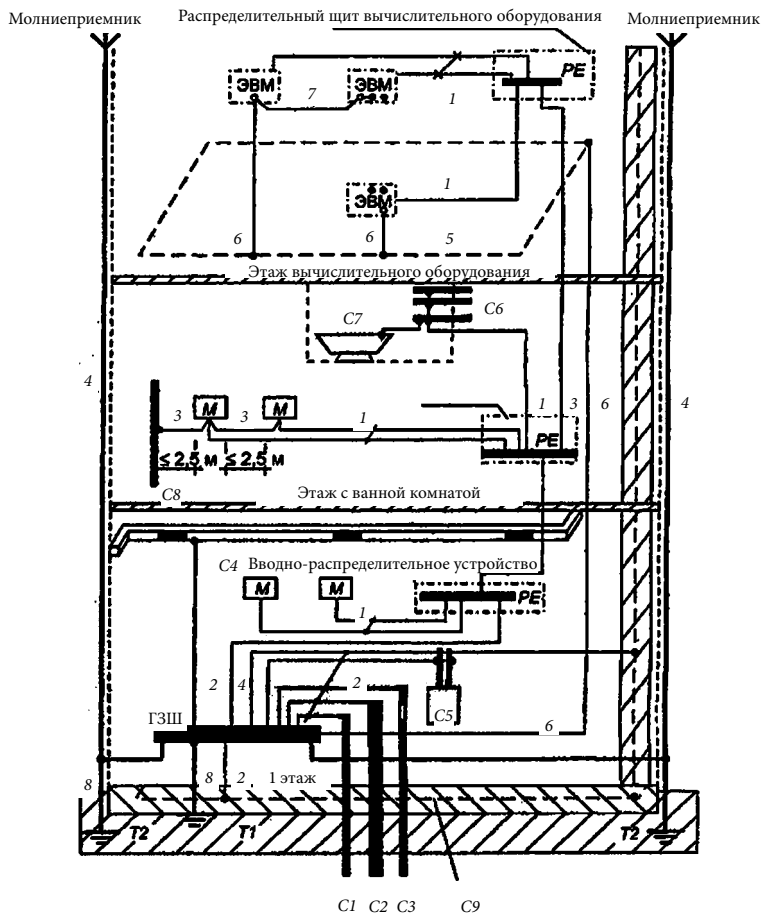


Рис. 12.1. Система уравнивания потенциалов в здании

М — открытая проводящая часть; C1 — металлические трубы водопровода, входящие в здание; C2 — металлические трубы канализации, входящие в здание; C3 — металлические трубы газоснабжения с изолирующей вставкой на входе, входящие в здание; C4 — воздуховоды вентиляции и кондиционирования; C5 — система отопления; C6 — металлические водопроводные трубы в ванной комнате; C7 — металлическая ванна; C8 — сторонняя проводящая часть в пределах досягаемости от открытых проводящих частей; C9 — арматура железобетонных конструкций; ГЗШ — главная заземляющая шина; T1 — естественный заземлитель; T2 — заземлитель молниезащиты (если имеется); 1 — нулевой защитный проводник; 2 — проводник основной системы уравнивания потенциалов; 3 — проводник дополнительной системы уравнивания потенциалов; 4 — токоотвод системы молниезащиты; 5 — контур (магистраль) рабочего заземления в помещении информационного вычислительного оборудования; 6 — проводник рабочего (функционального) заземления; 7 — проводник уравнивания потенциалов в системе рабочего (функционального) заземления; 8 — заземляющий проводник



В зависимости от места размещения заземлителей относительно заземляемого оборудования различают два типа заземляющих устройств: выносное и контурное.

При выносном заземляющем устройстве заземлитель вынесен за пределы площадки, на которой размещено заземляемое оборудование.

При контурном заземляющем устройстве электроды заземлителя размещают по контуру (периметру) площадки, на которой находится заземляемое оборудование, а также внутри этой площадки.

В открытых электроустановках корпуса присоединяют непосредственно к заземлителю проводами. В зданиях внутри вводного устройства электроустановки или отдельно от него устанавливается ГЗШ, к которой присоединяются нулевые защитные проводники, проводники системы уравнивания потенциалов, проводники рабочего (функционального) заземления (см. рис. 12.1). ГЗШ соединяется с заземлителями заземляющими проводниками.

В качестве заземлителей в первую очередь следует использовать естественные заземлители в виде проложенных под землей металлических коммуникаций (за исключением трубопроводов для горючих и взрывчатых веществ, труб теплотрасс), металлических конструкций зданий, соединенных с землей, свинцовых оболочек кабелей, обсадных труб артезианских колодцев, скважин, шурфов и т. д.

В качестве естественных заземлителей подстанций и распределительных устройств рекомендуется использовать заземлители опор отходящих воздушных линий электропередачи, соединенных с заземляющим устройством подстанции или распределительным устройством с помощью грозозащитных тросов линий.

Если сопротивление естественных заземлителей удовлетворяет требуемым нормам  $R_z$ , то устройство искусственных заземлителей не требуется.

Когда естественные заземлители отсутствуют или использование их не дает нужных результатов, применяют искусственные заземлители. Требования к наименьшим размерам искусственных заземлителей в соответствии с ПУЭ 7-го издания изложены в табл. 12.1.

Достаточно часто используют стержни из угловой стали размером 50×50, 60×60, 75×75 мм с толщиной стенки не менее 4 мм, длиной 2,5–3 м; стальные трубы диаметром 32–60 мм, длиной 2,5–3 м с толщиной стенки не менее 3,5 мм; прутковую сталь диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м и более.

Заземлители забивают в ряд или по контуру на такую глубину, при которой от верхнего конца заземлителя до поверхности земли остается 0,5–0,8 м. Расстояние между вертикальными заземлителями должно быть не менее 2,5–3 м.

Для соединения вертикальных заземлителей между собой применяют стальные полосы из черной стали толщиной не менее 4 мм и сечением не менее 100 мм<sup>2</sup> (для оцинкованной стали — не менее 75 мм<sup>2</sup>) или

Таблица 12.1

**Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников,  
проложенных в земле**

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	16	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	100	4
	Угловой	—	100	4
	Трубный	32	—	3,5
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	12	—	—
	для горизонтальных заземлителей	10	—	—
	Прямоугольный	—	75	3
Медь	Трубный	25		2
	Круглый:	12	—	—
	Прямоугольный	—	50	2
	Трубный	20	—	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	—

\* Диаметр каждой проволоки.

стальной провод диаметром не менее 10 мм. Полосы (горизонтальные заземлители) соединяют с вертикальными заземлителями сваркой.

Нормируемые сопротивления заземляющих устройств приведены в табл. 12.2.

Для электроустановок напряжением до 1000 В значения  $R_3$  даны при условии, что удельное сопротивление грунта  $r \leq 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . При удельном сопротивлении грунта более чем  $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  разрешается увеличивать вышеуказанные величины в  $k = \frac{r}{100}$ , но не более чем в 10 раз.

Расчетные токи замыкания на землю принимают по данным энергосистемы либо путем расчетов.

Расчет заземления методом коэффициентов использования производится следующим образом.

1. В соответствии с ПУЭ устанавливается необходимое сопротивление заземления  $R_3$ .

2. Определяют путем замера, расчетом или на основе данных по работающим аналогичным заземлительным устройствам возможное

сопротивление растеканию естественных заземлителей  $R_e$ . Например, сопротивление заземления железобетонных фундаментов здания, связанных между собой металлическими конструкциями, определяется по формуле:

$$R_e = \frac{\rho}{\sqrt{S}},$$

где  $S$  — площадь, ограниченная периметром здания,  $m^2$ .

3. Если  $R_e \leq R_3$ , то устройство искусственного заземления не требуется.

Если  $R_e > R_3$ , то необходимо устройство искусственного заземления. Сопротивление, в Ом, растекания искусственного заземления

$$R_{и} = \frac{R_3 \cdot R_e}{(R_e - R_3)}. \quad (12.1)$$

Далее расчет ведется по  $R_{и}$ .

4. Определяют удельное сопротивление грунта  $\rho$  из табл. 12.3. При производстве расчетов эти значения должны умножаться на коэффициент сезонности  $k_c$ , зависящий от климатических зон и вида заземлителя (табл. 12.4).

Расчетное удельное сопротивление грунта следующее:  
для стержневых заземлителей (вертикальных заземлителей)

$$\rho_{расч.в} = k_c \cdot \rho; \quad (12.2)$$

для протяженного заземлителя (горизонтальных полос)

$$\rho_{расч.г} = k'_c \cdot \rho. \quad (12.3)$$

5. Определяют сопротивление, Ом, растеканию одного вертикального заземлителя — стержневого круглого сечения (трубчатый или уголкового) в земле (рис. 12.2):

$$R_B = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч.в.}}{l} \left( \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t' + l}{4t' - l} \right), \quad (12.4)$$

при этом  $l \gg d$ ,  $t_0 \gg 0,5$ ;

для уголка с шириной полки  $b$  получают  $d = 0,95b$ . (12.5)

Все размеры даны в метрах, а удельное сопротивление грунта в Омах, умноженных на метр (100 Ом · м).

Сопротивление, Ом, растеканию вертикального заземлителя можно определить по упрощенным формулам:

- для уголка 50×50×5 мм  $R_B = 0,348 \cdot \rho_{расч.в.} \cdot k_c; \quad (12.6)$

- для уголка 60×60×6 мм  $R_B = 0,289 \cdot \rho_{расч.в.} \cdot k_c; \quad (12.7)$

- для уголка 75×75×8 мм  $R_B = 0,292 \cdot \rho_{расч.в.} \cdot k_c; \quad (12.8)$

- для трубы диаметром 60 мм:

$$l = 2 - 2,5 \text{ м}, R_B = 0,0302 \cdot \rho_{расч.в.} \cdot k_c. \quad (12.9)$$

6. Установив характер расположения заземлителей (в ряд или контуром), определяют число вертикальных заземлителей

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{в}}}{(\eta_{\text{в}} \cdot R_{\text{и}})}, \quad (12.10)$$

где  $\eta_{\text{в}}$  — коэффициент использования вертикальных заземлителей, зависящий от количества заземлителей и расстояния между ними (табл. 12.5, 12.6)

Количество вертикальных заземлителей для определения  $\eta_{\text{в}}$  можно принять равным

$$\frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{и}}}. \quad (12.11)$$

7. При устройстве простых заземлителей в виде короткого ряда вертикальных стержней расчет на этом можно закончить и не определять проводимость соединяющей полосы, поскольку длина ее относительно невелика (в этом случае фактически сопротивление заземляющего устройства будет несколько завышено).

При устройстве заземлителей по контуру из ряда вертикальных заземлителей целесообразно учитывать и сопротивление растеканию полос (горизонтальный заземлитель). Для этого на площади установки заземления намечают, как будут размещены вертикальные заземлители  $n_{\text{в}}$ , и определяют длину, м, соединительной полосы

$$l = 1,05 \cdot n_{\text{в}} \cdot a, \quad (12.12)$$

где  $a$  — расстояние между вертикальными заземлителями (обычно отношение расстояния между вертикальными заземлителями к их длине принимают равным  $\frac{a}{l} = 1; 2; 3$ ).

8. Определяют сопротивление, Ом, растеканию горизонтального заземлителя. Для стержневого круглого сечения (рис. 12.3):

$$R_{\text{Г}} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г}}}{l} \lg \frac{l^2}{dt'}. \quad (12.13)$$

Здесь  $l > d$ ;  $l > 4t'$ . Для полосы шириной  $b$  получают

$$d = 0,5b. \quad (12.14)$$

Действительное сопротивление, Ом, растеканию горизонтального заземлителя с учетом коэффициента использования

$$R'_{\text{Г}} = \frac{R_{\text{Г}}}{\eta_{\text{Г}}}, \quad (12.15)$$

где  $\eta_{\text{Г}}$  — коэффициент использования горизонтального заземлителя определяется по табл. 12.7, 12.8.

9. Уточняется сопротивление, Ом, растеканию заземлителей с учетом сопротивления горизонтального заземлителя

$$R_{\text{в}} = \frac{R'_{\text{Г}} \cdot R_{\text{и}}}{R}. \quad (12.16)$$

10. Определяют уточненное количество вертикальных заземлителей. Здесь  $n'_B$  округляется в сторону увеличения

$$n'_B = \frac{R_B}{(\eta_B \cdot R'_B)} \quad (12.17)$$

Таблица 12.2

**Допустимое сопротивление заземляющего устройства в электроустановках до и выше 1000 В**

Наибольшие допустимые значения $R_3$ , Ом	Характеристики электроустановок
$R_3 \leq 0,5$	Для электроустановок напряжением выше 1000 В и расчетным током замыкания на землю $I_3 > 500$ А
$R_3 = 250 / I_3 \leq 10$	Для электроустановок напряжением выше 1000 В и расчетным током замыкания на землю $I_3 < 500$ А
$R_3 = 125 / I_3 \leq 10$	При условии, что заземляющее устройство является общим для электроустановок напряжением до и выше 1000 В и расчетном токе замыкания на землю $I_3 < 500$ А
$R_3 \leq 2$	В электроустановках напряжением 660/380 В
$R_3 \leq 4$	В электроустановках напряжением 380/220 В
$R_3 \leq 8$	В электроустановках напряжением 220/127 В

Таблица 12.3

**Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды  $\rho$ , Ом · м**

Наименование грунта	Удельное сопротивление, Ом · м
Песок	700
Супесок	300
Суглинок	100
Глина	40
Садовая земля	40
Глина (слой 7–10 м) или гравий	70
Мергель, известняк, крупный песок с валунами	1000–2000
Скала, валуны	2000–4000
Чернозем	20
Торф	20
Речная вода (на равнинах)	10–100
Морская вода	0,2–1

**Признаки климатических зон и значения коэффициента  $k_c$** 

Данные, характеризующие зоны и тип применяемых заземляющих электродов	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Климатические признаки зон: • средняя многолетняя низшая температура (январь) • средняя многолетняя высшая температура (июль) • среднее количество осадков, мм • продолжительность замерзания вод, дн.	От -20 до -15 °С  От +16 до +18 °С ~400 190–170	От -14 до -10 °С  От +18 до +22 °С ~500 150	От -10 до 0  От +22 до +24 °С ~500 100	От 0 до +5 °С  От +24 до +26 °С ~300–500 0
Значение коэффициента $k_c$ при применении стержневых электродов длиной 2–3 м и глубине заложения их вершины 0,5–0,8 м	1,8–2	1,5–1,8	1,4–1,6	1,2–1,4
Значение коэффициента $k_c'$ при применении протяжных электродов и глубине заложения их вершин 0,8 м	4,5–7,0	3,5–4, 5	2,0–2,5	1,5–2,0
Значения $k_c$ при длине стержней 5 м и глубине заложения их вершины 0,7–0,8 м	1,35	1,25	1,15	1,1

**Дополнение к табл. 12.4**

Примерное распределение областей РФ, стран СНГ и Прибалтики по климатическим зонам следующее.

*I зона*

Республика Карелия севернее Петрозаводска, Республика Коми, Архангельская и Кировская области, Заволжье восточнее Казани и Куйбышева, Урал, северные области Казахстана, Омская, Новосибирская, Иркутская и Читинская области, южные районы Тюменской области, Хабаровского и Красноярского краев, Приморский край и Сахалинская область.

*II зона*

Ленинградская область, южная часть Республики Карелия, Вологодская область, центральные районы России до Волгоградской области на юге, центральные области Казахстана (у Аральского моря и озера Балхаш).

*III зона*

Латвия, Эстония, Литва, Белоруссия, Украина (кроме южных областей), Псковская, Новгородская, Смоленская, Брянская, Курская и Ростовская области, южные области Казахстана.

#### IV зона

Молдавия, Одесская, Херсонская и Крымская области Украины, Краснодарский и Ставропольский края, Астраханская область, Азербайджан, Грузия, Армения, Узбекистан, Таджикистан, Киргизия и Туркменистан.

Таблица 12.5

#### Коэффициенты использования $\eta_v$ вертикальных электродов из труб, уголков или стержней, размещенных в ряд без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между электродами к их длине $a/l$	Число электродов $n_v$	$\eta_v$
1	2	0,84–0,87
	3	0,76–0,80
	5	0,67–0,72
	10	0,56–0,62
	15	0,51–0,56
	20	0,47–0,50
2	2	0,90–0,92
	3	0,85–0,88
	5	0,79–0,83
	10	0,72–0,77
	15	0,66–0,73
	20	0,65–0,70
3	2	0,93–0,95
	3	0,90–0,92
	5	0,85–0,88
	10	0,79–0,83
	15	0,76–0,80
	20	0,74–0,79

Таблица 12.6

#### Коэффициент использования $\eta_v$ вертикальных электродов из труб, уголков, стержней, размещенных по контуру без учета влияния полосы связи

Отношение расстояния между электродами к их длине $a/l$	Число электродов $n_v$	$\eta_v$
1	4	0,66–0,72
	6	0,58–0,65
	10	0,52–0,58
	20	0,44–0,50
	40	0,38–0,44
	60	0,36–0,42
	100	0,33–0,39

Отношение расстояния между электродами к их длине $a/l$	Число электродов $n_b$	$\eta_b$
2	4	0,76–0,80
	6	0,71–0,75
	10	0,66–0,71
	20	0,61–0,66
	40	0,55–0,61
	60	0,52–0,58
	100	0,49–0,55
3	4	0,84–0,86
	6	0,78–0,82
	10	0,74–0,78
	20	0,68–0,73
	40	0,64–0,69
	60	0,62–0,67
	100	0,59–0,65

Таблица 12.7

**Коэффициенты использования  $\eta_r$  горизонтального  
полосового электрода (трубы, уголки, полосы и т. д.)  
при размещении вертикальных электродов в ряд**

Отношение расстояния между электродами к длине $a/l$	$\eta_r$ при числе электродов в ряду							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47

Таблица 12.8

**Коэффициенты использования  $\eta_r$  горизонтального полосового  
электрода (трубы, уголки, полосы и т. д.) при размещении  
вертикальных электродов по контуру**

Отношение расстояния между электродами к длине $a/l$	$\eta_r$ при числе электродов в контуре заземления								
	4	5	8	10	20	30	50	70	100
1	0,45	0,40	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20	0,19
2	0,55	0,48	0,43	0,40	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
3	0,65	0,64	0,60	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35	0,33



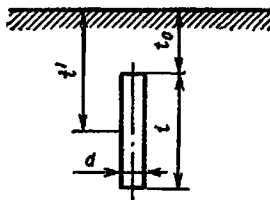


Рис. 12.2. Расположение вертикального заземлителя в земле

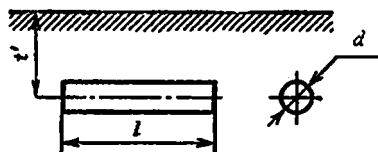


Рис. 12.3. Расположение горизонтального заземлителя в земле

### 12.3. Особенности защитных мер электробезопасности в сельскохозяйственных помещениях для содержания животных

Питание электроустановок животноводческих помещений следует, как правило, выполнять от сети напряжением 380/220 В переменного тока.

Для защиты людей и животных при косвенном прикосновении должно быть выполнено автоматическое отключение питания с применением системы TN-C-S. Разделение PEN-проводника на нулевой защитный (PE) и нулевой рабочий (N) проводники следует выполнять на вводном щитке. При питании таких электроустановок от встроенных и пристроенных подстанций должна быть применена система TN-S, при этом нулевой рабочий проводник должен иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников на всем его протяжении.

Время защитного автоматического отключения питания в помещениях для содержания животных, а также в помещениях, связанных с ними при помощи сторонних проводящих частей, должно соответствовать табл. 12.9.

Если указанное время отключения не может быть гарантировано, необходимы дополнительные защитные меры, например, дополнительное уравнивание потенциалов.

PEN-проводник на вводе в помещение должен быть повторно заземлен. Значение сопротивления повторного заземления должно соответствовать ПУЭ.

В помещениях для содержания животных необходимо предусматривать защиту не только людей, но и животных, для чего должна быть

выполнена дополнительная система уравнивания потенциалов, соединяющая все открытые и сторонние проводящие части, доступные одновременному прикосновению (трубы водопровода, вакуумпровода, металлические ограждения стойл, металлические привязи и др.).

В зоне размещения животных в полу должно быть выполнено выравнивание потенциалов при помощи металлической сетки или другого устройства, которое должно быть соединено с дополнительной системой уравнивания потенциалов.

Устройство выравнивания и уравнивания электрических потенциалов должно обеспечивать в нормальном режиме работы электрооборудования напряжение прикосновения не более 0,2 В, а в аварийном режиме при времени отключения более указанного в табл. 12.9 для электроустановок в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках — не более 12 В.

Для всех групповых цепей, питающих штепсельные розетки, должна быть дополнительная защита от прямого прикосновения при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА.

В животноводческих помещениях, в которых отсутствуют условия, требующие выполнения выравнивания потенциалов, должна быть выполнена защита при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не менее 100 мА, устанавливаемых на вводном щитке.

Таблица 12.9

**Наибольшие допустимые времена защитного автоматического отключения для системы TN в помещениях для содержания животных**

Номинальное линейное напряжение $U_0$ , В	Время отключения, с
127	0,35
220	0,2
380	0,05

## Глава 13. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

### 13.1. Общие положения

В соответствии с главой 6 ПУЭ 7-го издания для электрического освещения следует, как правило, применять разрядные лампы низкого давления (например, люминесцентные), лампы высокого давления (например, металлогалогенные типа ДРИ, ДРИЗ, натриевые типа ДНаТ, ксе-

ноновые типов ДКсТ, ДКсТЛ, ртутно-вольфрамовые, ртутные типа ДРЛ). Допускается использование и ламп накаливания.

Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток лампы  $\Phi_{\text{л}}$  лм, при лампах накаливания или световой поток группы ламп светильника при люминесцентных лампах.

### 13.2. Метод коэффициента использования светового потока

Расчет по методу коэффициента использования ведется в следующем порядке.

1. Определяется требуемая нормами освещенность  $E$ , лк. Нормируемая освещенность в помещениях жилых зданий, лечебно-профилактических и культурно-зрелищных учреждений дается в Своде правил СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий». Кроме того, нормируемая освещенность для зданий и сооружений различного назначения, мест производства работ вне зданий, площадок промышленных и сельскохозяйственных предприятий, железнодорожных путей площадок предприятий, наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов дается в СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».

2. Определяется тип светильников (табл. 13.1) и их предварительное число  $n$  при наивыгоднейшем расположении. Наивыгоднейшее расстояние между светильниками или рядами светильников  $L$  к высоте подвеса над рабочей поверхностью ( $L/h$ ) для получения наименьшей неравномерности распределения освещенности на горизонтальной поверхности для различных классификационных групп светильников (см. табл. 13.1) равно:

$$\begin{aligned} (Д1) &— 1,3; (Д2) &— 0,96; (Г1) &— 0,91; (Г2) &— 0,77; \\ (Г3) &— 0,66; (Г4) &— 0,57; (К1) &— 0,49; (К2) &— 0,42. \end{aligned}$$

Расстояние от стены до ближайшего светильника с газоразрядными лампами  $l = (0,25-0,3) L$ , когда работа проводится непосредственно у стены, и  $l = (0,4-0,5) L$ , когда у стены работа не производится.

Относительное расстояние между светильниками с лампами накаливания для I–IV конструктивно-светотехнических схем светильников (см. табл. 13.2) принимается  $L/h = 1,2 \times 1,7$ .

3. Определяется индекс помещения

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \quad (13.1)$$

где  $S$  — площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $h$  — расчетная высота (расстояние от светильника до рабочей поверхности), м;  $A$  и  $B$  — длина и ширина помещения, м.

Индекс помещения может быть взят непосредственно из табл. 13.5. В горизонтальной строке, соответствующей данному отношению  $A : B$ , находим принятую величину расчетной высоты  $h$ . Затем по вертикальной графе опускаемся до значения площади помещения. Справа по этой горизонтали находится индекс помещения  $i$ .

По табл. 13.1 определяются КПД светильника  $\eta_c$  и КПД помещения  $\eta_{п.}$ . Далее определяется коэффициент использования светового потока  $\eta = \eta_c \cdot \eta_{п.}$

Определяется необходимый поток каждого светильника  $\Phi$ , лм, по формуле

$$\Phi = \frac{Ek_3Sz}{m\eta}, \quad (13.2)$$

где  $E$  — нормируемая освещенность, лк;  $k_3$  — коэффициент запаса (табл. 13.3);  $S$  — освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  $z$  — коэффициент минимальной освещенности, значения которого для ламп накаливания и ДРЛ равны 1,15; для люминесцентных ламп — 1,1.

По найденному потоку  $\Phi$  выбирается стандартная лампа (табл. 13.4).

При расчетах люминесцентного освещения, если намечено число рядов  $N$ , которое подставляется в формулу вместо  $n$ , под  $\Phi$  следует понимать поток одного ряда.

### 13.3. Метод удельной мощности

Одним из наиболее простых и приближенных способов определения мощности ламп, необходимых для равномерного освещения какого-либо помещения, является расчет по методу удельной мощности.

*Удельной мощностью, Вт/м<sup>2</sup>, называется отношение установленной мощности ламп к величине освещаемой площади.*

При таком методе расчета принимают, исходя из опытных данных, что для создания средней освещенности 100 лк на каждый квадратный метр площади освещаемого помещения требуется удельная мощность 16–20 Вт/м<sup>2</sup> при прямом освещении лампами накаливания и 6–10 Вт/м<sup>2</sup> при прямом освещении люминесцентными лампами. Эти расчеты верны для расчета при светлых потолках и стенах. Так как между освещенностью  $E$  и удельной мощностью существует прямая пропорциональность, то при освещенности, отличной от 100 лк, удельная мощность будет равна

$$\omega_x = \omega E_x / 100. \quad (13.3)$$

Так, например, если  $\omega$  при освещенности 100 лк равна 8 Вт/м<sup>2</sup>, то при освещенности 300 лк она будет в три раза больше, т. е.

$$\omega_{300} = \omega_{100} \frac{300}{100} = 8 \cdot 3 = 24 \text{ Вт/м}^2. \quad (13.4)$$

Большие значения удельной мощности принимаются для помещений с меньшей площадью освещения. Задавая число светильников (с лампами накаливания и лампами ДРЛ), определяют мощность, Вт, одной лампы:  $P = \omega S/n$ , где  $S$  — освещаемая площадь помещения,  $\text{м}^2$ ;  $n$  — число светильников.

Если расчетная мощность лампы не равна ее стандартной мощности, то выбирается ближайшая по мощности большая стандартная лампа (см. табл. 13.4). При люминесцентных лампах предварительно определяют число рядов светильников  $N$ , затем принимают значение удельной мощности  $\omega$ . Далее определяют число светильников в ряду:

$$n' = \frac{\omega S}{N p a}, \quad (13.5)$$

где  $p$  — мощность одной лампы, Вт;  $a$  — количество ламп в светильнике.

## 13.4. Пример

Определить мощность и количество ламп дневного света для освещения конторского помещения при следующих данных: площадь освещения  $S = 6 \cdot 10 = 60 \text{ м}^2$ ; высота подвеса светильников 2 м, напряжение сети 220 В, освещенность  $E = 200 \text{ лк}$ . Потолки побелены, стены светлые.

*Решение*

### Метод коэффициента использования светового потока

1. Принимают к установке светильники типа ШОД 2×80, группа светильника Г1. Располагают светильники в два параллельных ряда по три в каждом. Чтобы определить наиболее выгодное расстояние между рядами светильников для группы Г1, надо принять  $L/h = 0,91$ . Тогда  $L = 2 \cdot 0,91 = 1,82 \text{ м}$ .
2. Индекс помещения находят по табл. 13.3:  $i = 2,0$ .
3. Коэффициенты отражения принимают:  $\rho_{\text{пот}} = 70 \%$ ;  $\rho_{\text{ст}} = 50 \%$ ;  $\rho_{\text{пол}} = 10 \%$ .
4. Коэффициенты полезного действия: светильника  $\eta_{\text{с}} = 42 \% = 0,42$  (табл. 13.1, примечание); помещения  $\eta_{\text{п}} = 82 \% = 0,82$  (см. табл. 13.1).
5. Коэффициент использования светового потока равен  $\eta = \eta_{\text{с}} \eta_{\text{п}} = 0,42 \cdot 0,82 = 0,344$ .
6. Световой поток одного ряда светильников

$$\Phi = \frac{E k_3 S z}{\eta} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 1,1}{2 \cdot 0,344} = 28779 \text{ лм.}$$

Световой поток на одну лампу

$$\Phi_1 = \frac{\Phi}{3 \cdot 2} = \frac{28779}{6} = 4796 \text{ лм.}$$

Световой поток люминесцентной лампы ЛБ 80 Вт равен 4960 лм (см. табл. 13.4).

**Метод удельной мощности**

1. Принимают удельную мощность светильников

$$\omega_{200} = \omega_{100} \frac{200}{100} = 8 \frac{200}{100} = 16 \text{ Вт/м}^2.$$

2. Мощность одного светильника

$$P = \frac{\omega S}{N}.$$

3. Мощность каждой лампы (в каждом светильнике две лампы)

$$P_{\text{л}} = 160/2 = 80 \text{ Вт}.$$

Световой поток люминесцентной лампы ЛБ 80 Вт равен 4960 лм (см. табл. 13.4).

**Метод удельной мощности**

1. Принимают удельную мощность светильников

$$\omega_{200} = \omega_{100} \frac{200}{100} = 8 \frac{200}{100} = 16 \text{ Вт/м}^2.$$

2. Мощность одного светильника

$$P = \frac{\omega S}{N}.$$

3. Мощность каждой лампы (в каждом светильнике две лампы)

$$P_{\text{л}} = 160/2 = 80 \text{ Вт}.$$

Таблица 13.1

Значения коэффициентов полезного действия помещения  $\eta_{\text{п}}$ 

Группы светильников	ρ <sub>плот</sub> , %																		
	70						70						70						
	ρ <sub>ст</sub> , %																		
	50						50						30						
	ρ <sub>плот</sub> , %																		
	30						10						10						
	Индекс помещения i																		
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	
	M	35	60	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86	26	36	46	56	67	80
	Д1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79	28	40	49	59	68	74
Д2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	76	84	92	33	43	56	74	80	76	
Г1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94	42	52	69	78	73	76	
Г2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96	48	60	73	84	90	94	
Г3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	86	90	93	57	66	76	84	83	91	
Г4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87	62	69	76	81	84	85	
К1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92	65	73	81	86	89	90	
К2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100	67	75	84	93	97	100	



Таблица 13.1

Значения коэффициентов полезного действия помещения  $\eta_{\text{п}}$ 

Группы светильников	$\rho_{\text{плот}} , \%$																	
	70						70						70					
	$\rho_{\text{ст}} , \%$																	
	50						50						30					
	$\rho_{\text{плот}} , \%$																	
	30						10						10					
Индекс помещения $i$																		
	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
M	35	60	61	73	83	95	34	47	56	66	75	86	26	36	46	56	67	80
Д1	36	50	58	72	81	90	36	47	56	63	73	79	28	40	49	59	68	74
Д2	44	52	68	84	93	103	42	51	64	76	84	92	33	43	56	74	80	76
Г1	49	60	75	90	101	106	48	57	71	82	89	94	42	52	69	78	73	76
Г2	58	68	82	96	102	109	55	64	78	86	92	96	48	60	73	84	90	94
Г3	64	74	85	95	100	105	62	70	79	86	90	93	57	66	76	84	83	91
Г4	70	77	84	90	94	99	65	71	78	83	86	87	62	69	76	81	84	85
К1	74	83	90	96	100	106	69	76	83	88	91	92	65	73	81	86	89	90
К2	75	84	95	104	108	115	71	78	87	95	97	100	67	75	84	93	97	100

Окончание табл. 13.1

Группы светильников		$\rho_{\text{пот}}, \%$																	
		70						50						30					
		$\rho_{\text{ст}}, \%$																	
		10																	
		$\rho_{\text{пол}}, \%$																	
		50						30						10					
		30						10						10					
		Индекс помещения $i$																	
		0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5	0,6	0,8	1,25	2	3	5
М	32	45	55	67	74	84	31	43	53	63	72	80	23	36	45	56	65	75	86
	36	48	57	66	76	85	34	47	54	63	70	77	27	40	48	55	65	73	86
Д2	42	51	65	71	90	85	40	48	61	74	82	84	33	42	52	69	75	86	98
	45	56	65	78	76	84	44	53	69	77	83	80	41	48	64	76	70	88	99
Г2	55	65	80	92	98	103	53	63	76	85	90	94	48	58	72	83	86	93	99
Г3	63	72	83	91	96	100	61	68	78	84	88	91	57	65	75	83	86	90	99
Г4	68	73	81	87	91	94	65	71	78	81	84	85	62	68	74	81	83	85	99
К1	70	78	86	92	96	100	68	77	83	86	89	90	64	73	80	86	88	90	99
К2	72	80	91	99	103	108	71	78	87	93	98	99	68	74	84	92	93	99	99

### Примечания к табл. 13.1

#### Примечание 1

Группы светильников различаются по кривым света (КСС). В каждую группу входят следующие светильники (в скобках приведены их КПД).

Группа М — НСО02 (35 %); НРО20 (40 %); НСП02 (42 %); НСПОЗ (45 %); ГПП01 (60 %); НСП11 (47 %); НСР02 (45 %); РСП11 (40 %); РПП01 (60 %).

Группа Д1 — НСП01 (55 %); НСП11 (53 %); НСР01 (47 %); ЛСП16 (60 %); ЛСП18 (65 %); РСП11 (60 %); ПВЛМ (85 %); ПВЛП (65 %); Л2О10 (50 %); ЛПО33 (55 %); ЛПБ35 (50 %); ЛПО02 (48 %); ЛПО16–20М (55 %); ЛПО16 (45 %); ЛПО25 (40 %); ЛПО26 (45 %); ЛПО30 (48 %); ПЛК-150С (60 %); ПКР-300М (30 %); ППО7 (50 %).

Группа Д2 — НСП01 (71 %); НСП21 (71 %); НСП22 (75 %); ЛСП06 (65 %); ЛПО21 (48 %); ЛПО22 (48 %); ЛПО28 (47 %); ЛПО30 (48 %); ЛПО31 (40 %); НСО02 (55 %); НПО01 (54 %); РСП21 (65 %).

Группа Г1 — НСП20 (75 %); НЧБН (65 %); ЛСП02 (60 %); ЛВП02 (45 %); ЛВП04 (45 %); НЧТЧЛ (55 %); РСП05 (70 %); РСП13 (70 %); РСП16 (60 %); ЛПО02 (50 %); ЛПО30 (60 %); ШОД (42 %).

Группа Г2 — ЛСП13 (75 %); ГСП14 (72 %); ГСП15 (70 %); УСП-2 (50 %); УСП-4 (65 %); ЛСО02 (30 %).

Группа Г3 — РСП13 (75 %); ГСП17 (75 %).

Группа Г4 — РСП14 (77 %); ЖПО1 (70 %); ГСП18 (75 %); НСП17 (80 %).

Группа К1 — НСП17 (80 %); РСП05 (80 %); РСП13 (75 %); ГСП 17 (75 %).

Группа К2 — ЖСП01 (70 %); ГСП18 (75 %); НЧТЧЛ (70 %).

#### Примечание 2

$\rho_{\text{пот}}$   $\rho_{\text{ст}}$   $\rho_{\text{пол}}$  — коэффициенты отражения светового потока потолка, стен, пола соответственно.

Эксплуатационные группы светильников





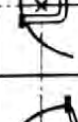
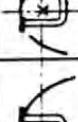

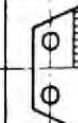
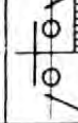





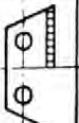
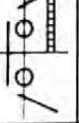
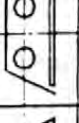
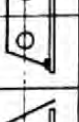



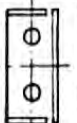
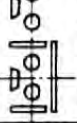
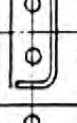

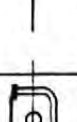
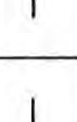
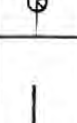
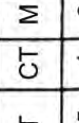
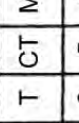
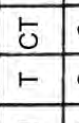
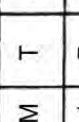
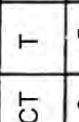
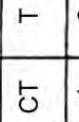
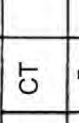
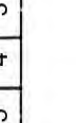
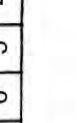
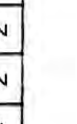
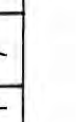
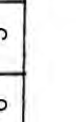
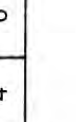
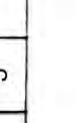
Конструктивно-светотехнические схемы светильников	I		II		III		IV		V		VI		VII	
	Т	СТ	Т	СТ	Т	СТ	Т	СТ	Т	СТ	Т	СТ	Т	СТ
С лампами накаливания и ГЛВД														
														
С люминесцентными лампами														
														
Группа твердости светотехни- ческих материалов (покрытий)														
														
Эксплуатационная группа светильников	5		4		3		6		5		4		6	
	5		4		3		6		5		4		6	

Таблица 13.3

Значения коэффициента запаса  $k_z$ 

Освещаемые объекты	$k_z$ при лампах	
	газоразрядных	накаливания
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей 10 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти:		
а) при темной пыли	2,0	1,7
б) при светлой пыли (хлопковая)	1,8	1,5
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей 5–10 мг/м <sup>3</sup> пыли,		
а) при темной пыли	1,8	1,5
б) при светлой пыли	1,6	1,4
Производственные помещения с воздушной средой, содержащей не более 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти. Вспомогательные помещения с нормальной воздушной средой и помещения общественных и жилых зданий	1,5	1,3
Площадки промышленных предприятий:		
а) с воздушной средой, содержащей более 5 мг/м <sup>3</sup> пыли, дыма, копоти	1,5	1,3
а) с воздушной средой, содержащей 0,5 мг/м <sup>3</sup> и менее пыли, дыма, копоти	1,5	1,3
Улицы, площади, дороги, территории общественных зданий, жилых районов и выставок, парки, бульвары	1,5	1,3

Таблица 13.4

**Лампы накаливания и люминесцентные**

Лампы накаливания				Люминесцентные лампы		
Мощность, Вт	Тип	Световой поток $\Phi$ , лм, при напряжении		Мощность, Вт	Тип	Световой поток $\Phi$ , лм, рас- четный
		127 В	220 В			
15	В	135	105	20	ЛДЦ	780
25	В	260	220	20	ЛД	870
40	Б	493	400	20	ЛБ	1120
40	БК	520	460	30	ЛДЦ	1375
60	БК	875	790	30	ЛД	1560
100	Б	1560	1350	30	ЛБ	1995
150	Г	3300	2000	40	ЛДЦ	1995
200	Г	3200	2800	40	ЛД	2225
300	Г	4950	4600	40	ЛБ	2850
500	Г	9100	8300	80	ЛДЦ	3380
750	Г	—	13 100	80	ЛД	3865
1000	Г	19 500	18 600	80	ЛБ	4960

*Примечание.* В обозначении типа ламп накаливания: В — вакуумная, Б — биспиральная газонаполненная, БК — биспиральная криптоновая, Г — газонаполненная.

Таблица 13.5

# Определение индекса помещения

Диа- па- зон		Расчетная высота $h$ , м																	Индексы $i$		
		1-1,5	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,1	5,5		6	6,5
		1,5-2,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,8	3	3,2	3,4	3,7	4	4,3	4,6	4,9	5,2		5,7	6,2
		2,5-3,5	1,6	1,8	1,9	2,1	2,3	2,5	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,7	4	4,2	4,5	4,8		5,3	5,7
Площадь помеще- ния $S$ , м	4	5	6	7,2	8,5	9,7	11,2	12,7	14,4	16,2	19	22	25	29	32,5	37	45	52	0,5		
	5,6	6,9	8,3	10	11,8	13,5	15,6	17,7	20	22,6	26,4	30,5	35	40	45	52	62	73	0,6		
	7,5	9,2	11,3	13,2	15,6	18	20,7	23,5	26,5	30	35	40	46,5	53	60	70	83	87	0,7		
	9,5	11,8	14,3	17	20,1	23,2	26,7	30	34	38,5	45	52	60	68	76	90	106	125	0,8		
	11,9	14,8	17,8	21,2	25	29	33	37,7	42	48	56	65	75	85	96	111	132	156	0,9		
	14,6	17,6	22	26	30	35,2	40	46	52	58	68	80	91	104	117	136	162	191	1		
	18	23	27	33	37	44	51	58	65	73	86	100	114	130	147	170	203	240	1,1		
	25	31	37	45	52	61	70	80	89	101	118	137	157	180	203	233	289	330	1,25		
	35	43	52	62	73	85	97	110	124	142	165	191	219	251	282	327	390	460	1,5		
	47	57	69	83	97	112	130	147	165	188	220	253	291	333	351	433	515	610	1,75		
	60	73	89	107	125	144	168	189	213	241	280	325	375	426	480	555	660	780	2		
	75	92	111	134	156	180	209	236	266	301	350	407	460	533	600	700	830	980	2,25		
	101	124	150	180	210	244	280	317	360	406	470	545	630	720	810	930	1120	1320	2,5		
	139	172	208	250	295	340	390	440	500	560	660	760	870	1000	1130	1300	1560	1840	3		
	185	230	275	330	330	330	450	520	580	660	750	880	1010	1160	1330	1500	1750	2070	3,5		
	270	330	400	480	480	560	650	750	850	960	1090	1270	1470	1700	1920	2180	2350	3000	4		
	390	480	580	700	820	950	1070	1240	1400	1580	1850	2130	2450	2800	3150	3650	4400	5100	5		

### *Контрольные вопросы к разделу III*

1. Определение каких характеристик является одной из первых и основополагающих частей проекта электроустановки?
2. Какие режимы работы различают для силовых электроприемников?
3. Как выглядит уравнение баланса активных мощностей в электрической системе?
4. Как выглядит уравнение баланса реактивной мощности в электрической системе?
5. Какие устройства используются на промышленных предприятиях для компенсации реактивной мощности?
6. Каковы условия выбора сечения проводника в электрических сетях напряжением до 1 кВ?
7. Для каких электрических сетей проверяется сечение проводов и кабелей по допустимой потере напряжения?
8. С какой целью шинопроводы проверяют на электродинамическую стойкость?
9. Каковы условия выбора номинальных токов плавких вставок предохранителей и токов уставок автоматических выключателей, служащих для защиты отдельных участков сетей?
10. Для каких целей производится расчет токов короткого замыкания (к. з.) в системах электроснабжения напряжением до 1 кВ?
11. Где выбирается расчетная точка к. з. на участке сети при расчете однофазного короткого замыкания?
12. Что представляет собой заземление в соответствии с ПУЭ?
13. Какие типы заземляющих устройств имеются в зависимости от места размещения заземлителей относительно заземляемого оборудования?
14. При каких условиях применяются искусственные заземлители?
15. Из каких заземлителей состоит устройство искусственного заземления?



# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение 1

### Каталог нормативных документов

#### 1. Каталоги ГОСТ.

##### 1.1. Каталог ГОСТ по классификатору КГС

Группа по КГС	Название (тематика)
А	Горное дело. Полезные ископаемые
Б	Нефть и нефтяные продукты
В	Металлы и металлические изделия
Г	Машины, оборудование и инструмент
Д	Транспортные средства и тара
Е	Энергетическое и электротехническое оборудование
Ж	Строительство и стройматериалы
И	Силикатно-керамические и углеродные материалы и изделия
К	Лесоматериалы. Изделия из древесины. Целлюлоза. Бумага. Картон
Л	Химические продукты и резино-асбестовые изделия
М	Текстильные и кожевенные материалы и изделия
Н	Пищевые и вкусовые продукты
П	Измерительные приборы. Средства автоматизации и измерительной техники
Р	Здравоохранение. Предметы санитарии и гигиены
С	Сельское и лесное хозяйство
Т	Общетехнические и организационно-методические стандарты
У	Изделия культурно-бытового назначения
Ф	Атомная техника
Э	Электронная техника. Радиоэлектроника и связь

##### 1.2. Каталог ГОСТ по классификатору ОКС

Группа по ОКС	Название (тематика)
01	Общие положения. Терминология. Стандартизация. Документация
03	Организация и управление, администрация, услуги, социология
07	Математика. Естественные науки

Группа по ОКС	Название (тематика)
11	Здравоохранение
13	Охрана окружающей среды. Защита человека от воздействия окружающей среды. Безопасность
17	Метрология и измерения. Физические явления
19	Испытания
21	Механические системы и устройства общего назначения
23	Гидравлические и пневматические системы и компоненты общего назначения
25	Машиностроение
27	Энергетика и теплотехника
29	Электротехника
31	Электроника
33	Телекоммуникации. Аудио- и видеотехника
35	Информационные технологии
37	Технология получения изображений
39	Точная механика. Ювелирное дело
43	Дорожно-транспортная техника
45	Железнодорожная техника
47	Судостроение и морские сооружения
49	Авиационная и космическая техника
53	Подъемно-транспортное оборудование
55	Упаковка и размещение грузов
59	Текстильное и кожевенное производство
61	Швейная промышленность
65	Сельское хозяйство
67	Производство пищевых продуктов
71	Химическая промышленность
73	Горное дело и полезные ископаемые
75	Добыча и переработка нефти, газа и смежные производства
77	Металлургия
79	Технология переработки древесины
81	Стекольная и керамическая промышленность
83	Резиновая, резинотехническая, асбестотехническая и пласт-массовая промышленность
85	Целлюлозно-бумажная промышленность
87	Лакокрасочная промышленность
91	Строительные материалы и строительство
93	Гражданское строительство
97	Бытовая техника и торговое оборудование. Отдых. Спорт

### 1.3. Тематические группы ГОСТ (системы стандартов)

Код	Название (тематика)
ЕСКД	Единая система конструкторской документации
ЕСТД	Единая система технологической документации
СПКП	Система показателей качества продукции
СПДС	Система проектной документации для строительства
ГС ОЕИ	Государственная система обеспечения единства измерений
ССБТ	Система стандартов безопасности труда
СРПП	Система разработки и постановки продукции на производство
НТ	Надежность в технике
ЕСЗКС	Единая система защиты от коррозии и старения
СИБИД	Стандарты по информации, библиотечному и издательскому делу. Электронные издания
ЕСПД	Единая система программной документации
ИТ	Информационные технологии. Взаимосвязь открытых систем
ЕСС АСУ	Единая система стандартов автоматизированных систем управления
БЧС	Безопасность в чрезвычайных ситуациях
МР	Менеджмент риска

2. ППБ (Правила пожарной безопасности).
3. НПБ (Нормы противопожарной безопасности).
4. СНиП (Строительные нормы и правила).
5. СН (Строительные нормы).
6. СО (Стандарты организаций).
7. СанПиН (Санитарные правила и нормы).
8. ВНИП (Ведомственные нормы проектирования).
9. ВНТП (Ведомственные нормы технологического проектирования).
10. НТП (Нормы технологического проектирования).
11. ВН (Ведомственные нормы).
12. ВСН (Ведомственные строительные нормы).
13. ВСП (Ведомственные своды правил).
14. ГН (Гигиенические нормы).
15. РД (Руководящие документы).
16. РДС (Руководящие документы в строительстве).
17. Рекомендации.
18. СП (Свод правил).
19. Руководства.
20. РТМ (Руководящие технические материалы).
21. Инструкции.
22. МДС (Методические документы в строительстве).
23. МР (Методические рекомендации).

24. МУ (Методические указания).
25. НПРМ ((Нормативные показатели расхода материалов)).
26. РМ (Руководящие материалы).
27. Приказы (Приказы, письма и постановления).
28. ГСН (Государственные сметные нормы).
29. ГСНр (Государственные сметные нормы на ремонтно-строительные работы).
30. ГЭСН-2001 (Государственные элементные сметные нормы на строительные работы).
31. ГЭСНм-2001 (Государственные элементные сметные нормы на монтаж оборудования).
32. ГЭСНп-2001 (Государственные элементные сметные нормы на пусконаладочные работы ).
33. ГЭСНр-2001 (Государственные элементные сметные нормы на ремонтно-строительные работы).
34. ЕНиР (Единые нормы и расценки).
35. ТСН (Территориальные строительные нормы).
36. ФЕР-2001 (Федеральные единичные расценки на строительные конструкции и работы).
37. ФЕРм-2001 (Федеральные единичные расценки на монтаж).
38. ФЕРп-2001 (Федеральные единичные расценки на пусконаладочные работы).
39. ФЕРр-2001 (Федеральные единичные расценки на ремонтно-строительные работы).
40. ФССЦ (Федеральные сборники сметных цен).
41. ЭСНр-2001 (Элементные сметные нормы на ремонтно-строительные работы).
42. ЕРр-2001 (Единичные расценки на ремонтно-строительные работы).
43. ЕТКС (Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих).
44. Справочники базовых цен (Справочники базовых цен).
45. Правила / ПУЭ (Правила устройства электроустановок).
46. ПТЭ (Правила технической эксплуатации).
47. ПБ (Правила безопасности).
48. ПОТ (Правила по охране труда).
49. ОДН (Отраслевые дорожные нормы).
50. ОНТП (Общесоюзные нормы технологического проектирования).
51. ОСН (Отраслевые строительные нормы).
52. ОСТы (Отраслевые стандарты).
53. ОСТы / Минмонтажспецстрой (ОСТ (Отраслевые стандарты) Минмонтажспецстроя).
54. Положения.
55. Пособия (Пособия к СНиПам).

56. Правила.
57. РСН (Республиканские строительные нормы).
58. ТОИ (Типовые инструкции по охране труда).
59. ТР (Технологические/технические рекомендации и регламенты).
60. СТП (Стандарты предприятий).
61. Прочие документы.

## Примеры нормативных документов (часть документов указана в главе 1)

### Государственные стандарты

*Стандарты ЕСКД (часть стандартов — в главе 1):*

- ГОСТ 2.105–95. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.
- ГОСТ 2.004–88 ЕСКД. Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.
- ГОСТ 2.104–68 ЕСКД. Основные надписи.
- ГОСТ 2.106–68 ЕСКД. Текстовые документы.
- ГОСТ 2.109–73 ЕСКД. Основные требования к чертежам.
- ГОСТ 2.301–68 ЕСКД. Форматы.
- ГОСТ 2.302–68 ЕСКД. Масштабы.
- ГОСТ 2.303–68 ЕСКД. Линии.
- ГОСТ 2.304–81 ЕСКД. Шрифты чертежные.
- ГОСТ 2.316–68 ЕСКД. Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
- ГОСТ 2.321–84 ЕСКД. Обозначения буквенные.
- ГОСТ 2.503–90 ЕСКД. Правила внесения изменений.
- ГОСТ 2.701–84 ЕСКД. Правила выполнения схем.
- ГОСТ 2.710–81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
- ГОСТ 2.762–85 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Частоты и диапазоны частот для систем передачи с частотным разделением каналов.
- ГОСТ 2.763–85 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства с импульсно-кодовой модуляцией.
- ГОСТ 2.764–86 ЕСКД. Обозначения условные графические в электрических схемах. Интегральные оптоэлектронные элементы индикации.
- ГОСТ 2.756–76. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Воспринимающая часть электромеханических устройств.
- ГОСТ 2.503–90 ЕСКД. Правила внесения изменений.

- ГОСТ 7.32–91. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
- ГОСТ 6.38–90 УСД. Система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов.

*Стандарты ЕСТД (примеры):*

- ГОСТ 3.1001–81. Единая система технологической документации. Общие положения.
- ГОСТ 3.1102–81. Единая система технологической документации. Стадии разработки и виды документов.

*Стандарты СПДС (часть стандартов — в главе 1):*

- ГОСТ 21.002–81. Система проектной документации для строительства. Нормоконтроль проектно-сметной документации.
- ГОСТ 21.101–97. Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации.
- ГОСТ 21.110–95. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения спецификации оборудования, изделий и материалов.
- ГОСТ 21.113–88. Система проектной документации для строительства. Обозначения характеристик точности.

*Стандарты СПКП (примеры):*

- ГОСТ 4.100–83. Система показателей качества продукции. Изоляторы линейные. Номенклатура показателей.
- ГОСТ 4.137–85. Система показателей качества продукции. Приборы полупроводниковые силовые. Номенклатура показателей.
- ГОСТ 4.143–85. Система показателей качества продукции. Изделия кабельные. Номенклатура показателей.
- ГОСТ 4.147–85. Система показателей качества продукции. Изделия электротехнические. Аппараты низковольтные контактные. Номенклатура показателей.
- ГОСТ 4.148–85. Система показателей качества продукции. Устройства комплектные низковольтные. Номенклатура показателей.

*Стандарты ГС ОЕИ (примеры):*

- ГОСТ 8.001–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений.
- ГОСТ 8.002–86. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный надзор и ведомственный контроль за средствами измерений. Основные положения.
- ГОСТ 8.417–81 ГСИ. Единицы физических величин.
- ГОСТ 8.006–71. Государственная система обеспечения единства измерений. Вольтметры фазочувствительные. Методы и средства поверки.

*Стандарты ССБТ (часть стандартов — в главе 1):*

- ГОСТ Р 12.3.047–98. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
- ГОСТ 12.0.001–82. Система стандартов безопасности труда. Основные положения.
- ГОСТ 12.0.002–80. Система стандартов безопасности труда. Термины и определения.
- ГОСТ 12.0.003–74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- ГОСТ 12.1.009–76. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Термины и определения.
- ГОСТ 12.1.010–76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.1.012–90. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.
- ГОСТ 12.2.021–76. ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Порядок согласования технической документации, проведения испытаний, выдачи заключений и свидетельств.
- ГОСТ 12.3.032–84. ССБТ. Работы электромонтажные. Общие требования безопасности.
- ГОСТ 12.2.020–76. ССБТ. Электрооборудование взрывозащищенное. Классификация. Маркировка.
- ГОСТ 12.2.007.3–75. ССБТ. Электротехнические устройства на напряжение свыше 1000 В. Требования безопасности.
- ГОСТ 12.2.007.4–75. ССБТ. Шкафы комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций. Требования безопасности.
- ГОСТ 12.1.013–78. Система стандартов безопасности труда. Строительство. Электробезопасность. Общие требования.

*Стандарты СРПП (примеры):*

- ГОСТ 15.004–88. Система разработки и постановки продукции на производство. Средства индивидуальной защиты.
- ГОСТ 15.101–98. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ.

*Стандарты НТ (примеры):*

- ГОСТ 27.001–95. Система стандартов «Надежность в технике». Основные положения.

*Стандарты ЕСЗКС (примеры) :*

- ГОСТ 9.056–75. Единая система защиты от коррозии и старения. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме.

- ГОСТ 9.602–2005. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии.

*Стандарты СИБИД (примеры):*

- ГОСТ 7.0–99. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Информационно-библиотечная деятельность, библиография. Термины и определения.
- ГОСТ 7.32–2001. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

*Стандарты ЕСПД (примеры):*

- ГОСТ 19.005–85. Единая система программной документации. Р-схемы алгоритмов и программ. Обозначения условные графические и правила выполнения.
- ГОСТ 19.701–90. Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения.

*Стандарты ИТ (примеры):*

- ГОСТ 28397–89. Языки программирования. Термины и определения;
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119–2000. Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование.

*Стандарты ЕСС АСУ (примеры):*

- ГОСТ 24.303–80. Система технической документации на АСУ. Обозначения условные графические технических средств.
- ГОСТ 24.304–82. Система технической документации на АСУ. Требования к выполнению чертежей.

*Стандарты БЧС (примеры):*

- ГОСТ 22.0.03–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения;
- ГОСТ Р 22.8.01–96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Ликвидация чрезвычайных ситуаций. Общие требования.

*Стандарты МР (примеры):*

- ГОСТ Р МЭК 61160–2006. Менеджмент риска. Формальный анализ проекта;
- ГОСТ Р ИСО 17666–2006. Менеджмент риска. Космические системы.

*Стандарты электротехнические (часть стандартов — в главе 1):*

- ГОСТ 12175–90. Общие методы испытаний материалов для изоляции и оболочек электрических кабелей. Методы определения плотности. Испытания на водопоглощение и усадку.
- ГОСТ 12176–89. Кабели, провода и шнуры. Методы проверки на распространение горения.



- ГОСТ 12177–79. Кабели, провода и шнуры. Методы проверки конструкции.
- ГОСТ 12434–83. Аппараты коммутационные низковольтные. Общие технические условия.
- ГОСТ 14693–90. Устройства комплектные распределительные негерметизированные в металлической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия.
- ГОСТ 1494–77. Электротехника. Буквенные обозначения основных величин;
- ГОСТ 15049–81. Лампы электрические. Термины и определения.
- ГОСТ 21128–83. Системы электроснабжения, сети, источники, преобразователи и приемники электрической энергии. Номинальные напряжения до 1000 В.
- ГОСТ 21130–75. Изделия электротехнические. Зажимы заземляющие и знаки заземления. Конструкция и размеры.
- ГОСТ 27483–87. Испытания на пожароопасность. Методы испытаний. Испытания нагретой проволокой.
- ГОСТ Р 51330.0–99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования.
- ГОСТ Р 51330.11–99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 12. Классификация смесей газов и паров с воздухом по безопасным экспериментальным максимальным зазорам и минимальным воспламеняющим токам.
- ГОСТ Р 51330.9–99. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон.
- ГОСТ Р МЭК 61241-1-1–99. Электрооборудование, применяемое в зонах, опасных по воспламенению горючей пыли. Часть 1. Электрооборудование, защищенное оболочками и ограничением температуры поверхности. Раздел 1. Технические требования;
- ГОСТ Р МЭК 61241-1-2–99. Электрооборудование, применяемое в зонах, опасных по воспламенению горючей пыли. Часть 1. Электрооборудование, защищенное оболочками и ограничением температуры поверхности. Раздел 2. Выбор, установка и эксплуатация;
- ГОСТ Р 52320–2005. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть II. Счетчики электрической энергии.
- ГОСТ Р 52321–2005. Электромеханические счетчики активной энергии классов точности 0,5; 1 и 2.
- ГОСТ Р 52322–2005. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2.
- ГОСТ 8.259–2004. Счетчики электрические индукционные активной и реактивной энергии. Методика поверки.
- ГОСТ 25372–95. Условные обозначения для счетчиков электрической энергии переменного тока.
- ГОСТ 7746–2001. Трансформаторы тока. Общие технические условия.

- ГОСТ 1983–2001. Трансформаторы напряжения. Общие технические условия.
- ГОСТ 28895–91. Расчет термически допустимых токов короткого замыкания с учетом неадиабатического нагрева.

*Стандарты на электроустановки зданий (часть стандартов — в главе 1):*

- ГОСТ Р 50571.4–94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий.
- ГОСТ Р 50571.7–94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Отделение, отключение, управление.
- ГОСТ Р 50571.9–94. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков.
- ГОСТ Р 50571.17–2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 48. Выбор мер защиты в зависимости от внешних условий. Раздел 482. Защита от пожара.
- ГОСТ Р 50571.18–2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ.
- ГОСТ Р 50571.19–2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 443. Защита электроустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений.
- ГОСТ Р 50571.20–2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 444. Защита электроустановок от перенапряжений, вызванных электромагнитными воздействиями.
- ГОСТ Р 50571.21–2000. Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 548. Заземляющие устройства и системы уравнивания электрических потенциалов в электроустановках, содержащих оборудование обработки информации.
- ГОСТ Р 50571.24–2000. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 51. Общие требования.
- ГОСТ Р 50571.26–2002. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений.
- ГОСТ Р 50571.15–97. Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 54. Электропроводки.
- ГОСТ Р 50571.16–97. Электроустановки зданий. Часть 6. Испытания. Глава 61. Приемо-сдаточные испытания.
- ГОСТ Р 50571.12–96. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 703. Помещения, содержащие нагреватели для саун.

- ГОСТ Р 50571.13–96. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 706. Стесненные помещения с проводящим полом, стенами и потолком.
- ГОСТ Р 50571.14–96. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 705. Электроустановки сельскохозяйственных и животноводческих помещений.
- ГОСТ Р 50571.22–2000. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 707. Заземление оборудования обработки информации.
- ГОСТ Р 50571.23–2000. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 704. Электроустановки строительных площадок.
- ГОСТ Р 50571.25–2001. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки зданий и сооружений с электрообогреваемыми полами и поверхностями.
- ГОСТ Р 50571.11–96. Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 701. Ванные и душевые помещения.
- ГОСТ Р 51732–2001. Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия.

### Нормы пожарной безопасности

- НПБ 105–03. Определение категорий помещения и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности.
- НПБ 110–03. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией.
- НПБ 88–02. Установки пожаротушения и сигнализации. Нормы и правила проектирования.
- НПБ 77–98. Технические средства оповещения и управления эвакуацией. Общие технические требования. Методы испытаний.
- НПБ 242–97. Классификация и методы определения пожарной опасности электрических кабельных линий.
- НПБ 248–97. Кабели и провода электрические. Показатели пожарной опасности. Методы испытаний.
- Приказ МЧС № 320 от 08.07.2002 «Перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации в области пожарной безопасности».

### СНиП (часть документов — в главе 1)

- СНиП 21.01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
- СНиП 2.11.02–87. Холодильники.
- СНиП 2.10.05–85. Предприятия, здания и сооружения по хранению и переработке зерна.
- СНиП 2.10.04–85. Теплицы и парники.

- СНиП 2.10.03–84. Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения.
- СНиП 2.10.02–84. Здания и помещения для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции.
- СНиП 2.09.04–87. Административные и бытовые здания.

### Ведомственные строительные нормы

- ВСН 39-1.8-008–2002. Ведомственные строительные нормы. Указания по проектированию вставок электроизолирующих на магистральных и промысловых трубопроводах.
- ВСН 39-1.10-009–2002. Инструкция по отбраковке и ремонту труб линейной части магистральных газопроводов.
- ВСН-41902-2001. Ведомственные строительные нормы создания береговых производственных предприятий рыбного хозяйства.
- ВСН 39-1.22-007–2002. Указания по применению вставок электроизолирующих для газопровода.
- ВСН 39-1.10-003–2000. Положение по техническому обследованию и контролю за состоянием надземных переходов магистральных газопроводов.
- ВСН 1–93 (Минсвязи России). Инструкция по проектированию молниезащиты радиообъектов.
- ВСН 116–93 (Минсвязи России). Инструкция по проектированию линейно-кабельных сооружений связи.
- ВСН 123–90 (ММСС СССР). Инструкция по оформлению приемо-сдаточной документации по электромонтажным работам.

### Нормы технологического проектирования (часть документов — в главе 1)

- НТП-АПК 1.10.16.002–03. Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов.
- НТП-АПК 1.10.13.002–03. Нормы технологического проектирования складов жидких средств химизации.
- НТП-АПК 1.10.17.001–03. Нормы технологического проектирования баз и складов общего назначения предприятий ресурсного обеспечения.
- НТП-АПК 1.10.13.003–03. Нормы технологического проектирования складов пестицидов.
- НТП-АПК 1.10.06.002–00. Нормы технологического проектирования предприятий малой мощности звероводческих и кролиководческих ферм
- НТП-АПК 1.10.07.001–02. Нормы технологического проектирования ветеринарных объектов для животноводческих, звероводческих, птицеводческих предприятий и крестьянских хозяйств.
- НТП-АПК 1.10.10.001–02. Нормы технологического проектирования семейных ферм зернового направления и зернообработывающих предприятий малой мощности.

- НТП-АПК 1.10.09.001–02. Нормы технологического проектирования селекционных комплексов и репродукционных теплиц.
- НТП-АПК 1.10.07.003–02. Нормы технологического проектирования станций и пунктов искусственного осеменения животных.
- НТП-АПК 1.10.16.002–03. Нормы технологического проектирования сельскохозяйственных предприятий по производству комбикормов.

## Ведомственные нормы технологического проектирования

- ВНТП 10–91 (Главагпромнаучпроект). Нормы технологического проектирования предприятий пивоваренной промышленности.
- ВНТП 111–93 (Минсвязи России). Ведомственные нормы технологического проектирования. Проводные средства связи. Станции междугородные телефонные.
- ВНТП 18–93. Нормы технологического проектирования производства маргарина.
- ВНТП 2–96 (Минсельхозпрод России). Ведомственные нормы технологического проектирования свиноводческих предприятий.
- ВНТП 20–91. Ведомственные нормы технологического проектирования предприятий по производству растительных масел из семян масличных культур (подсолнечника, сои).
- ВНТП 03–91. Ведомственные нормы технологического проектирования свеклосахарных заводов.
- ВНТП 04–86 (Минторг СССР). Ведомственные нормы технологического проектирования заготовочных предприятий общественного питания по производству полуфабрикатов, кулинарных и кондитерских изделий.
- ВНТП 04–94. Нормы технологического проектирования заводов по розливу вин.
- ВНТП 04–94к. Нормы технологического проектирования предприятий по переработке картофеля на крахмал.
- ВНТП 21–92. Нормы технологического проектирования предприятий кондитерской промышленности.
- ВНТП 27–86. Ведомственные нормы технологического проектирования заводов розлива минеральных вод.
- ВНТП 81. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций.

## Типовые технологические карты (часть документов — в главе 1)

- ТТК. Монтаж осветительной электроустановки при открытой проводке.
- ТТК. Ремонт скрытой электропроводки.
- ТТК. Монтаж осветительной электроустановки при скрытой проводке.
- ТТК. Ремонт осветительной электроустановки квартиры с выполнением скрытой проводки.
- ТТК. Электропрогрев бетона.

- ТТК. Электрообогрев проволочными и пластинчатыми нагревателями монолитных конструкций.
- ТТК. Электродный прогрев конструкций из монолитного бетона.
- ТТК. Монтаж воздушных линий электропередач. Раскатка проводов и тросов.
- ТТК. Сборка железобетонных опор воздушных линий 0,4 кВ.
- ТТК. Такелаж комплектных шинопроводов типа ШМА и ШРА.
- ТТК. Монтаж групповой сети в кирпичных домах.
- ТТК. Производство работ по монтажу наружного и внутреннего заземления.
- ТТК. Производство работ по прокладке кабелей.
- ТТК. Производство работ по монтажу внутреннего и наружного освещения.

### Руководящие документы

- РД 153-34.3-35.125-99 часть 3. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Часть 3. Грозозащита линий и подстанций 6-1150 кВ.
- РД 153-34.4-03.220-2003. Руководящий документ по безопасному производству работ электромонтерами-линейщиками при строительстве воздушных линий электропередачи.
- РД 153-39-007-96. Регламент составления проектных технологических документов на разработку нефтяных и газонефтяных месторождений.
- РД 153-39.4-050-00. Категории по взрывопожарной и пожарной опасности помещений и наружных установок объектов магистральных нефтепродуктопроводов.
- РД 16.407-2000. Электрооборудование взрывозащитное. Ремонт.
- РД 212.0182-02. Руководство по технической эксплуатации судов внутреннего водного транспорта.
- РД 25.952-90. Системы автоматического пожаротушения пожарной охранной и охранно-пожарной сигнализации. Порядок разработки задания на проектирование.
- РД 25.953-90. Системы автоматические пожаротушения, пожарной, охранной и охранно-пожарной сигнализации. Обозначения условные графические элементов связи.
- РД 25.964-90. Система технического обслуживания и ремонта автоматических установок пожаротушения, дымоудаления, охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Организация и порядок проведения работ.
- РД 153-34.3-35.125-99 часть 3. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. Часть 3. Грозозащита линий и подстанций 6-1150 кВ.
- РД 153-34.4-03.220-2003. Руководящий документ по безопасному производству работ электромонтерами-линейщиками при строительстве воздушных линий электропередачи.

- РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
- РД 34.20.185–94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей.
- СО 153-343.21.122–2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

## Сметные нормативные документы

### **ГЭСН на строительные и специальные строительные работы**

- ГЭСН-2001–01 Сборник № 1. Земляные работы.
- ГЭСН-2001–33(1) Сборник № 33. Линии электропередачи. Книга 1. Электрические сети напряжением 0,38–1150 кВ.

### **ГЭСНр на ремонтно-строительные работы**

- ГЭСНр-2001 Общие указания по применению ГЭСНр-2001.
- ГЭСНр-2001–67 Сборник № 67. Электромонтажные работы.

### **ГЭСНм на монтаж оборудования**

- ГЭСНм-2001–08 Сборник № 8. Электротехнические установки (начало).
- ГЭСНм-2001–08 Сборник № 8. Электротехнические установки (окончание).
- ГЭСНм-2001–33 Сборник № 33. Оборудование предприятий легкой промышленности.
- ГЭСНм-2001–34 Сборник № 34. Оборудование учреждений здравоохранения и предприятий медицинской промышленности.
- ГЭСНм-2001–35 Сборник № 35. Оборудование сельскохозяйственных производств.
- ГЭСНм-2001–36 Сборник № 36. Оборудование предприятий бытового обслуживания и коммунального хозяйства.

### **ГЭСНп на пусконаладочные работы**

- ГЭСНп-2001–01 Сборник № 1. Электротехнические устройства.

### **ФЕРы**

- Федеральные единичные расценки на строительные работы ФЕР-2001–33. Линии электропередачи. Книга 1. Электрические сети напряжением 0,38–1150 кВ.

### **Сметные нормативы МТСН**

- МТСН 81.1–98. Средние сметные цены на материалы, изделия и конструкции.
- МТСН 81.2–98. Сметные цены эксплуатации строительных машин.
- МТСН 81.3–98. Строительные работы.
- МТСН 81.4–98. Монтаж оборудования.

## Прочие документы

- МДС 81–33.2004. Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве.
- МДК 1–01.2002. Методические указания по проведению энергоресурсаудита в жилищно-коммунальном хозяйстве.

**ЗАДАНИЕ**  
(рекомендуемое)  
на проектирование объектов жилищно-  
гражданского назначения

(наименование и месторасположение объекта)
<p style="text-align: center;"><b>Перечень основных данных и требований</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основание для проектирования</li> <li>2. Вид строительства</li> <li>3. Стадийность проектирования</li> <li>4. Требования по вариантной и конкурсной разработке</li> <li>5. Особые условия строительства</li> <li>6. Основные технико-экономические показатели, в том числе жилых или общественных зданий, их назначение (этажность, число секций и квартир, вместимость или пропускная способность)</li> <li>7. Назначение и типы встроенных в жилые дома предприятий обществен-ного обслуживания, их мощность, вместимость, пропускная способность, состав и площади помещений, строительный объем</li> <li>8. Основные требования к архитектурно-планировочному решению здания, условиям блокировки, отделке здания</li> <li>9. Рекомендуемые типы квартир и их соотношение</li> <li>10. Основные требования к конструктивным решениям и материалам несущих и ограждающих конструкций</li> <li>11. Основные требования к инженерному и технологическому оборудованию</li> <li>12. Требования по обеспечению условий жизнедеятельности маломобильных групп населения</li> <li>13. Требования к благоустройству площадки и малым архитектурным формам</li> <li>14. Требования по разработке инженерно-технических мероприятий гражданской обороны и мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций</li> <li>15. Требования о необходимости:             <div style="margin-left: 40px;"> <p>выполнения демонстрационных материалов, их составе и форме;</p> <p>выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в процессе проектирования и строительства;</p> <p>выполнения экологических и санитарно-эпидемиологических условий к объекту</p> </div> </li> </ol>



Приложение 3  
(по ГОСТ 21.101–97 — рекомендуемое)

**Марки основных комплектов рабочих чертежей**

Наименование основного комплекта рабочих чертежей	Марка	Примечание
Технология производства	ТХ	—
Технологические коммуникации	ТК	При объединении рабочих чертежей всех технологических коммуникаций
Генеральный план и сооружения транспорта	ГТ	При объединении рабочих чертежей генерального плана и сооружений транспорта
Генеральный план	ГП	—
Архитектурные решения	АР	—
Интерьеры	АИ	Рабочие чертежи могут быть объединены с основным комплектом марки АР или АС
Конструкции железобетонные	КЖ	—
Конструкции деревянные	КД	—
Архитектурно-строительные решения	АС	При объединении рабочих чертежей архитектурных решений и строительных конструкций
Конструкции металлические детализовочные	КМД	—
Водопровод и канализация	ВК	—
Отопление, вентиляция и кондиционирование	ОВ	—
Тепломеханические решения котельных	ТМ	—
Воздухоснабжение	ВС	—
Пылеудаление	ПУ	—
Холодоснабжение	ХС	—
Газоснабжение (внутренние устройства)	ГСВ	—
<b>Силовое электрооборудование</b>	<b>ЭМ</b>	—
<b>Электрическое освещение (внутреннее)</b>	<b>ЭО</b>	—
Системы связи	СС	—
Радиосвязь, радиовещание и телевидение	РТ	—

Наименование основного комплекта рабочих чертежей	Марка	Примечание
Пожаротушение	ПТ	—
Пожарная сигнализация	ПС	—
Охранная и охранно-пожарная сигнализация	ОС	—
Гидротехнические решения	ГР	—
Автоматизация ...	А ...	Многоточие заменяют наименованием и маркой соответствующего основного комплекта рабочих чертежей
Автоматизация комплексная	АК	При объединении рабочих чертежей различных технологических процессов и инженерных систем
Антикоррозионная защита конструкций зданий, сооружений	АЗ	—
Антикоррозионная защита технологических аппаратов, газоходов и трубопроводов	АЗО	—
Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов	ТИ	—
Автомобильные дороги	АД	—
Железнодорожные пути	ПЖ	—
Сооружения транспорта	ТР	При объединении рабочих чертежей автомобильных, железных и других дорог
Наружные сети водоснабжения	НВ	—
Наружные сети канализации	НК	—
Наружные сети водоснабжения и канализации	НВК	При объединении рабочих чертежей наружных сетей водоснабжения и канализации
Тепломеханические решения тепловых сетей	ТС	—
Наружные газопроводы	ГСН	—
Наружное электроосвещение	ЭН	—
<b>Электроснабжение</b>	<b>ЭС</b>	—

*Примечание.* При необходимости могут быть назначены дополнительные марки основных комплектов рабочих чертежей. При этом для марок применяют прописные буквы (не более трех) русского алфавита, соответствующие, как правило, начальным буквам наименований основного комплекта рабочих чертежей

## Приложение 4

(по ГОСТ 21.101–97 — обязательное)

### Обложка проектной документации

The diagram illustrates the layout of a project documentation cover. It is a vertical rectangle with a total height of 297 and a total width of 210. The cover contains several text fields, each enclosed in a dashed rectangular border. The fields are arranged vertically from top to bottom:

- A large rectangular field at the top containing two lines of text:

Наименование органа управления, в систему которого входит организация  
(для государственных организаций)

Наименование организации, составившей документ
- A rectangular field containing the text:

Наименование предприятия, здания, сооружения
- A rectangular field containing the text:

Наименование документа
- A rectangular field containing the text:

Обозначение документа
- A rectangular field containing the text:

Номер тома
- A small rectangular field at the bottom containing the text:

Год  
издания

Dimension lines are shown on the left and bottom edges, indicating the overall size of 297 by 210.

# Приложение 5

(по ГОСТ 21.101-97 — обязательное)

## Титульный лист

The diagram illustrates the layout of a title page (Титульный лист) according to the requirements of the standard. The overall dimensions are 297 units in height and 210 units in width. The layout is defined by a series of nested rectangles and dashed boxes, with specific dimensions and labels for each section.

**Dimensions:**

- Overall height: 297
- Overall width: 210
- Top margin: 5
- Left margin: 20
- Right margin: 5
- Bottom margin: 5

**Labels and Content:**

- Наименование органа управления, в систему которого входит организация (для государственных организаций)**
- Наименование организации, составившей документ**
- Наименование предприятия, здания, сооружения**
- Наименование документа**
- Обозначение документа**
- Номер тома**
- Должности**
- Подписи**
- Фамилии**
- Год издания**

**Additional Labels:**

- Дополнительные графы** (Additional columns)

Пример оформления титульного листа

Дополнительные графы	<b>АО «Моспроект»</b>	
	<b>Физкультурно-оздоровительный комплекс</b>	
	<b>Общая пояснительная записка</b>	
	<b>2345-ПЗ</b> <b>Том 1</b>	
	Генеральный директор	подпись, фамилия
	Главный инженер проекта	подпись, фамилия
	<b>1998</b>	

## Приложение 7

(по ГОСТ 21.101–97 — обязательное)

### Ведомости общих данных по рабочим чертежам

#### Форма 1:

- ведомость рабочих чертежей основного комплекта;
- ведомость спецификаций.

#### Форма 1

8 15	Лист	Наименование	Примечание
	15	140	30
		185	

### Указания по заполнению ведомости рабочих чертежей основного комплекта

В ведомости рабочих чертежей основного комплекта указывают:

- а) в графе «Лист» — порядковый номер листа основного комплекта рабочих чертежей;
- б) в графе «Наименование» — наименование изображений, помещенных на листе, в точном соответствии с наименованиями, приведенными в основной надписи листа;
- в) в графе «Примечание» — дополнительные сведения, например, об изменениях, вносимых в рабочие чертежи основного комплекта.

### Указания по заполнению ведомости спецификаций

В ведомости спецификаций указывают:

- а) в графе «Лист» — номер листа основного комплекта рабочих чертежей, на котором помещена спецификация;
- б) в графе «Наименование» — наименование спецификации в точном соответствии с ее наименованием, указанным на чертеже;
- в) в графе «Примечание» — дополнительные сведения, в том числе об изменениях, вносимых в спецификации.

## Форма 2:

- ведомость основных комплектов рабочих чертежей;
- ведомость ссылочных и прилагаемых документов.

## Форма 2

18	15	Лист	Наименование	Примечание
		60	95	30
		185		

### Указания по заполнению ведомости основных комплектов рабочих чертежей

В ведомости основных комплектов рабочих чертежей указывают:

- в графе «Обозначение» — обозначение основного комплекта рабочих чертежей и, при необходимости, наименование или различительный индекс организации, выпустившей документ;
- в графе «Наименование» — наименование основного комплекта рабочих чертежей;
- в графе «Примечание» — дополнительные сведения, в том числе об изменениях в составе основных комплектов рабочих чертежей.

### Указания по заполнению ведомости ссылочных и прилагаемых документов

В ведомости ссылочных и прилагаемых документов указывают:

- в графе «Обозначение» — обозначение документа и при необходимости наименование или различительный индекс организации, выпустившей документ;
- в графе «Наименование» — наименование документа в точном соответствии с наименованием, указанным на титульном листе или в основной надписи;
- в графе «Примечание» — дополнительные сведения, в том числе о внесенных изменениях в записанные документы, входящие в состав рабочей документации.

### Планы этажей зданий

При выполнении плана этажа положение мнимой горизонтальной секущей плоскости разреза принимают на уровне оконных проемов или на  $\frac{1}{3}$  высоты изображаемого этажа.

В случаях, когда оконные проемы расположены выше секущей плоскости, по периметру плана располагают сечения соответствующих стен на уровне оконных проемов.

На планы этажей наносят:

- 1) координационные оси здания (сооружения);
- 2) размеры, определяющие расстояния между координационными осями и проемами, толщину стен и перегородок, другие необходимые размеры, отметки участков, расположенных на разных уровнях;
- 3) линии разрезов, которые проводят, как правило, с таким расчетом, чтобы в разрез попадали проемы окон, наружных ворот и дверей;
- 4) позиции (марки) элементов здания (сооружения), заполнения проемов ворот и дверей (кроме входящих в состав щитовых перегородок), перемычек, лестниц и др. Допускается позиционное обозначение проемов ворот и дверей указывать в кружках диаметром 5 мм;
- 5) обозначения узлов и фрагментов планов;
- 6) наименования помещений (технологических участков), их площади, категории по взрывопожарной и пожарной опасности (кроме жилых зданий).

Площади проставляют в нижнем правом углу помещения (технологического участка) и подчеркивают. Категории помещений (технологических участков) проставляют под их наименованием в прямоугольнике размером 5×8 (h) мм.

Для жилых зданий, при необходимости, на планах указывают тип и площадь квартир. При этом площадь проставляют в виде дроби, в числителе которой указывают жилую площадь, в знаменателе — полезную.

Допускается наименования помещений (технологических участков), их площади и категории приводить в экспликации по форме 2. В этом случае на планах вместо наименований помещений (технологических участков) проставляют их номера.

Для жилых зданий экспликацию помещений, как правило, не выполняют;

- 7) Границы зон передвижения технологических кранов (при необходимости).



# Экспликация помещений

20	Лист	Наименование	Площадь, м <sup>2</sup>	Кат.* помеще-ния
18				
	15	80	20	10
	125			



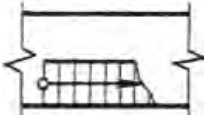
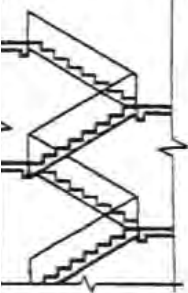
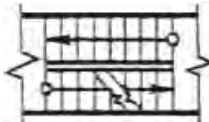
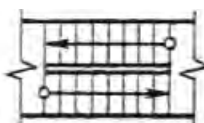
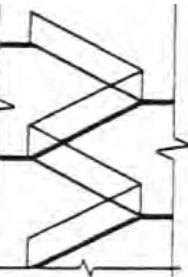

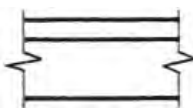

\* Категория по взрывопожарной и пожарной опасности.

Встроенные помещения и другие участки здания (сооружения), на которые выполняют отдельные чертежи, изображают схематично сплошной тонкой линией с показом несущих конструкций.





Площадки, антресоли и другие конструкции, расположенные выше секущей плоскости, изображают схематично штрихпунктирной тонкой линией с двумя точками.

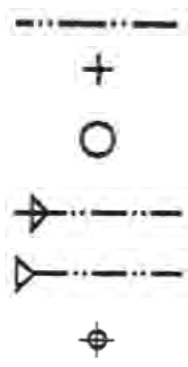
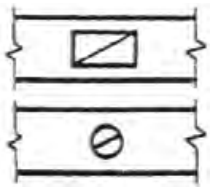
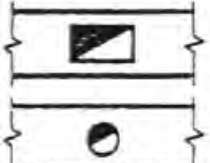
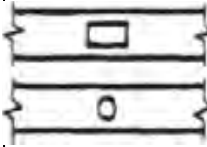


## Условные графические изображения (сокращен.) строительных конструкций и их элементов

Наименование	Изображение	
	В плане	В разрезе
1. Перегородка из стеклоблоков <i>Примечание.</i> На чертежах в масштабе 1:200 и мельче допускается обозначение всех видов перегородок одной сплошной толстой основной линией		
2. Проемы		
2.1.Проем (проектируемый без заполнения)		
2.2.Проемы: а) без четверти		

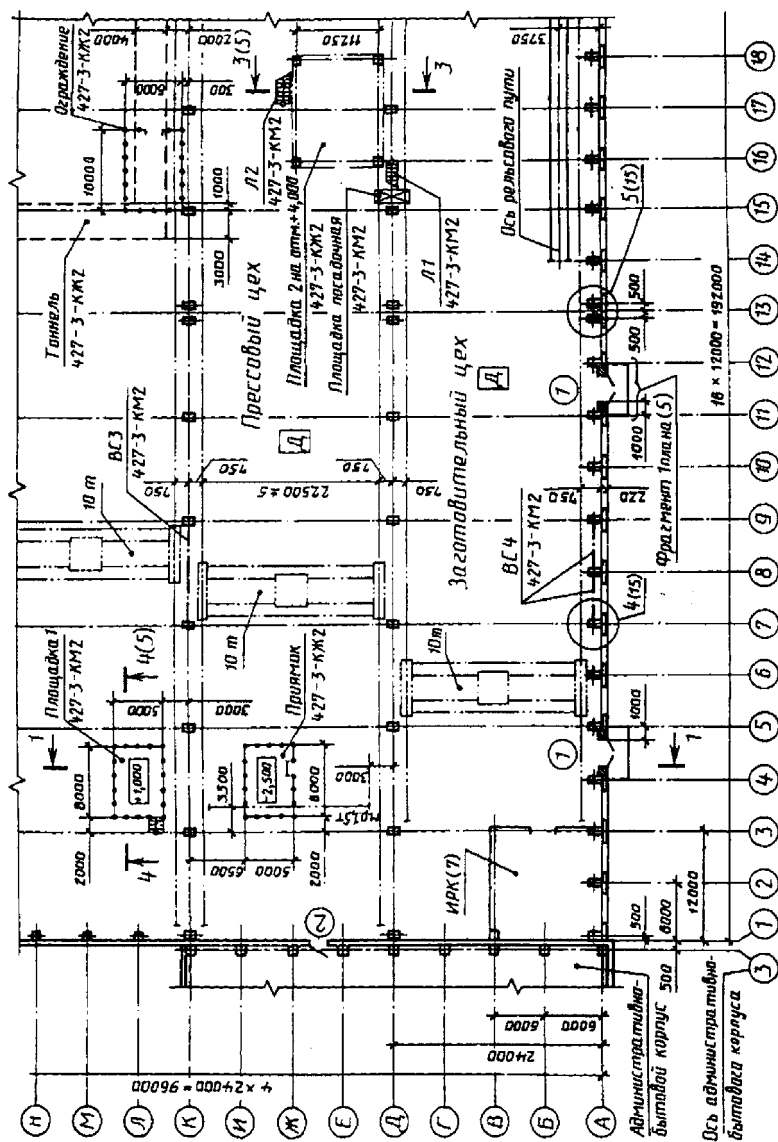
Наименование	Изображение	
	В плане	В разрезе
б) с четвертью		
3. Лестница:		В масштабе 1:50 и крупнее
а) нижний марш		
б) промежуточные марши		В масштабе 1:100 и мельче, а также для схем расположения элементов сборных конструкций
в) верхний марш		
<i>Примечание:</i> стрелкой указано направление подъема марша		
4. Элемент существующий, подлежащий разборке		
5. Отмостка		

Наименование	Изображение	
	В плане	В разрезе
6. Колонна:		
а) железобетонная: сплошного сечения двухветвевая		
б) металлическая: сплошностенчатая двухветвевая		
<i>Примечание:</i> изображение А — для колонн без консоли, Б и В — для колонн с консолью		
7. Плита, панель		
8. Связь металлическая:		
а) одноплоскостная: вертикальная		
горизонтальная		
б) двухплоскостная		
Наименование	Изображение	
9. Двери, ворота		
9.1. Дверь однопольная		
9.2. Дверь двупольная		
9.3. Дверь двойная однопольная		
9.4. То же, двупольная		
9.5. Дверь однопольная с качающимся полотном (правая или левая)		

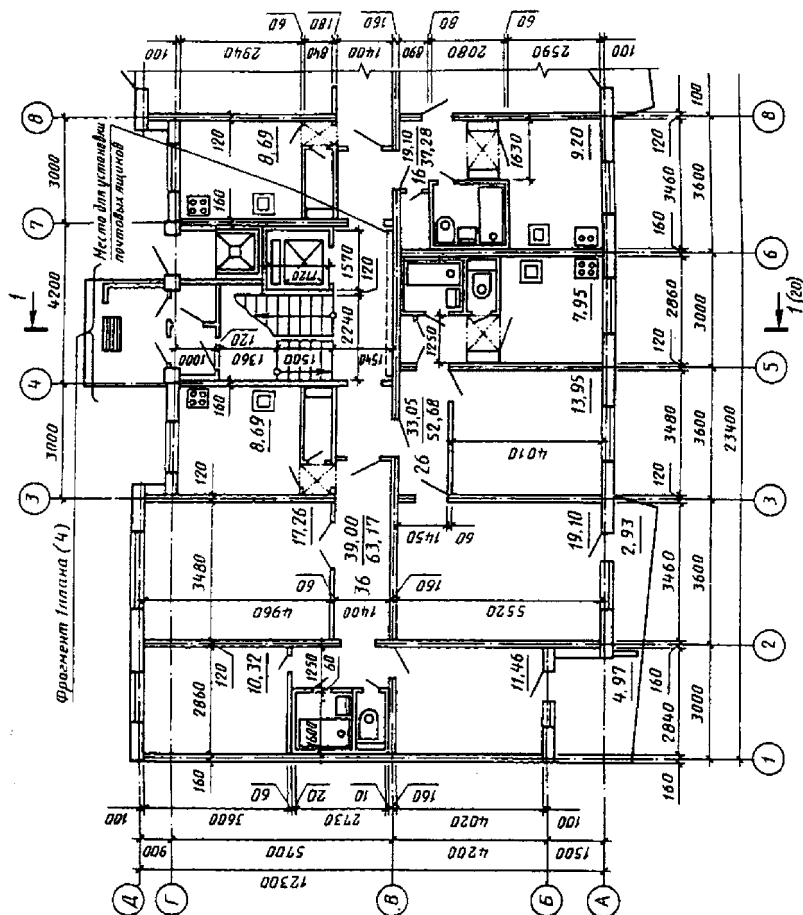
Наименование	Изображение	
	В плане	В разрезе
9.6. Дверь двупольная с качающимися полотнами		
9.7. Дверь (ворота) откатная однопольная		
9.8. Дверь {ворота} раздвижная двупольная		
9.9. Дверь (ворота) подъемная		
9.10. Дверь складчатая		
9.11. Дверь вращающаяся		
9.12. Ворота подъемно-поворотные		
10. Переплеты оконные		
10.1. Переплет с боковым подвесом, открывающийся внутрь		
10.2. То же, открывающийся наружу		
11. Арматурные изделия		
11.1. Обычная арматура		
11.1.1. Арматурный стержень:		
а) вид сбоку		
б) сечение		
11.1.2. Арматурный стержень с анкерровкой:		
а) с крюками		
б) с отгибами под прямым углом		
11.1.3. Анкерные кольцо или пластина		
Вид с торца		
11.1.4. Арматурный стержень с отгибом под прямым углом, идущим в направлении от читателя		
То же, в документации, предназначенной для микрофильмирования, и там, где стержни расположены друг к другу очень близко		
11.1.5. Арматурный стержень с отгибом под прямым углом, идущим в направлении к читателю		

Наименование	Изображение	
	В плане	В разрезе
11.2. Предварительно напряженная арматура 11.2.1. Предварительно напряженные арматурный стержень или трос: а) вид сбоку б) сечение 11.2.2. Поперечное сечение арматуры с последующим натяжением, расположенной в трубе или канале 11.2.3. Анкеровка у натягаемых концов 11.2.4. Заделанная анкеровка  Вид с торца		
Наименование	Изображение в масштабах	
	1:50 и 1:100	1:200
12. Каналы дымовые и вентиляционные 12.1. Вентиляционные шахты и каналы		
12.2. Дымовые трубы (твердое топливо)		
12.3. Дымовые трубы (жидкое топливо)		
12.4. Газоотводные трубы		

Пример выполнения плана одноэтажного производственного здания



# Пример выполнения плана этажа жилого дома



## Приложение 9

(по ГОСТ 21.101-97 — обязательное)

Основные надписи и дополнительные графы к ним

### Форма 3 — Для листов:

- основных комплектов рабочих чертежей;
- основных чертежей разделов проектной документации;
- графических документов по инженерным изысканиям

Форма 3

Technical drawing of Form 3 for drawing sheets, showing dimensions and layout of the title block and main area.

**Dimensions:**

- Overall width: 185
- Overall height: 11x5=55
- Top margin: 10
- Left margin: 5
- Right margin: 10
- Bottom margin: 15

**Title Block Layout:**

Согласовано						(13)
(10)						(11)
Взам. инв. №						(22)
Подп. и дата						(21)
Инв. № подл.						(20)
7						5

**Main Area Layout:**

(14)						(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(1)			
Изм.						Коп. уч.		Лист	Подп.	Дата	(2)			
(10)						(11)		(12)	(13)	(3)	Стадия	Лист	Листов	
										70	(6)	15	(7)	15
										(4)			(8)	20
											(9)			

Копировал (26)



## Форма 4 — Для чертежей строительных изделий (первый лист)

Форма 4

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
(20)	(21)	(22)

11x5=55						185		120	
10	10	10	10	15	10				
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(1)			
Изм.	Коп. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	(5)			
(10)	(11)	(12)	(13)			Стадия	Масса	Масштаб	
						(6)	(24)	(25)	
						15	15	20	
						Лист (7) Листов (8)			
						(9)			
						(23)			
Копировал (26)									

## Форма 5 — Для всех видов текстовых документов (первые листы)

Форма 5

Согласовано	Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №
(10)	(20)	(21)	(22)

8x5=40						185		120	
10	10	10	10	15	10				
(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(1)			
Изм.	Коп. уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата	(5)			
(10)	(11)	(12)	(13)			Стадия	Лист	Листов	
						(6)	(7)	(8)	
						15	15	20	
						(9)			
						(23)			
Копировал (26)									

Примечание: основную надпись по форме 5 допускается использовать для графических документов по инженерным изысканиям, не используемым в качестве подосновы.

**Форма 6 — Для чертежей строительных изделий  
и всех видов текстовых документов (последующие листы)**

**Форма 6**

The diagram illustrates the layout of Form 6, which is used for technical drawings of building components and various types of text documents. The form is divided into several sections with specific dimensions and field numbers in parentheses.

- Top Section:** A horizontal bar at the top contains three fields: "Имя, № подл." (20), "Подп. и дата" (21), and "Взам. лиса №" (22).
- Main Drawing Area:** The central area is a large rectangle with a width of 185 and a height of 110. It is divided into a header row and a main body.
  - Header Row:** Contains fields (14) "Изм.", (15) "Коп. уч.", (16) "Лист", (17) "Фол.", (18) "Полп.", and (19) "Дата".
  - Main Body:** A large area labeled (1) for the main drawing or text.
  - Bottom Right:** A small box labeled "Лист" (7) with a height of 7.
- Dimensions:**
  - Overall width: 185
  - Overall height: 110
  - Header row height: 10
  - Main body height: 100
  - Bottom right box height: 7
  - Left margin: 3x5=15
  - Top margin: 5
  - Right margin: 10
- Text:** "Копировал (26)" is written at the bottom center of the main drawing area.

*Примечание:* основную надпись по форме 5 допускается использовать для графических документов по инженерным изысканиям, не используемым в качестве подосновы.

**Указания по заполнению основной надписи  
и дополнительных граф к ней**

В графах основной надписи и дополнительных графах к ней (номера граф указаны в скобках) приводят:

а) в графе 1 — обозначение документа, в том числе раздела проекта, основного комплекта рабочих чертежей, чертежа изделия, текстового документа и др.;

б) в графе 2 — наименование предприятия, жилищно-гражданского комплекса или другого объекта строительства, в состав которого входит здание (сооружение), или наименование микрорайона;

в) в графе 3 — наименование здания (сооружения) и, при необходимости, вид строительства (реконструкция, расширение, техническое перевооружение, капитальный ремонт);

г) в графе 4 — наименование изображений, помещенных на данном листе, в точном соответствии с их наименованием на чертеже.

Наименования спецификаций и других таблиц, а также текстовых указаний, относящихся к изображениям, в графе не указывают;

д) в графе 5 — наименование изделия и/или наименование документа;

е) в графе 6 — условное обозначение стадии проектирования:

1) П — для проектной документации, в том числе утверждаемой части рабочего проекта;

2) Р — для рабочей документации;

ж) в графе 7 — порядковый номер листа или страницы текстового документа при двухсторонней печати. На документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют;

и) в графе 8 — общее число листов документа. Графу заполняют только на первом листе.

На первом листе текстового документа при двухсторонней печати указывают общее число страниц;

к) в графе 9 — наименование или различительный индекс организации, разработавшей документ;

л) в графе 10 — характер выполненной работы (разработал, проверил, нормоконтроль).

В зависимости от стадии проектирования, сложности и значимости документа допускается свободные строки заполнять по усмотрению руководства организации (указать должности лиц, ответственных за разработку документа (чертежа);

м) в графах 11–13 — фамилии и подписи лиц, указанных в графе 10, и дату подписания.

Подписи других должностных лиц и согласующие подписи размещают на поле для подшивки листа;

н) в графах 14–19 — графы таблицы изменений, которые заполняют в соответствии с п. 7.5.19 ГОСТ 21.501–93;

п) в графе 20 — инвентарный номер подлинника;

р) в графе 21 — подпись лица, принявшего подлинник на хранение, и дату приемки (число, месяц, год);

с) в графе 22 — инвентарный номер подлинника документа, взамен которого выпущен новый подлинник;

т) в графе 23 — обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);

у) в графе 24 — массу изделия, изображенного на чертеже, в килограммах без указания единицы измерения. Массу изделия в других единицах измерения приводят с указанием единицы измерения.

### **Пример — 2,4 т;**

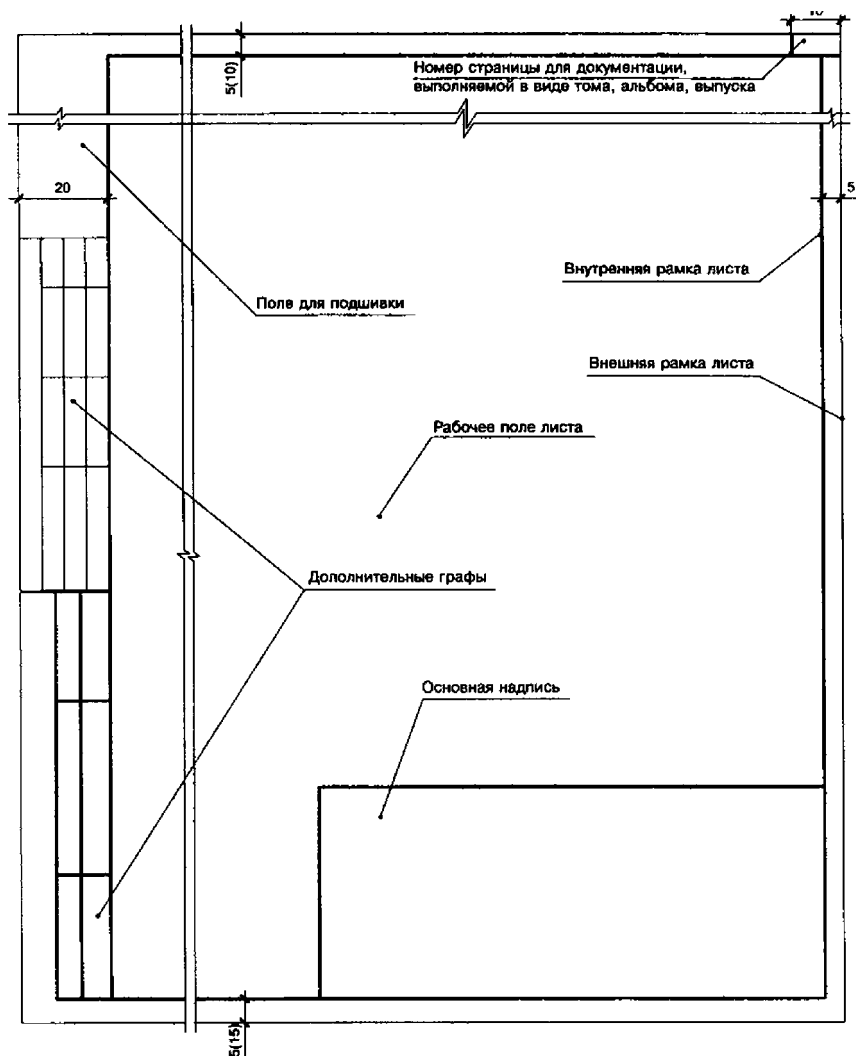
ф) в графе 25 — масштаб (проставляют в соответствии с ГОСТ 2.302);

ш) в графе 26 — подпись лица, копировавшего чертеж (при необходимости).

## Приложение 10

(по ГОСТ 21.101-97 — обязательное)

Расположение основной надписи, дополнительных  
граф к ней и размерных рамок на листах



# Приложение 11

(по ГОСТ 21.101-97 — обязательное)

## Форма 7 — Спецификация

Форма 7

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед., кг	Приме- чание
15	60	65	10	15	20

## Форма 8 — Групповая спецификация

Форма 8

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	...	Масса ед., кг	Приме- чание
15	60	65	10 10	10 10 10	15	20
140			n x 10			

## Указания по заполнению спецификации и групповой спецификации

В спецификациях указывают:

а) в графе «Поз.» — позиции (марки) элементов конструкций, установок;

б) в графе «Обозначение» — обозначение основных документов на записываемые в спецификацию элементы конструкций, оборудование и изделия или стандартов (технических условий) на них;

в) в графе «Наименование» — наименования элементов конструкций, оборудования, изделий и их марки. Допускается на группу однородных элементов указывать наименование один раз и его подчеркивать;

г) в графе «Кол.» формы 7 — количество элементов. В графе «Кол.» формы 8 — вместо многоточия записывают «по схеме», «на этаж» и т. п., а ниже — порядковые номера схем расположения или этажей;

д) в графе «Масса, ед., кг» — массу в килограммах. Допускается приводить массу в тоннах, но с указанием единицы измерения;

е) в графе «Примечание» — дополнительные сведения, например, единицу измерения массы.

## Приложение 12

(по ГОСТ 21.101-97 — обязательное)

### Форма 16 — Состав проекта

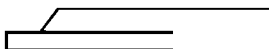
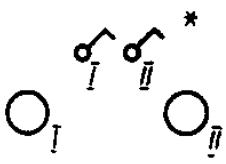
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="margin-bottom: 5px;">15</div> <div style="margin-bottom: 5px;">b</div> <div>min</div> </div>	Номер тома	Обозначение	Наименование	Примечание
	10	60	95	20
	185			

### Указания по заполнению ведомости (формы 16)

В ведомости указывают:

- в графе «Номер тома» — номер тома или его части;
- в графе «Обозначение» — обозначение документа, указанное на титульном листе, и, при необходимости, наименование или различительный индекс организации, выпустившей документ;
- в графе «Наименование» — наименование документа в точном соответствии с наименованием, указанным на титульном листе;
- в графе «Примечание» — дополнительные сведения.

**Порядок записи условных обозначений  
на планах расположения электрического оборудования  
внутреннего освещения**

Наименование	Обозначение
1. Нормируемая освещенность от общего освещения	300 лк*
2. Обозначение классов взрыво- и пожаро-опасных зон по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ):	
а) класс взрывоопасной зоны категория и группа взрывоопасной смеси	$\frac{B - Ia}{II AT I}^*$
б) класс взрывоопасной зоны	$\frac{B - Ib}{}^*$
в) класс пожароопасной зоны	$\frac{II - I}{}^*$
3. Сведения о светильниках:	
а) количество — тип:  <u>количество ламп × мощность, Вт</u> высота установки, м	30 — ЛПО 02 $\frac{2 \times 40}{3,5}^*$
б) количество — тип светильников в линии	810 — ЛПО 02 2×408 
<i>Примечание:</i> допускается не указывать: количество светильников при небольшом их числе в помещении; количество ламп для одноламповых светильников; высоту установки для потолочных светильников.	
4. Соответствие выключателей с управляемыми ими светильниками	

Наименование	Обозначение
5. Номер и цифры у светильников и штепсельных розеток, указывающие номера групп, к которым присоединяются светильники, линии светильников или штепсельные розетки	
6. Количество проводов в линии (например три)	
<i>Примечание:</i> на двухпроводных линиях черточки не показываются.	
7. Разделительное уплотнение на трубах во взрывоопасных зонах	
8. Трос и концевое крепление троса	
9. Обозначение способов прокладки, марок проводников и сечений групповой сети в помещении: а — марка проводников; б — сечение, мм <sup>2</sup> ; в — способ прокладки	<p>а — б — в</p>
10. Надписи на линиях питающей сети: а — номер линии; б — марка, количество и сечение проводников; в — способ прокладки	<p>а — б — в</p>
11. Надписи на линиях групповой сети: а — номера групп; б — марка, количество и сечение проводников; в — способ прокладки	<p>а — б — в</p>
<i>Примечание к пп. 9–11:</i> на отдельных участках линий допускается указывать не все, а только необходимые данные.	

\* Приведен пример обозначения.

















# Приложение 14
















(по ГОСТ 21.608–84 — обязательное)





## Условные графические изображения на планах расположения электрического оборудования внутреннего освещения в дополнение к ГОСТ 2.755–87

Таблица 1

Название	Изображение
1. Светильники:	
а) светильники с люминесцентными лампами, установленные в линию;	
б) щелевой светильник-световод.	
<i>Примечание:</i> залитый торец обозначает вводное устройство с источником света;	
в) люстра	
2. Патроны:	
а) настенной	
б) подвесной	
в) потолочный	
3. Звонок	
4. Автоматический выключатель	
5. Шкаф, ящик управления	
6. Пускатель магнитный	
7. Кнопка управления	
8. Трансформатор понижающий малой мощности	
9. Выключатель для открытой установки со степенью защиты IP20–IP23:	
а) однополюсный	
б) однополюсный сдвоенный	

Название	Изображение
в) однополюсный строенный	
г) двухполюсный	
д) трехполюсный	
10. Выключатель для скрытой установки со степенью защиты IP20–IP23:	
а) однополюсный	
б) однополюсный сдвоенный	
в) однополюсный строенный	
г) двухполюсный	
11. Выключатель для открытой установки со степенью защиты IP44–IP55:	
а) однополюсный	
б) двухполюсный	
в) трехполюсный	
12. Переключатель на два направления со степенью защиты IP20–IP23:	
а) однополюсный	
б) двухполюсный	
в) трехполюсный	
13. Переключатель на два направления со степенью защиты IP44–IP55:	
а) однополюсный	


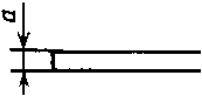

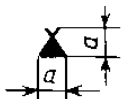
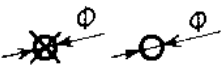
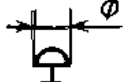
Название	Изображение
б) двухполюсный	
в) трехполюсный	
14. Розетка штепсельная для открытой установки со степенью защиты IP20–IP23:	
а) двухполюсная	
б) двухполюсная сдвоенная	
в) двухполюсная с защитным контактом	
г) трехполюсная с защитным контактом	
15. Розетка штепсельная для скрытой установки со степенью защиты IP20–IP29:	
а) двухполюсная	
б) двухполюсная сдвоенная	
в) двухполюсная с защитным контактом	
г) трехполюсная с защитным контактом	
16. Розетка штепсельная со степенью защиты IP44–IP55:	
а) двухполюсная	
б) двухполюсная с защитным контактом	
в) трехполюсная с защитным контактом	
17. Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для открытой установки со степенью защиты IP20–IP23:	
а) один выключатель и штепсельная розетка	
б) два выключателя и штепсельная розетка	

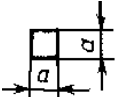
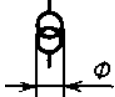

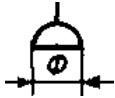
Название	Изображение
в) три выключателя и штепсельная розетка	
18. Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для скрытой установки со степенью защиты IP20–IP23:	
а) один выключатель и штепсельная розетка	
б) два выключателя и штепсельная розетка	
в) три выключателя и штепсельная розетка	

Примечание к пп. 9–15: степени защиты оболочек электрооборудования приняты по ГОСТ 14254–80 и ГОСТ 8223–81.

### Рекомендуемые размеры условных графических изображений

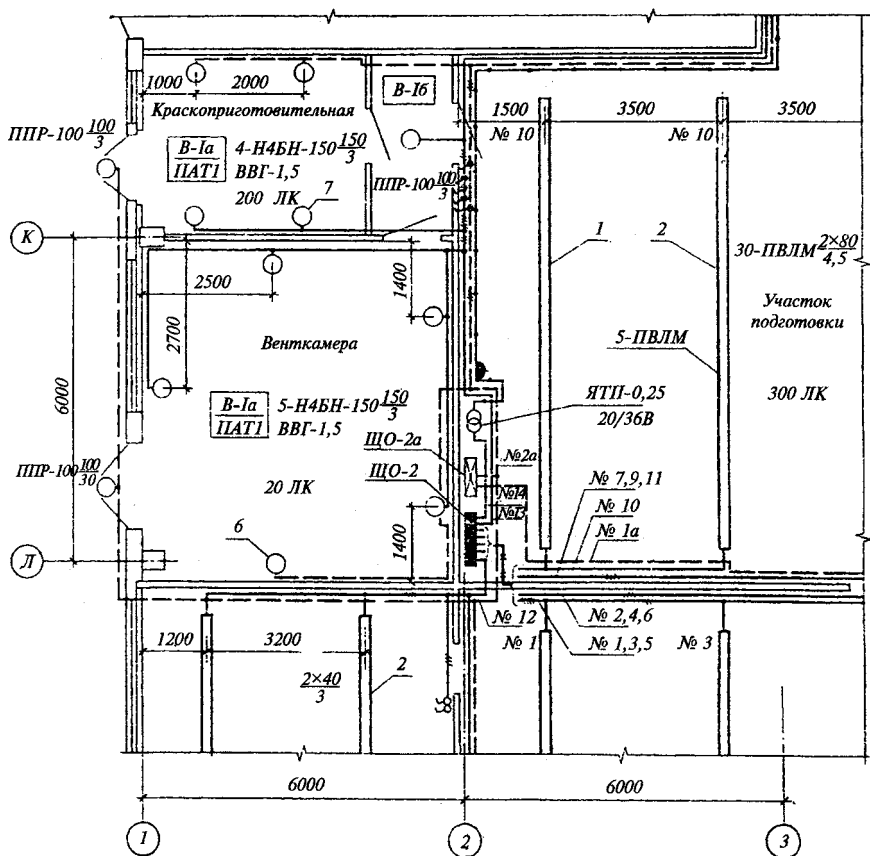
Таблица 2

Номер изображения по табл. 1	Изображение графическое	Обозначение размера	Размеры для масштабов чертежей, мм		
			1:50	1:100	1:200
1		$\varnothing$	6	5	3,5
		$a$	4	2,5	2
		$b$	4	2,5	2
2		$a$	4	3	2
		$\varnothing$	3	2,5	2
3		$\varnothing$	5	3,5	2,5

Номер изобра- жения по табл. 1	Изображение графическое	Обозна- чение размера	Размеры для масштабов чертежей, мм		
			1:50	1:100	1:200
4–7		$a$	4	3	2,5
8		$\varnothing$	4	3	2,5
9–18		$\varnothing$	2,6	2	1,5
		$\varnothing$	6	5	3,5

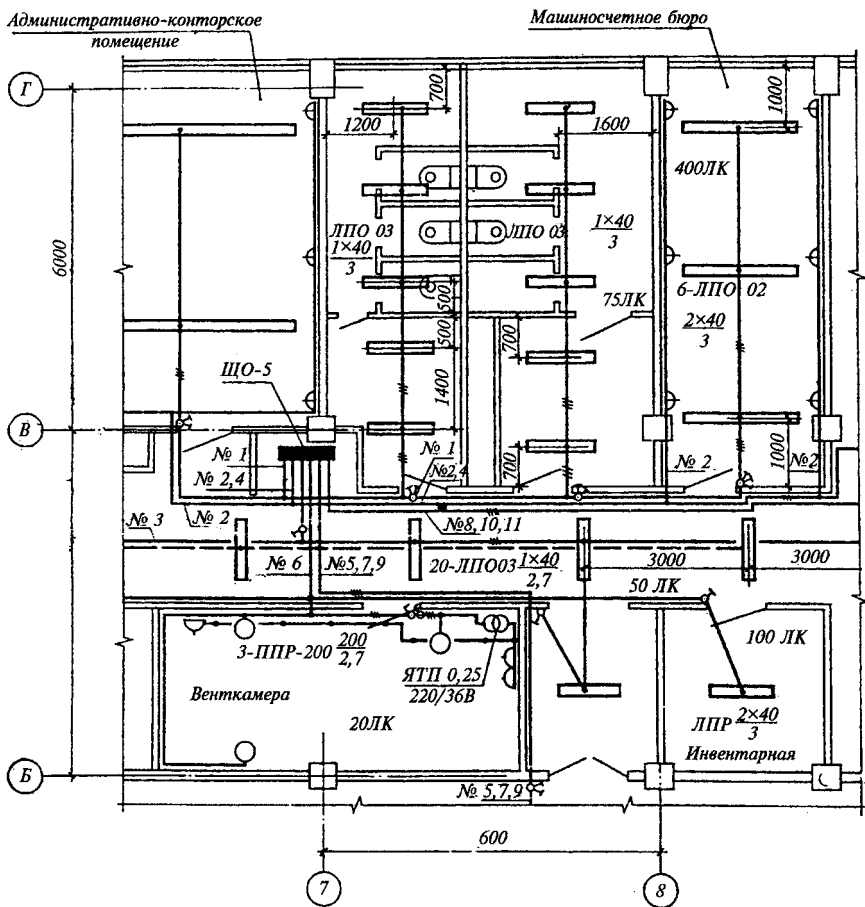
*Примечание.* Для чертежей в масштабе меньше 1:200 размеры условных графических изображений не регламентируются.

План расположения электрооборудования и прокладки сети  
внутреннего электрического освещения  
для производственного здания



Черт. 1

План расположения электрооборудования  
и прокладки сети внутреннего электрического освещения  
для общественного здания

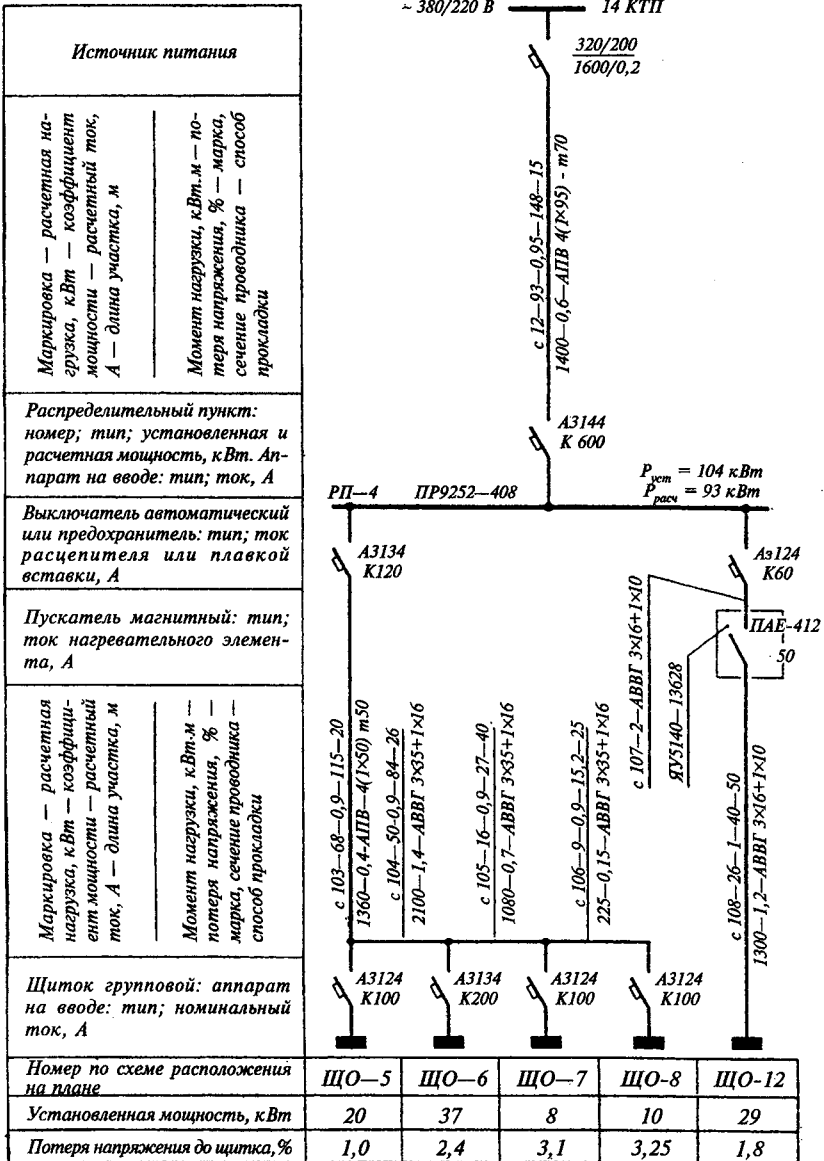


Черт. 2

# Приложение 17

(по ГОСТ 21.608-84 — справочное)

## Пример оформления принципиальной схемы питающей сети





(по ГОСТ 21.608-84 — справочное)

[illegible]

Поясняющие надписи на принципиальной схеме питающей сети, выполняемой с учетом расположения электрического оборудования по частям и этажам здания

1. У комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В:

$P_{уст}$  — установленная мощность, кВт;

$P_{расч}$  — расчетная нагрузка, кВт.

2. У групповых щитков:

$$A \frac{P_{уст}}{\Delta U},$$

где  $A$  — номер по плану расположения;  $\Delta U$  — потеря напряжения до щитка, %.

3. На линиях питающей сети с расчетными данными (указывают конкретные величины):

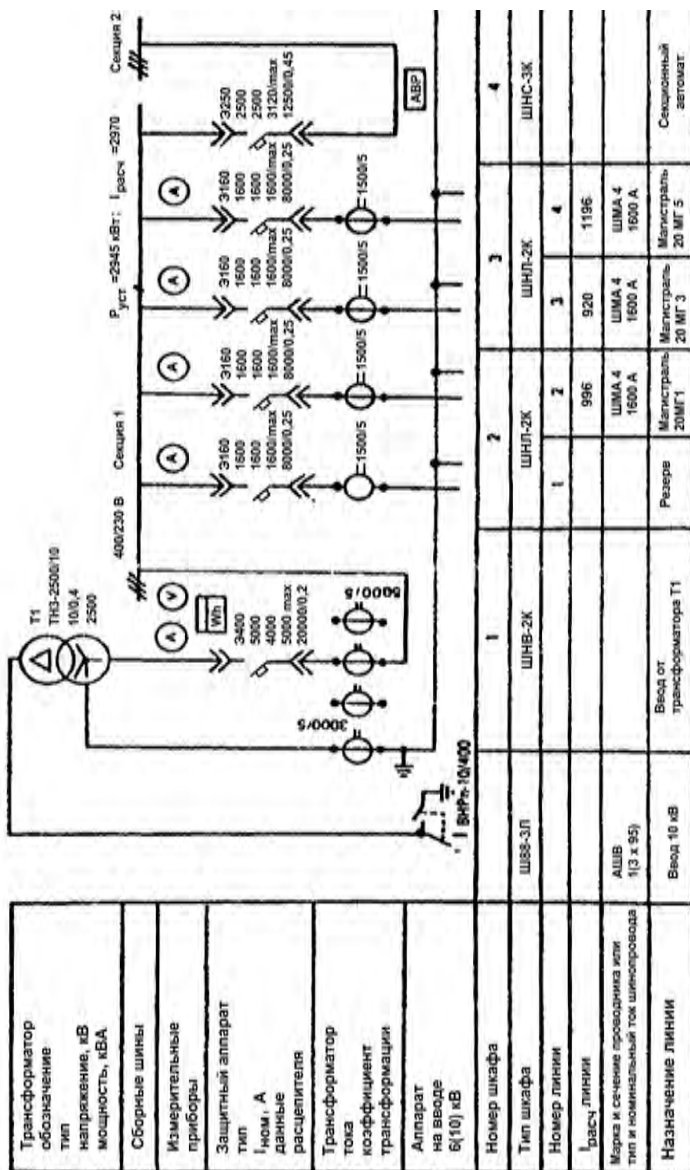
$$\frac{a - P_{расч} - \cos \varphi - I_{расч} - l}{P_{расч} L - \Delta U - q - \sigma},$$

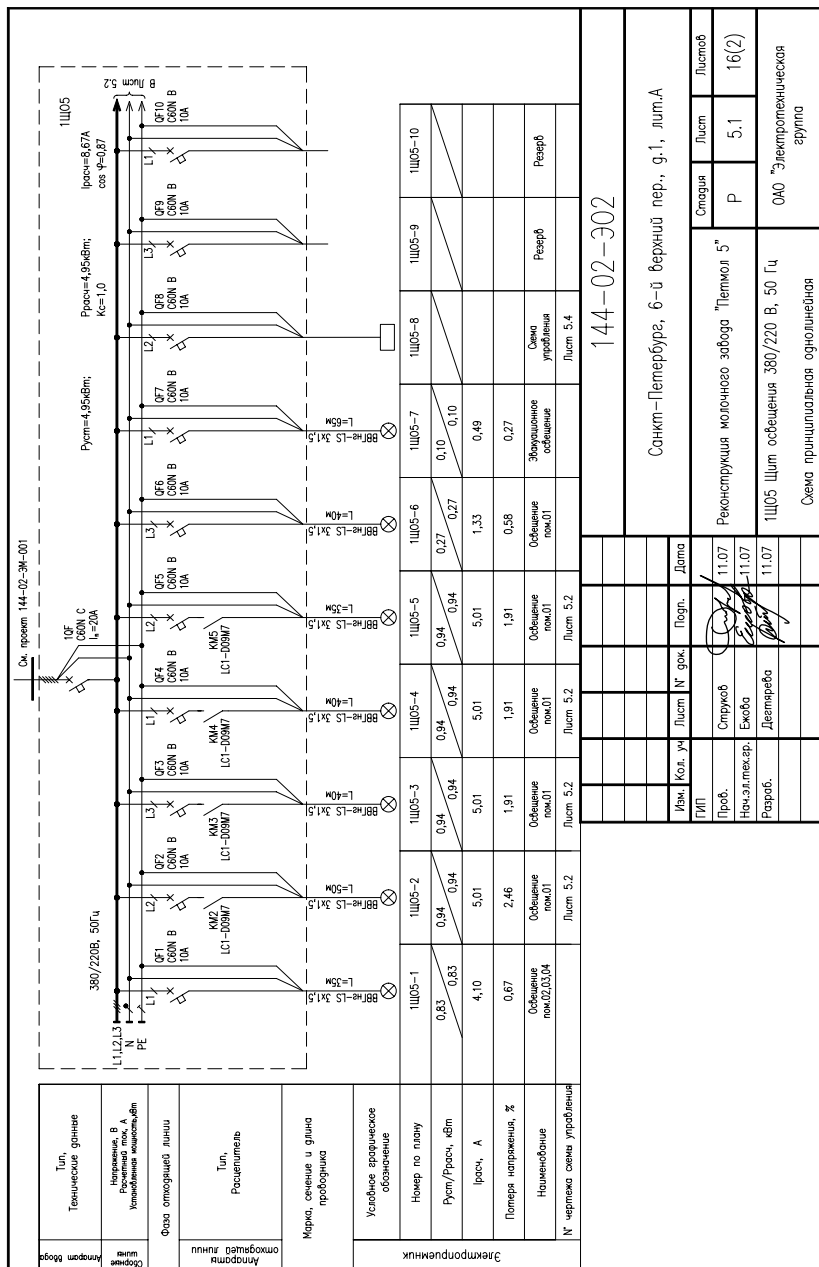
где  $a$  — маркировка линии;  $I_{расч}$  — расчетный ток, А;  $l$  — длина участка питающей сети, м;  $q$  — марка проводника, сечение, мм<sup>2</sup>;  $\sigma$  — способ прокладки.

4. На линиях питающей сети без расчетных данных:

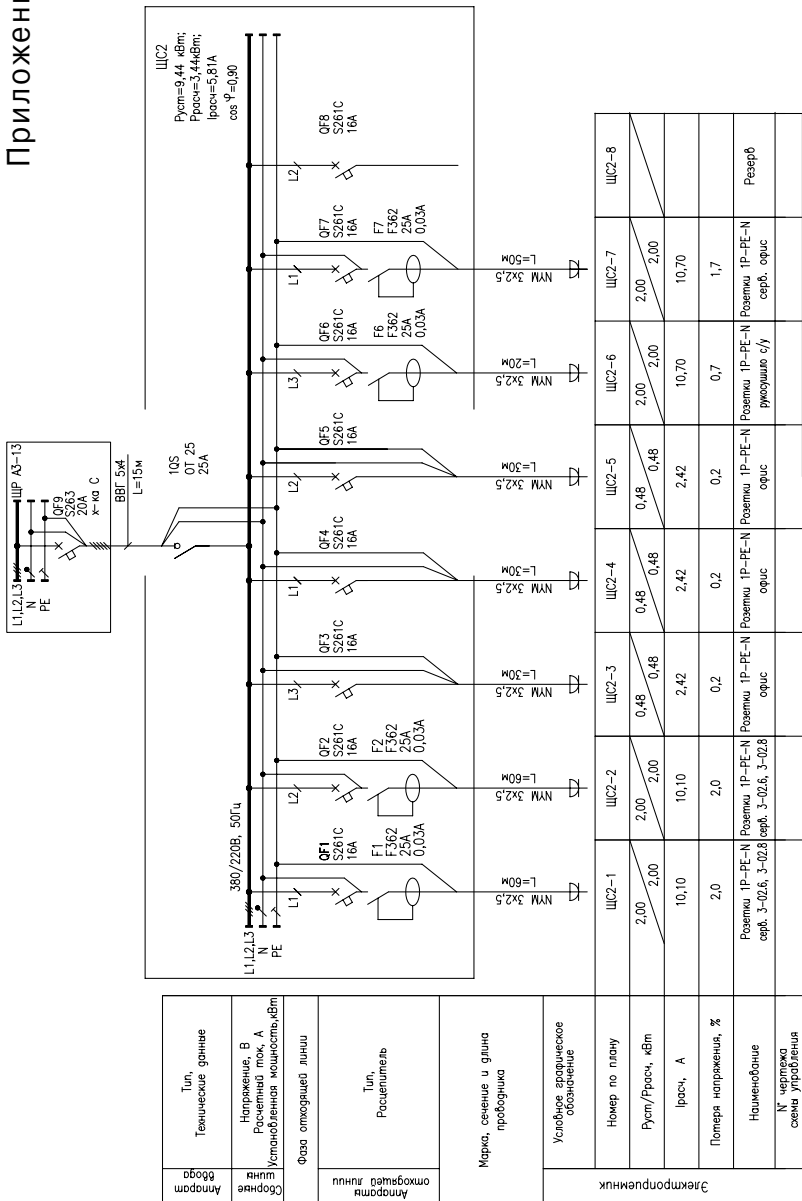
$$l - q - \sigma.$$

Принципиальная схема КТП

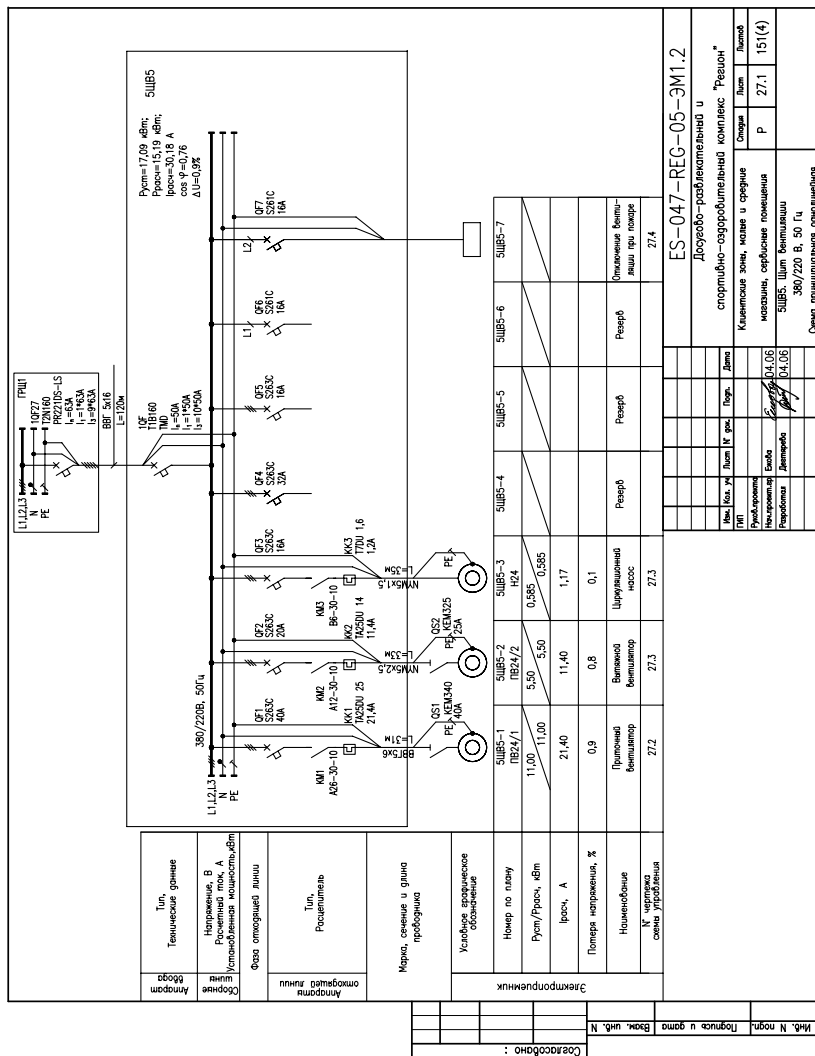


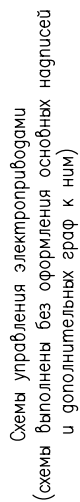




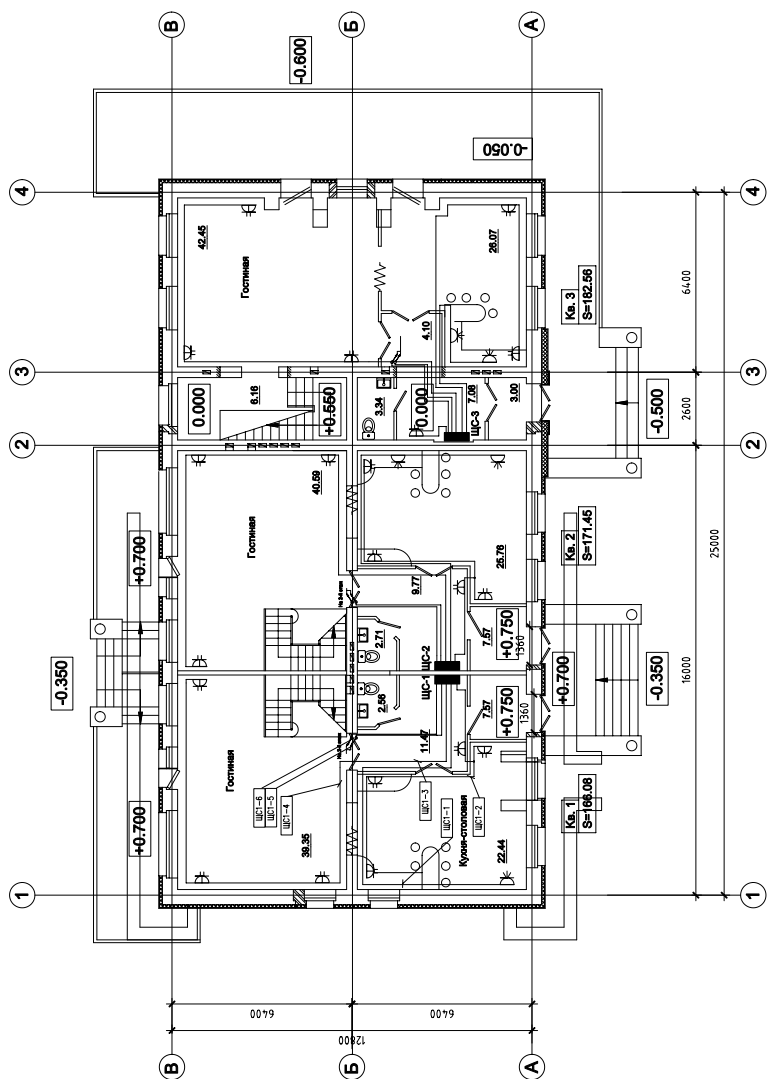


ЩС2. Щит силовой 380 В 50 Гц. Схема принципиальная однолинейная (схема выполнена без оформления основных надписей и дополнительных граф к ним)









Электроснабжение типового коттеджа. Силовая (розеточная) сеть. План на отм. 0,00

## Словарь употребляемых сокращений, понятий и терминов

ГОСТ — Государственный стандарт;  
КГС — Классификатор государственных стандартов;  
ОКС — Общероссийский классификатор стандартов;  
ЕСКД — Единая система конструкторской документации;  
ЕСТД — Единая система технологической документации;  
СПКП — Система показателей качества продукции;  
СПДС — Система проектной документации для строительства;  
ССБТ — Система стандартов безопасности труда;  
ГС ОЕИ — Государственная система обеспечения единства измерений;  
СРПП — Система разработки и постановки продукции на производство;  
НТ — Система надежности в технике;  
ЕСЗКС — Единая система защиты от коррозии и старения;  
СИБИД — Стандарты по информации, библиотечному и издательскому делу;  
ЕСПД — Единая система программной документации;  
ИТ — информационные технологии;  
ЕСС АСУ — Единая система стандартов автоматизированных систем управления;  
БЧС — безопасность в чрезвычайных ситуациях;  
МР — менеджмент риска;  
МЭК — Международная электротехническая комиссия;  
ППБ — Правила пожарной безопасности;  
НПБ — Нормы пожарной безопасности;  
СНиП — Строительные нормы и правила;  
ПУЭ — Правила устройства электроустановок;  
ПТЭ — Правила технической эксплуатации;  
ПТБ — Правила техники безопасности;  
СП — своды правил;  
РД — руководящие документы;  
ВСН — ведомственные строительные нормы;  
ОСН — отраслевые строительные нормы;  
СН — строительные нормы, инструкции;  
СанПиН — санитарные правила и нормы;  
НТП — нормы технологического проектирования;  
ВНТП — ведомственные нормы технологического проектирования;  
ОНТП — отраслевые нормы технологического проектирования;  
РТП — руководство по технологическому проектированию;  
АПК — агропромышленный комплекс;  
ТТК — типовые технологические карты;  
ГЭСН — государственные элементные сметные нормы;  
ФЕР — федеральные единичные расценки;

**ТЕР** — территориальные единичные расценки;  
 ОЕР — отраслевые единичные расценки;  
 МДС — методические указания в строительстве;  
 ЕНиР — единичные нормы и расценки;  
**ТСН** — территориальные сметные нормативы;  
**МТСН** — местные территориальные сметные нормативы;  
 РДС — руководящие документы в строительстве;  
 ТЭО — технико-экономическое обоснование;  
 ТЭР — технико-экономические расчеты;  
 ТХ, ТК, ГТ, ГП, АР, АС, АИ, КЖ, ОВ, ЭМ, ЭО, ЭН, ЭС и др. — марки основных комплектов рабочих чертежей;  
 КТП — комплектная трансформаторная подстанция;  
 ТП — трансформаторная подстанция;  
 НКУ — низковольтное комплектное устройство;  
 ГРЩ — главный распределительный щит;  
 ВРУ — вводно-распределительное устройство;  
 ЩР — щит распределительный;  
 ЩО — щит освещения;  
 ЩСУ — щит станции управления;  
 ЭП — электроприемник (электропотребитель);  
 МЭЗ — мастерские электромонтажных заготовок;  
 ЛВЖ — легковоспламеняющаяся жидкость;  
 кПа — килоПаскаль;  
 IGBT-транзистор — биполярный транзистор с изолированным затвором, гибридный полупроводниковый прибор. В IGBT совмещены два способа управления электрическим током, один из которых характерен для полевых транзисторов (управление электрическим полем), а второй — для биполярных (управление инжекцией носителей электричества);  
 ПВХ — поливинилхлорид, материал для изготовления коробов и труб для прокладки электропроводок;  
 ПКР — повторно-кратковременный режим;  
 ПВ — продолжительность включения;  
 МР — математическое ожидание;  
 DP — дисперсия;  
 ВН — высокое напряжение;  
 НН — низкое напряжение;  
 ПП — промышленное предприятие;  
 ГПП — главная понижающая подстанция;  
 ИРМ — источники реактивной мощности;  
 КУ — компенсирующее устройство;  
 КУ — конденсаторная установка;  
 СД — синхронный двигатель;  
 Ток к. з. — ток короткого замыкания;  
 УЗО — устройство защитного отключения;  
 ПЗУ — последовательное защитное устройство.

## Список литературы

1. ГОСТ 2.105–95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам;
2. ГОСТ 21.101–97. Основные требования к проектной и рабочей документации;
3. ГОСТ 21.501–93. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения архитектурно-строительных рабочих чертежей;
4. ГОСТ 21.608–84. Система проектной документации для строительства. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи;
5. ГОСТ 21.607–82. Система проектной документации для строительства. Электрическое освещение территории промышленных предприятий. Рабочие чертежи;
6. ГОСТ 21.613–88. Система проектной документации для строительства. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи;
7. ГОСТ 21.614–88. Система проектной документации для строительства. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах;
8. СП 11–110–99. Авторский надзор за строительством зданий и сооружений.
9. СНИП 11–01–95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений;
10. Типовое положение о порядке выдачи исходных данных и технических условий на проектирование, согласования документации на строительство, а также оплаты указанных услуг. 1997 г., (Минстрой России).
11. Анцев И. Б., Асташев В. О., Силенко В. Н. Проектирование внутренних электрических сетей 0,4 кВ. Требования к проектной документации. Учебное пособие. СПб: СПбГАУ, 2008. - 118 с.
12. Дьяков В. И. Типовые расчеты по электрооборудованию: Практ. пособие — 7-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1991. — 160 с.: ил.
13. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. П. Крючков, Б. Н. Неклепаев, В. А. Старшинов и др.; Под ред. И. П. Крючкова и В. А. Старшинова. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 416 с.
14. Коныхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для сред. проф. образования. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 320 с.
15. Правила устройства электроустановок, шестое издание, с изменениями, исправлениями и дополнениями, принятыми Главгосэнергонадзором РФ в период с 01.01.1992 по 01.01.1999 г. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2002. — 928 с.
16. Правила устройства электроустановок. Раздел 1. Общие правила. Глава 1.1. Общая часть. Глава 1.2. Электроснабжение и электрические сети. Глава 1.7. Заземление и защитные меры безопасности. Глава 1.9. Изоляция электроустановок. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Глава 7.5. Электротермические установки. Глава 7.6. Электросварочные установки.

- Глава 7.10. Электролизные установки и установки гальванических покрытий. Седьмое издание. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2002. — 176 с.
17. Правила устройства электроустановок. Раздел 6. Электрическое освещение. Раздел 7. Электрооборудование специальных установок. Глава 7.1. Электроустановки жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Глава 7.2. Электроустановки зрелищных предприятий, клубных учреждений и спортивных сооружений. — 7-е издание. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2002. — 80 с.
  18. Мукосеев Ю. Л. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для вузов. — М.: «Энергия», 1973. — 584 с.
  19. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. — 176 с.: ил.
  20. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. СП 31–110–2003. — СПб.: Издательство ДЕАН, 2004. — 144 с.
  21. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. — 2-е изд., испр. — М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. — 214 с., ил.
  22. Концепция развития электрификации сельского хозяйства России. — М.: Россельхозакадемия, 2001. — 36 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
----------------	---

### РАЗДЕЛ 1. ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Глава 1. Руководящие (нормативные) документы по проектированию электроустановок .....	5
1.1. Государственные стандарты (ГОСТ) .....	5
1.2. Документы, устанавливающие требования пожарной безопасности .....	11
1.3. Правила устройства электроустановок .....	14
1.4. Правила технической эксплуатации .....	16
1.5. Строительные нормы и правила (СНиП) .....	16
1.6. Руководящие документы — своды правил (СП), руководящие документы (РД), ведомственные строительные нормы (ВСН), отраслевые строительные нормы (ОСН) .....	17
1.7. Строительные нормы, инструкции (СН) .....	17
1.8. Санитарные правила и нормы (СанПиН) .....	18
1.9. Нормы технологического проектирования (НТП) .....	18
1.10. Технические циркуляры, нормативные документы. ....	19
1.11. Типовые технологические карты (ТТК) .....	19
1.12. Сметные нормативные документы .....	20
1.13. Прочие документы .....	24
Глава 2. Общие требования к проектной документации .....	24
2.1. Порядок разработки, утверждения и состав проектной документации .....	24
2.2. Требования руководящих (нормативных) документов к проектной документации .....	31
Глава 3. Проектная документация для внутренних электрических сетей зданий и сооружений. ....	45
3.1. Проектная документация для внутреннего электрического освещения зданий и сооружений .....	45

3.2. Проектная документация для силового электрооборудования .....	53
--	----

## РАЗДЕЛ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Глава 4. Выбор категории помещений и надежности электроснабжения проектируемой электроустановки. ....	65
4.1. Классификация помещений и наружных установок по окружающей среде .....	65
4.2. Классификация помещений в отношении опасности поражения людей электрическим током. ....	74
4.3. Техничко-экономическое обоснование выбора рода тока	75
4.4. Категории электроприемников и обеспечение надежности электроснабжения. ....	76
Глава 5. Конструктивное выполнение сетей промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов напряжением до 1 кВ. ....	78
5.1. Общие сведения .....	78
5.2. Электропроводки .....	78
5.3. Шинопроводы .....	80
Глава 6. Типовые схемы электрических распределительных сетей напряжением до 1 кВ. ....	86
6.1. Схемы распределительных сетей населенных пунктов .	86
6.2. Схемы электрических сетей напряжением до 1 кВ промышленных и сельскохозяйственных объектов .....	87
6.3. Схемы осветительных сетей .....	92

## РАЗДЕЛ 3. РАСЧЕТ И ВЫБОР ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Глава 7. Расчет электрических нагрузок .....	97
7.1. Общие положения .....	97
7.2. Индивидуальные графики электрических нагрузок . . .	97
7.3. Групповые графики электрических нагрузок .....	99
7.4. Представление нагрузок случайными величинами. . .	100
7.5. Показатели графиков электрических нагрузок. ....	101
7.6. Понятие расчетной электрической нагрузки .....	106

7.7. Расчет электрических нагрузок по коэффициенту расчетной активной мощности. ....	109
7.8. Расчет нагрузки электрического освещения. ....	112
7.9. Порядок определения расчетной нагрузки элемента сети, питающей группу электроприемников напряжением до 1 кВ. ....	113
7.10. Расчет электрической нагрузки промышленного или сельскохозяйственного предприятия. ....	113
7.11. Расчетные электрические нагрузки жилых зданий. ....	115
7.12. Расчетные электрические нагрузки общественных зданий. ....	117
 Глава 8. Расчет устройств для компенсации реактивных мощностей проектируемой электроустановки. ....	 117
8.1. Параметры режимов электрических систем. ....	117
8.2. Баланс активных мощностей. ....	118
8.3. Баланс реактивных мощностей. ....	119
8.4. Исходные положения по компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных и сельскохозяйственных предприятий. ....	121
8.5. Основные потребители реактивной мощности на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях. ....	122
8.6. Источники реактивной мощности (компенсирующие устройства). ....	123
8.7. Расчет силовых (статических) конденсаторов для компенсации реактивной мощности. ....	125
8.8. Пример. ....	128
 Глава 9. Расчет проводов и кабелей, выбор шинопроводов. ....	 128
9.1. Общие положения. ....	128
9.2. Определение сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву. ....	129
9.3. Проверка сечения проводов и кабелей по допустимой потере напряжения. ....	131
9.4. Выбор шинопроводов напряжением до 1 кВ и проверка шин на электродинамическую устойчивость. ....	139



Глава 10. Выбор аппаратов защиты электрических сетей напряжением до 1 кВ .....	141
10.1. Требования к аппаратам защиты .....	141
10.2. Места установки аппаратов защиты .....	143
10.3. Выбор автоматических выключателей .....	144
10.4. Выбор предохранителей .....	150
10.5. Выбор устройств защитного отключения .....	152
Глава 11. Расчет токов короткого замыкания в системе электроснабжения напряжением до 1000 В .....	164
11.1. Практический расчет тока трехфазного короткого замыкания .....	164
11.2. Практический расчет тока однофазного короткого замыкания .....	167
11.3. Пример .....	173
Глава 12. Защитные меры электробезопасности. Расчет защитного заземления .....	179
12.1. Общие положения .....	179
12.2. Расчет и выбор элементов защитного заземления. ....	181
12.3. Особенности защитных мер электробезопасности в сельскохозяйственных помещениях для содержания животных. ....	191
Глава 13. Расчет электрического освещения. ....	192
13.1. Общие положения .....	192
13.2. Метод коэффициента использования светового потока .....	193
13.3. Метод удельной мощности. ....	194
13.4. Пример .....	195

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 .....	205
Приложение 2 .....	220
Приложение 3 .....	221
Приложение 4 .....	223
Приложение 5 .....	224
Приложение 6 .....	225

Приложение 7 .....	226
Приложение 8 .....	228
Приложение 9 .....	236
Приложение 10 .....	240
Приложение 11 .....	241
Приложение 12 .....	242
Приложение 13 .....	243
Приложение 14 .....	245
Приложение 15 .....	250
Приложение 16 .....	251
Приложение 17 .....	252
Приложение 18 .....	253
Приложение 19 .....	254
Приложение 20 .....	255
Приложение 21 .....	256
Приложение 22 .....	257
Приложение 23 .....	258
Приложение 24 .....	259
Приложение 25 .....	260
Приложение 26 .....	261
Словарь употребляемых сокращений, понятий и терминов .....	262
Список литературы .....	264