

**Библиотечка электротехника № 5. 2012**

**Т. В. Анчарова  
М. А. Рашевская**

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ  
ЗДАНИЙ  
(Часть 1)**

**ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ  
ЭНЕРГЕТИК**

## **Вниманию специалистов**

Вышли в свет следующие выпуски

### **«Библиотечки электротехника»:**

Самородов Ю. Н. **Риски повреждения турбогенераторов (части 1–2)**

Пупин В. М. **Устройства защиты от провалов напряжения**

Костюшко В. А. **Анализ расчетных и экспериментальных оценок потерь мощности на корону на воздушных линиях электропередачи переменного тока**

Арцишевский Я. Л., Задкова Е. А., Кузнецов Ю. П. **Техпереворужение релейной защиты и автоматики систем электроснабжения предприятий непрерывного производства**

Долгополов А. Г. **Релейная защита управляемых шунтирующих реакторов**

Беляков Ю. С. **Распределенные параметры в расчетах режимов электрических систем**

Киреева Э. А. **Современные приборы и устройства для измерения и контроля состояния коммутационного электрооборудования в системах электроснабжения: Справочные материалы**

Киреева Э. А. **Современные приборы и устройства для контроля работоспособности электрооборудования в системах электроснабжения: Справочные материалы (части 1 и 2)**

Каргин С. В., Краснова А. Н., Бекбулатов Р. Р. **Управление качеством электроэнергии в распределительных сетях общего назначения**

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу «**ПРЕССА РОССИИ**». Том 1. **Российские и зарубежные газеты и журналы**, а также в РЕДАКЦИИ.

**Подписной индекс «Библиотечки электротехника» —  
приложения к журналу «Энергетик»**

# **88983**

Адрес редакции  
журнала «**Энергетик**»:

115280, Москва, ул. Автозаводская, д. 14/23.

Телефон (495) 675-19-06.

E-mail: [energetick@mail.ru](mailto:energetick@mail.ru)

# **Библиотечка электротехника**

*Приложение к журналу «Энергетик»*

*Основана в июне 1998 г.*

**Выпуск 5 (161)**

***Т. В. Анчарова,  
М. А. Рашевская***

## **ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЗДАНИЙ**

**(Часть 1)**

Москва

НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»

2012

УДК 621.311.4(07)  
ББК 31.29-05  
А 64

Главный редактор журнала «Энергетик» А. Ф. ДЬЯКОВ

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

«Библиотечки электротехника»

И. И. Батюк (*зам. председателя*), К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов,  
А. Н. Жулев, В. А. Забегалов, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,  
Н. В. Лисицын, В. И. Пуляев, А. И. Таджибаев

**Анчарова Т. В., Рашевская М. А.**

А 64      Электроснабжение зданий (Часть 1). — М.: НТФ «Энергопрогресс», 2012. — 84 с.: ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу «Энергетик». Вып. 5 (161)].

В брошюре рассматриваются вопросы электроснабжения административных и общественных зданий и некоторых производственных объектов. На основании анализа нормативно-технической документации (ПУЭ, СНиПы, ГОСТы, СП, СН и др.), а также опыта проектирования, предлагаются рекомендации по проектированию электроустановок зданий, способы принятия решений на разных ступенях системы электроснабжения указанных объектов, приведены примеры решения задач. Брошюра выпускается в двух частях.

Предназначена для специалистов в области проектирования и эксплуатации электроснабжения самого широкого спектра объектов, от производственных и административно-общественных до коммунальных, работающих на напряжении ниже 1 кВ.



## Предисловие

В настоящее время в энергобалансах территорий увеличивается доля непроизводственных мощностей. Это электроэнергия, затрачиваемая на функционирование систем водоснабжения и канализации, общественного электрического транспорта, ЖКХ. В городах значительная часть потребляемой электроэнергии приходится на различные административно-общественные здания: торгово-развлекательные комплексы, предприятия общественного питания, офисные комплексы, учебные заведения, здания различных муниципальных служб.

Электроустановки административно-общественных зданий активно развиваются, все увеличивается их ассортимент, число и суммарная мощность. Самая большая часть электроэнергии тратится на климатические системы: тепловые завесы, системы кондиционирования и вентиляции, единичная мощность которых может превышать 250 кВт·А, и т. д. Значительную лепту вносят различные лифтовые и эскалаторные установки, сантехническое оборудование и оборудование систем пожаротушения. На освещение расходуется также значительная часть потребляемой электроэнергии. Кроме того, электроэнергия затрачивается на электроснабжение оборудования общепита (кафе, ресторанов), а также разнообразной оргтехники.

Нормативно-технической базой проектирования электроснабжения являются Правила устройств электроустановок (ПУЭ), различные нормы и правила (СНиПы, ГОСТы, СП, СН и др.), в которых регламентированы отдельные разделы, относящиеся к электроустановкам административных и общественных зданий. Это большой объем материала, и в практических условиях как при обучении студентов, так и при проектировании пользование всей нормативно-технической базой затруднено.

В настоящей работе авторами на основании анализа нормативно-технической документации, а также опыта проектирования предлагаются рекомендации по проектированию электроустановок административных и общественных зданий. Предлагаются способы принятия решений на разных ступенях системы электроснабжения указанных объектов, приведены примеры решения отдельных задач.

В соответствии с ГОСТ 19431–84 в электроснабжении принята следующая терминология.

*Электроснабжение* (энергоснабжение) — обеспечение потребителей энергией (электроэнергией).

*Структура электроснабжения* — долевое распределение суммарного электропотребления по типам потребителей.

*Энергетический баланс* — количественная характеристика производства, потребления и потерь энергии или мощности за установленный интервал времени для определенной отрасли хозяйства, зоны энергоснабжения, предприятия, установки.

*Потребитель электрической энергии* — предприятие, организация, территориально обособленный цех, строительная площадка, квартира, у которых приемники электроэнергии присоединены к электрической сети и используют электроэнергию. В более современной трактовке под потребителем электроэнергии понимают юридическое или физическое лицо, осуществляющее использование и оплату электроэнергии.

*Электроустановка* — энергоустановка, предназначенная для производства или преобразования, передачи, распределения или потребления энергии.

*Система энергоснабжения (электроснабжения)* — совокупность взаимосвязанных энергоустановок, осуществляющих энергоснабжение (электроснабжение) района, города, предприятия.

*Приемник электроэнергии (электроприемник)* — устройство, в котором происходит преобразование электрической энергии в другой вид энергии для ее использования.

*Группа электроприемников* — совокупность электроприемников, характеризующаяся одинаковыми требованиями к надежности электроснабжения, например электроприемники операционных, родильных отделений и др. В отдельных случаях в качестве группы электроприемников могут рассматриваться потребители в целом, например водопроводная насосная станция, здание и др.

*Режим работы энергоустановки* — характеристика энергетического процесса, протекающего в энергоустановке и определяемого значениями изменяющихся во времени основных параметров этого процесса.

*График нагрузки энергоустановок* — кривая изменения во времени нагрузки потребителя энергии.

Брошюра предназначена специалистам, работающим в области электроснабжения, а также студентам электротехнических специальностей, изучающих вопросы электроснабжения.

**Замечания и пожелания по брошюре  
просьба направлять по адресу:  
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.  
Редакция журнала «Энергетик»**

*Авторы*

## ГЛАВА ПЕРВАЯ

# Характеристики режимов электропотребления объектов

### 1.1. КАТЕГОРИИ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

С точки зрения надежности электроснабжения потребители делятся на три категории и особую группу.

К *первой категории* относятся электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, нарушение функционирования особо важных элементов городского хозяйства. Из состава электроприемников первой группы выделяется особая группа (нулевая категория) электроприемников, перебой в работе которых может помешать безаварийной остановке производства и нести угрозу взрывов, пожаров, повреждения дорогостоящего оборудования, а также угрозу для жизни людей. Примером электроприемников особой группы является аварийное электрическое освещение. В коммунально-бытовой нагрузке особая группа обычно не выделяется.

К *второй категории* относятся электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских жителей.

К *третьей категории* относятся все остальные электроприемники, не подходящие под определение первой и второй категории.

Категории потребителей электроэнергии — общественных и административных зданий определяет СНИП 31.110. В табл. 1.1 приведены категории электроприемников для большинства общественно-административных зданий. Требования к надежности

электроснабжения городских потребителей должны соответствовать требованиям ПУЭ.

При рассмотрении надежности электроснабжения потребителей к соответствующей категории следует, как правило, относить отдельные электроприемники, но допускается категорирование надежности электроснабжения для группы электроприемников.

Требования к надежности электроснабжения электроприемника следует относить к ближайшему вводному устройству, к которому электроприемник подключен через коммутационный аппарат.

При построении сети требования к надежности электроснабжения отдельных электроприемников более высокой категории недопустимо распространять на все остальные электроприемники.

Категорирование электроприемников уникальных зданий и сооружений (крупнейшие театры, цирки, концертные залы, дворцы спорта и др.), зданий центральных правительственных учреждений, а также требования к надежности их электроснабжения допускается определять по местным условиям.

Электроприемники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников, и перерыв их электроснабжения может быть допущен только на время автоматического восстановления питания, допустимый интервал продолжительности нарушения электроснабжения не превышает 1 мин. При наличии электроприемников первой категории на шинах 0,38 кВ двухтрансформаторных ТП и непосредственно у потребителя должно быть предусмотрено АВР (автоматический ввод резерва).

В качестве второго независимого источника питания могут использоваться также автономные источники (аккумуляторные батареи, дизельные электростанции и др.), резервирующие связи по сети 0,38 кВ от ТП, питающихся от других независимых источников питания.

Можно также рассматривать питание электроприемников первой категории по сети 0,38 кВ от разных ТП, присоединенных к разным независимым источникам. При этом следует предусматривать необходимые резервы в пропускной способности элементов системы в зависимости от нагрузки электроприемников первой категории. Рекомендуется параллельная работа трансформаторов на напряжении 0,38 кВ по схеме со «слабыми» связями или

по полузамкнутой схеме при условии обслуживания указанных сетей 0,38 кВ электроснабжающей организацией.

Для электроснабжения электроприемников особой группы должен предусматриваться третий дополнительный источник питания, мощность которого должна обеспечивать безаварийную остановку процесса.

Электроприемники второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаиморезервирующих источников. Питание электроприемников второй категории допускается предусматривать от однострансформаторных ТП при наличии централизованного резерва трансформаторов и возможности замены повредившегося трансформатора за время не более 1 сут. Допустимая продолжительность нарушения электроснабжения для электроприемников второй категории — не более 30 мин. Для электроприемников второй категории допускается резервирование в послеаварийном режиме путем прокладки временных шланговых кабельных связей на напряжении 0,38 кВ. Допускается применение автоматизированных схем (двухлучевых и др.) для питания электроприемников второй категории, если их применение приводит к увеличению приведенных затрат на сооружение сети не более, чем на 5 %.

Электроприемники третьей категории могут получать питание от одного источника. Допустимы перерывы на время, необходимое для подачи временного питания, ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, но не более, чем на 1 сут.

Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроприемников третьей категории является сочетание петлевых линий 10(6) кВ и радиальных линий 0,38 кВ к потребителям. При применении воздушных линий электропередачи для питания электроприемников третьей категории резервирование линий может не предусматриваться. При применении в сети 0,38 кВ кабельных линий должна учитываться возможность использования временных шланговых кабелей.

В зданиях, относящихся к III категории по надежности электроснабжения (см. табл. 1.1), питающихся по одной линии, резервное питание устройств охранной и пожарной сигнализации следует осуществлять от автономных источников.

Таблица 1.1. Категории надежности электроснабжения зданий

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
Здания учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
Комплекс остальных электроприемников:	
здания с количеством работающих свыше 2000 чел. независимо от этажности, здания высотой более 16 этажей, а также здания учреждений областного, городского и районного значения с количеством работающих свыше 50 чел.	I
здания с количеством работающих свыше 50 чел., а также здания областного, городского и районного значения до 50 чел.	II
здания с количеством работающих до 50 чел.	III
Здания лечебно-профилактических учреждений*:	
электроприемники операционных и родильных блоков, отделений анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии, кабинетов лапароскопии, бронхоскопии и ангиографии, противопожарных устройств и охранной сигнализации, эвакуационного освещения и больничных лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования:	
федерального и республиканского подчинения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации, лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения	II
Библиотеки и архивы:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации зданий с фондом свыше 1000 тыс. ед. хранения	I

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников зданий с фондом, тыс. ед. хранения: свыше 100 до 1000 до 100	II III
Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия торговли**:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации, лифтов универсамов, торговых центров и магазинов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия общественного питания**:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия бытового обслуживания:	
комплекс электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест свыше 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест свыше 50, прачечных и химчисток производительностью свыше 500 кг белья в смену, бань с числом мест свыше 100	II
то же, парикмахерских с количеством рабочих мест до 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест до 50, прачечных и химчисток производительностью до 500 кг белья в смену, мастерских по ремонту обуви, металлоизделий, часов, фотоателье, бань и саун с числом мест до 100	III



Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
<b>Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы:</b>	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
<b>Музеи и выставки:</b>	
комплекс электроприемников музеев и выставок федерального значения	I
музеи и выставки республиканского, краевого и областного значения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников музеев и выставок местного значения и краеведческих музеев	III
Конференц-залы и актовые залы, в том числе со стационарными кинопроекторными установками и эстрадами во всех видах общественных зданий, кроме постоянно используемых для проведения платных зрелищных мероприятий	В соответствии с категорией электроприемников зданий, в которые встроены указанные залы

\* Для электроприемников ряда медицинских помещений, например операционных, реанимационных (интенсивная терапия), палат для недоношенных детей, может потребоваться третий независимый источник. Необходимость третьего независимого источника определяется заданием на проектирование в зависимости от типа применяемого медицинского оборудования.

\*\* Для временных сооружений, а также встроенных помещений площадью до 100 м<sup>2</sup> — третья категория электроснабжения.

*Примечания:* 1. Схемы питания противопожарных устройств и лифтов, предназначенных для перевозки пожарных подразделений, должны выполняться в соответствии со СНиП 31.110–2003 независимо от их категории надежности.

2. В комплекс электроприемников жилых домов входят электроприемники квартир, освещение общедомовых помещений, лифты, хозяйственные насосы и др. В комплекс электроприемников общественных зданий входят все электрические устройства, которыми оборудуется здание или группа помещений.

3. Категория электроснабжения может быть повышена по заданию заказчика.

Электроприемники общественных и производственных зданий относятся к различным категориям, а в производственных зданиях категории определяются в зависимости от вида производства и степени ущерба от его остановки.

## 1.2. РАСЧЕТ НАГРУЗОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

При расчете нагрузок общественных зданий основными методами являются: на предпроектной стадии расчет по укрупненным удельным электрическим нагрузкам (распределенной нагрузке) на основании табл. 6.14 СНИП 31.110–2003. Далее на стадии рабочего проектирования электроснабжения отдельного потребителя расчет выполняется по методу коэффициента спроса. В настоящее время наблюдается большое разнообразие электроприемников общественных и производственных зданий, часто сами здания многофункциональны — это и жилищно-офисные комплексы, и деловые центры с наличием производственных площадей и офисных помещений, и торгово-развлекательные комплексы. Вместе с тем можно выделить некоторые характерные электроприемники, влияющие на работу систем электроснабжения (табл. 1.2).

Расчет нагрузок общественных зданий СНИП 31.110–2003 рекомендует вести методом коэффициента спроса. При этом расчетная максимальная нагрузка определяется как произведение коэффициента спроса  $k_c$  на номинальную мощность электроприемника, причем коэффициент спроса уменьшается при увеличении числа электроприемников.

Коэффициент спроса для расчета нагрузок рабочего освещения питающей сети и вводов общественных зданий следует принимать по табл. 1.3.

Коэффициент спроса для расчета групповой сети рабочего освещения, распределительных и групповых сетей эвакуационного и аварийного освещения зданий, освещения витрин и световой рекламы следует принимать равным 1.

Коэффициент спроса для расчета электрических нагрузок линий, питающих постановочное освещение в залах, клубах и домах культуры, следует принимать равным 0,35 для регулируемого освещения эстрады и 0,2 — для нерегулируемого.

Таблица 1.2. Характерные электроприемники общественных зданий

Электроприемник	Установленная мощность (единичная), кВт	cos φ	$k_c$
Приточно-вытяжная вентиляция залов (вытяжка и приток)	1 – 6	0,85	0,7
Вентиляция санузлов	1 – 2	0,85	1
Кондиционеры	2,2 – 3	0,85	0,7
Электрополотенце	1,5	0,98	0,4
Пункт питания: оборудование холодного и горячего цехов	3,1	0,9	0,6
плита	10 – 13	0,98	
жарочная поверхность	3,9 – 7,8	0,98	
фритюрница	6 – 12	0,98	
пароконвектавтомат	9	0,98	
печь	16	0,98	
Посудомоечная машина	13,5		По табл. 1.8
Оборудование бара	4	0,92	0,6
Кассовый аппарат	0,35	0,85	По табл. 1.5
Компьютеры, и штук	0,4 <i>n</i>	0,7	
Лифты (эскалаторы, подъемники)	5,5 (пасс. 4 чел); 7 – 11,5 (груз)	0,75	По табл. 1.10
Освещение: рабочее	$P_{уд} F$	0,92	По табл. 1.3
дежурное и аварийное	$P_{уд}/0,5$		
эвакуационное	$P_{уд}/0,25$		
Розеточная сеть ( <i>n</i> розеток)	(0,06 – 0,1) <i>n</i>	0,95	По табл. 1.4
Тепловые завесы	3 – 6	0,96 – 1	0,7
Наружное освещение	2,1	0,85	1
Сигнализация	0,5	0,98	1

Примечание. 1. Установленная мощность оборудования определяется данными производителя.

2. Косинус определяется параметрами двигателей вентиляторов, компрессоров и насосов.

Таблица 1.3. Коэффициент спроса в зависимости от установленной мощности рабочего освещения

№ п.п.	Организации, предприятия и учреждения	Установленная мощность, кВт									
		До 5	10	15	25	50	100	200	400	Свыше 500	
1	Гостиницы, спальные корпуса и административные помещения санаториев, домов отдыха, пансионатов, турбаз, оздоровительных лагерей	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3	0,3	0,3
2	Предприятия общественного питания, детские ясли-сады, учебно-производственные мастерские	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5	
3	Организации и учреждения управления, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, предприятия бытового обслуживания, торговли, парикмахерские	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	
4	Проектные, конструкторские организации, научно-исследовательские институты	1	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	
5	Актовые залы, конференц-залы (освещение зала и президиума), спортзалы	1	1	1	1	1	1	—	—	—	
6	Клубы и дома культуры	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55	—	—	
7	Кинотеатры	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	—	—	

Примечание. Коэффициент спроса для установленной мощности рабочего освещения, не указанной в таблице, определяется интерполяцией.

Таблица 1.4. Коэффициент спроса для розеточных сетей

№ п.п.	Организации, предприятия и учреждения	Групповые сети	Питающие сети	Вводы зданий
1	Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, научно-исследовательские институты, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения	1	0,2	0,1
2	Гостиницы*, обеденные залы ресторанов, кафе и столовых, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы	1	0,4	0,2

\* При отсутствии стационарного общего освещения в жилых комнатах гостиниц расчет электрической нагрузки розеточной сети, предназначенной для питания переносных светильников (например, напольных), следует выполнять в соответствии с требованиями 6.13 и 6.14 СНИП 31.110–2003.

Расчетная электрическая нагрузка линий, питающих розетки  $P_{p,p}$ , кВт, определяется по формуле

$$P_{p,p} = k_{c,p} P_{y,p} n, \quad (1.1)$$

где  $k_{c,p}$  — расчетный коэффициент спроса, принимаемый по табл. 1.4;  $P_{y,p}$  — установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт (в том числе для подключения оргтехники);  $n$  — число розеток.

При смешанном питании общего освещения и розеточной сети расчетная нагрузка  $P_{p,o}$ , кВт, определяется по формуле

$$P_{p,o} = P'_{p,o} + P_{p,p}, \quad (1.2)$$

где  $P'_{p,o}$  — расчетная нагрузка линий общего освещения, кВт;  $P_{p,p}$  — расчетная нагрузка розеточной сети, кВт.

Расчетная нагрузка силовых питающих линий и вводов  $P_{p,c}$ , кВт, определяется по формуле

$$P_{p,c} = k_c P_{y,c}, \quad (1.3)$$

где  $P_{y,c}$  — установленная мощность электроприемников (кроме противопожарных устройств и резервных), кВт.

Коэффициенты спроса для расчета нагрузки вводов, питающих и распределительных линий силовых электрических сетей общественных зданий следует определять по табл. 1.5.

Таблица 1.5. Коэффициенты спроса для расчета нагрузки вводов

№ п.п.	Нагрузка линий к силовым электроприемникам	Число работающих электроприемников	
		до 3	свыше 5
1	Технологического оборудования предприятия общественного питания, пищеблоков в общественных зданиях (суммарная)	$P_{p.c} = P_{p.t} + 0,6P_{p.ct}$ где $P_{p.ct}$ — расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования или холодильных машин $k_c$ — по табл. 1.6	
2	Механического оборудования предприятий общественного питания, пищеблоков общественных зданий другого назначения, предприятий торговли	По п.1 табл. 1.7	
3	Посудомоечных машин	По табл. 1.8	—
4	Зданий (помещений) управления, проектных и конструкторских организаций (без пищеблоков), гостиниц (без ресторанов), продовольственных и промтоварных магазинов, общеобразовательных школ, специальных учебных заведений	По табл. 1.7	
5	Сантехнического и холодильного оборудования, холодильных установок систем кондиционирования воздуха	По п.1 табл. 1.7	
6	Пассажирских и грузовых лифтов, транспортеров	$P_{p.l} = k_{c,n} \sum_{i=1}^n P_{pi}$ По табл. 1.2	
7	Кинотехнологического оборудования	Мощность одного наибольшего кинопроекторного аппарата с его выпрямительной установкой и мощностью работающей звукоусилительной аппаратуры с коэффициентом спроса, равным 1	

8	Электроприводы силовых механизмов	0,5	0,2
9	Вычислительных машин (без технологического кондиционирования)	0,5	0,4
10	Технологического кондиционирования вычислительных машин	По п.1 табл. 1.7	
11	Металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станков в мастерских	0,5	0,2
12	Множительной техники, фотолабораторий	0,5	0,2
13	Лабораторного и учебного оборудования общеобразовательных школ, профессиональных училищ, средних специальных учебных заведений	0,4	0,15
14	Учебно-производственных мастерских профессионально-технических училищ, общеобразовательных школ и специальных учебных заведений	0,5	0,2
15	Технологического оборудования парикмахерских, ателье, мас-терских, комбинатов бытового обслуживания, предприятий торговли, медицинских кабинетов	0,6	0,3
16	Технологического оборудования фабрик химчистки и прачечных	0,7	0,5
17	Руко- и полотносущителей	0,4	0,15

Примечания. 1. Расчетная нагрузка должна быть не менее мощности наибольшего из электроприемников.  
2. Коэффициент спроса для одного электроприемника следует принимать равным 1.

Таблица 1.6. Коэффициент спроса для посудомоечных машин

Количество посудомоечных машин	1	2	3
Коэффициент спроса $k_c$	1/0,65	0,9/0,6	0,85/0,55

*Примечание.* В числителе приведены значения  $k_c$  для посудомоечных машин, работающих от сети холодного водоснабжения, в знаменателе — от горячего водоснабжения.

Расчетную нагрузку питающих линий технологического оборудования и посудомоечных машин предприятий общественного питания и пищеблоков  $P_{p,c}$ , кВт, определяется по формуле

$$P_{p,c} = P_{p,pm} + 0,65P_{p,t} > P_{p,t}, \quad (1.4)$$

где  $P_{p,pm}$  — расчетная нагрузка посудомоечных машин, кВт, определяемая с учетом коэффициента спроса, который принимается по табл. 1.6;  $P_{p,t}$  — расчетная нагрузка технологического оборудования, кВт, определяемая с учетом коэффициента спроса, который принимается по табл. 1.7.

К технологическому оборудованию следует относить:

- тепловое (электрические плиты, мармиты, сковороды, жарочные и кондитерские шкафы, котлы, кипяtilьники, фритюрницы и т. п.); механическое (тестомесильные машины, универсальные приводы, хлеборезки, вибростата, коктейлевзбивалки, мясорубки, картофелечистки, машины для резки овощей и т. п.);
- мелкое холодильное (шкафы холодильные, бытовые холодильники, низкотемпературные прилавки и тому подобные устройства единичной мощностью менее 1 кВт);
- лифты, подъемники и прочее оборудование (кассовые аппараты, радиоаппаратура и т. п.).

Суммарная расчетная нагрузка питающих линий и силовых вводов предприятий общественного питания  $P_{p,c}$ , кВт, определяется по формуле

$$P_{p,c} = P_{p,t} + 0,6P_{p,ст}, \quad (1.5)$$

где  $P_{p,ст}$  — расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования или холодильных машин, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по п. 1 табл. 1.8.

Расчетную нагрузку силовых вводов предприятий общественного питания при предприятиях, организациях и учреждениях, предназначенных для обслуживания лиц, постоянно работающих



Таблица 1.7. Коэффициент спроса для технологического оборудования

Количество электроприемников теплового оборудования предприятий общественного питания и пищеблоков, подключенных к данному элементу сети	Число электроприемников*										Свыше 120
	2	3	5	8	10	15	20	30	От 60 до 100		
$k_c$ для технологического оборудования	0,9	0,85	0,75	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4	0,3	0,3	0,25

Примечания. 1. Коэффициенты спроса для линий, питающих отдельно механическое или холодильное, или сантехническое оборудование, а также лифты, подъемники и т. п., принимаются по табл. 6.7. СНиП 31.110—2003.

2. Мощность посудомоечных машин в максимальном нагрузке на вводах не учитывается.

3. Определение коэффициента спроса для числа присоединенных электроприемников, не указанных в таблице, производится по интерполяции.

Таблица 1.8. Коэффициент спроса для сантехнического и холодильного оборудования

№ п.п.	Доля установленной мощности работающего сантехнического и холодильного оборудования, включая системы кондиционирования воздуха в общей установленной мощности работающих силовых электроприемников, %	Число электроприемников*													
		2	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200			
1	100 — 85	1 (0,8)	0,9 (0,75)	0,8 (0,7)	0,75	0,7	0,65	0,6	0,65	0,65	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5
2	84 — 75	—	—	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,65	0,65	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5
3	74 — 50	—	—	—	0,7	0,65	0,65	0,6	0,65	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,45
4	49 — 25	—	—	—	0,65	0,6	0,6	0,65	0,65	0,65	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
5	24 и менее	—	—	—	0,6	0,6	0,65	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4

\* В скобках приведены коэффициенты спроса для электродвигателей единичной мощностью свыше 30 кВт.

Примечания. 1. Определение коэффициента спроса для числа присоединенных электроприемников, не указанного в таблице, производится по интерполяции.

2. В установленную мощность резервные электроприемники не включаются.

в учреждении, а также при учебных заведениях, следует определять по формуле (1.5) с коэффициентом 0,7.

Нагрузку распределительных линий электроприемников уборочных механизмов для расчета сечений проводников и уставок защитных аппаратов следует, как правило, принимать равной 9 кВт при напряжении 380/220 В и 4 кВт при напряжении 220 В. При этом установленную мощность одного уборочного механизма, присоединяемого к трехфазной розетке с защитным контактом, следует принимать равной 4,5 кВт, а к однофазной — 2 кВт.

Мощность электроприемников противопожарных устройств, резервных электродвигателей и уборочных механизмов следует учитывать только в тех случаях, когда она определяет выбор защитных аппаратов и сечений проводников.

Для расчета линий питания одновременно работающих электроприемников противопожарных устройств  $k_c$  принимается равным 1. При этом учитывается одновременная работа вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха, расположенных только в одной секции.

Расчетная электрическая нагрузка конференц-залов и актов залов во всех элементах сети зданий определяется по наибольшей из нагрузок — освещения зала и президиума, кинотехнологии или освещения эстрады.

В расчетную нагрузку кинотехнологического оборудования конференц-залов и актов залов включается мощность одного наибольшего кинопроекторного аппарата с его выпрямительной установкой и мощность работающей звукоусилительной аппаратуры с коэффициентом спроса, равным 1. Если в кинопроекторной установлена аппаратура для нескольких форматов экрана, то в расчетную нагрузку должна включаться аппаратура наибольшей мощности.

Расчетную электрическую нагрузку силовых вводов общественных зданий (помещений), относящихся к одному комплексу, но предназначенных для потребителей различного функционального назначения (например, учебных помещений и мастерских, специальных учебных заведений и школ; парикмахерских, ателье, ремонтных мастерских комбинатов бытового обслуживания; общественных помещений и вычислительных центров и т. п.), следует принимать с коэффициентом несовпадения максимумов их нагрузок, равным 0,85. При этом суммарная расчетная нагрузка

Таблица 1.9. Коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников

№ п.п.	Здания	Отношение расчетной нагрузки освещения к силовой, %		
		от 20 до 75	свыше 75 до 140	свыше 140 до 250
1	Предприятия торговли и общественного питания, гостиницы	0,9(0,85)	0,85(0,75)	0,9(0,85)
2	Общобразовательные школы, специальные учебные заведения	0,95	0,9	0,95
3	Детские ясли-сады	0,85	0,8	0,85
4	Ателье, комбинаты бытового обслуживания, химчистки с прачечными самообслуживания, парикмахерские	0,85	0,75	0,85
5	Организации и учреждения управления, финансирования и кредитования, проектные и конструкторские организации	0,95(0,85)	0,9(0,75)	0,95(0,85)

Примечания. 1. При отношении расчетной осветительной нагрузки к силовой до 20 и свыше 250 % коэффициент  $k$  следует принимать равным 1.

2. В скобках приведен коэффициент  $k$  для зданий и помещений с кондиционированием воздуха.

3. Коэффициент  $k_1$  при отношении расчетной нагрузки освещения к расчетной нагрузке холодильного оборудования холодильной станции принимается исходя из следующих данных:

$P_{р.о}/P_{р.х.с}$ %	До 15	20	50	100	Свыше 150
$k_1$	1	0,8	0,6	0,4	0,2

4. Коэффициент спроса для промежуточных соотношений определяется интерполяцией. В расчетной нагрузке не учитываются нагрузки помещений без естественного освещения.

должна быть не менее расчетной нагрузки наибольшей из групп потребителей.

Расчетная нагрузка питающих линий и вводов в рабочем и аварийном режимах при совместном питании силовых электроприемников и освещения  $P_p$ , кВт, определяется по формуле

$$P_p = k(P_{p.o} + P_{p.c} + k_1 P_{p.x.c}), \quad (1.6)$$

где  $k$  — коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников, включая холодильное оборудование и освещение, принимаемый по табл. 1.9;  $k_1$  — коэффициент, зависящий от отношения расчетной нагрузки освещения к нагрузке холодильного оборудования холодильной станции;  $P_{p.o}$  — расчетная нагрузка освещения, кВт;  $P_{p.c}$  — расчетная нагрузка силовых электроприемников без холодильных машин систем кондиционирования воздуха, кВт;  $P_{p.x.c}$  — расчетная нагрузка холодильного оборудования систем кондиционирования воздуха, кВт.

Расчетную электрическую нагрузку общежитий профессиональных училищ, средних учебных заведений и школ-интернатов следует определять в соответствии с перечисленными выше требованиями, а ее участие в расчетной нагрузке учебного комплекса — с коэффициентом, равным 0,2.

Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок зданий  $P_{p.л}$ , кВт, составляет часть силовой нагрузки и определяется по формуле

$$P_{p.л} = k_{c.л} \sum_1^{n_l} P_{лi}, \quad (1.7)$$

Таблица 1.10. Коэффициент спроса для лифтовых установок

№ п.п.	Число лифтовых установок	Дома высотой, этажей	
		до 12	12 и выше
1	2 – 3	0,8	0,9
2	4 – 5	0,7	0,8
3	6	0,65	0,75
4	10	0,5	0,6
5	20	0,4	0,5
6	25 и выше	0,35	0,4

*Примечание.* Коэффициент спроса для числа лифтовых установок, не указанных в таблице, определяется интерполяцией.

Таблица 1.11. Коэффициент мощности для силовых сетей общественных зданий

Здания и сооружения	Коэффициент мощности
Предприятия общественного питания: полностью электрифицированные частично электрифицированные (с плитами на газообразном и твердом топливе)	0,98 0,95
Продовольственные и промтоварные магазины	0,85
Ясли-сады: с пищеблоками без пищеблоков	0,98 0,95
Общеобразовательные школы: с пищеблоками без пищеблоков	0,95 0,9
Фабрики-химчистки с прачечными самообслуживания	0,75
Учебные корпуса профессиональных училищ	0,9
Учебно-производственные мастерские по металлообработке и деревообработке	0,6
Гостиницы: без ресторанов с ресторанами	0,85 0,9
Здания и учреждения управления, финансирования, кредитования и государственного страхования, проектные и конструкторские организации	0,85
Парикмахерские и салоны-парикмахерские	0,97
Ателье, комбинаты бытового обслуживания	0,85
Холодильное оборудование предприятий торговли и общественного питания, насосов, вентиляторов и кондиционеров воздуха при мощности электродвигателей, кВт: до 1 от 1 до 4 свыше 4	0,65 0,75 0,85
Лифты и другое подъемное оборудование	0,65
Вычислительные машины (без технологического кондиционирования воздуха)	0,65
Сети освещения с лампами: люминесцентными накаливания ДРЛ и ДРИ с компенсированными ПРА то же, с некомпенсированными ПРА	0,92 1,0 0,85 0,3 – 0,5
Газосветные рекламные установки	0,35 – 0,4

где  $k_{сл}$  — коэффициент спроса, определяемый по табл. 1.10 в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий;  $n_{л}$  — число лифтовых установок, питаемых линией;  $P_{пи}$  — установленная мощность электродвигателя  $i$ -го лифта по паспорту, кВт.

Коэффициент мощности для расчета силовых сетей общественных зданий рекомендуется принимать по табл. 1.11.

Применение светильников с люминесцентными лампами с некомпенсированными ПРА в общественных зданиях не допускается, кроме одноламповых светильников мощностью до 30 Вт, имеющих коэффициент мощности 0,5. При совместном питании линией разрядных ламп и ламп накаливания коэффициент мощности определяется с учетом суммарных активных и суммарных реактивных нагрузок.

Расчетную нагрузку питающей линии (трансформаторной подстанции) при смешанном питании потребителей различного назначения (жилых домов и общественных зданий или помещений)  $P_p$ , кВт, определяют по формуле

$$P_p = P_{зд\ max} + k_1 P_{зд1} + k_2 P_{зд2} + \dots + k_n P_{здn} P_{здn}, \quad (1.8)$$

где  $P_{зд\ max}$  — наибольшая из нагрузок зданий, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт;  $P_{зд1}, P_{зд2} \dots P_{здn}$  — расчетные нагрузки всех зданий, кроме здания, имеющего наибольшую нагрузку, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт;  $k_1, k_2, k_n$  — коэффициенты, учитывающие долю электрических нагрузок общественных зданий (помещений) и жилых домов (квартир и силовых электроприемников) в наибольшей расчетной нагрузке, принимаемые по табл. 1.12.

Ориентировочные расчеты электрических нагрузок общественных зданий допускается выполнять по укрупненным удельным электрическим нагрузкам, приведенным в табл. 1.13.

**Пример.** Рассчитать нагрузки магазина площадью около 300 м<sup>2</sup>.

Объект находится внутри торгово-развлекательного центра, освещение над входом не требуется. Категория электроснабжения часто определяется заказчиком, так как он может повысить категорию. Внутри магазина могут одновременно находиться до 50 чел., что соответствует третьей категории электроснабжения.

Для отдельных арендаторов по (СНИП 31) монтируется щит — ЩС. Питание аварийного освещения выполняется от отдельной

Т а б л и ц а 1.12. Коэффициенты несования максимумов для расчета нагрузки питающих линий

Здания (помещения) с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома с плитами		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, больницы	Общественные школы, проф-фессорно-научные центры, про-фессиональные училища	Организации и учреждения управле-ния, проектные и конструкторские организации, учреждения финанси-рования и кредитования	Пред-приятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские ясли-сады	Политехники	Агенте и комбинаты бытового обслу-живания	Предприятия коммунального обслу-живания	Кинотеатры
	электрическими	на твердом и газообраз-ном топливе	столовые	рестораны, кафе				одноэтажные	полуторно-этажные, двухэтажные							
Жилые дома с плитами: электрическими на твердом и газообразном топливе	—	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
	0,9	—	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Предприятия общественного питания (столовые, кафе и рестораны)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Общественные школы, средние учебные заведения, профессиональные училища, библиотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Предприятия торговли (одно- этажные и полутора- двухэтажные)	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8

Здания (помещения) с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома с питанием		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотeki	Общественные здания, учреждения, предприятия, организации, проектно-конструкторские организации, управление и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские ясли-сады	Поликлиники	Ателье и комбинаты бытового обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Живая	Живая	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	электрические	на твердом и газообразном топливе	столовые	рестораны, кафе			однокомнатные	полуторные, двухкомнатные										
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,8	0,7	0,8	0,9
Поликлиники	0,5	0,4	0,8	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ателье и комбинаты бытового обслуживания, предприятия коммунального обслуживания	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Кинотеатры	0,9	0,9	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,8	0,7	0,2	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	—

Примечания. 1. При нескольких нагрузках, имеющих равное или близкое к равному наибольшее значение, расчет следует выполнять относительно той нагрузки, при которой  $P_p$  получается наибольшим.

2. Для гаражей, автостоянок и тепловых пунктов жилого дома с электрическими и газовыми плитами коэффициент участия в максимальном нагрузке равен 0,9.



Таблица 1.13. Удельная нагрузка общественных зданий для расчета по укрупненным показателям

№ п.п.	Здание	Удельная нагрузка
<i>Предприятия общественного питания, кВт/место</i>		
1	Полностью электрифицированные с количеством посадочных мест: до 400	1,04
2	свыше 400 до 1000	0,86
3	свыше 1000	0,75
4	Частично электрифицированные (с плитами на газообразном топливе) с количеством посадочных мест: до 400	0,81
5	свыше 400 до 1000	0,69
6	свыше 1000	0,56
<i>Продовольственные магазины, кВт/м<sup>2</sup> торгового зала</i>		
7	Без кондиционирования воздуха	0,23
8	С кондиционированием воздуха	0,25
<i>Промтоварные магазины, кВт/м<sup>2</sup> торгового зала</i>		
9	Без кондиционирования воздуха	0,14
10	С кондиционированием воздуха	0,16
<i>Общеобразовательные школы, кВт/1 учащегося</i>		
11	С электрифицированными столовыми и спортзалами	0,25
12	Без электрифицированных столовых, со спортзалами	0,17
13	С буфетами, без спортзалов	0,17
14	Без буфетов и спортзалов	0,15
15	Профессиональные училища со столовыми	0,46
16	Детские ясли-сады, кВт/место	0,46
<i>Кинотеатры и киноконцертные залы, кВт/место</i>		
17	С кондиционированием воздуха	0,14
18	Без кондиционирования воздуха	0,12
19	Клубы	0,46
20	Парикмахерские	1,5

№ п.п.	Здание	Удельная нагрузка
<i>Здания или помещения учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, кВт/м<sup>2</sup> общей площади</i>		
21	С кондиционированием воздуха	0,054
22	Без кондиционирования воздуха	0,043
<i>Гостиницы, кВт/место</i>		
23	С кондиционированием воздуха	0,46
24	Без кондиционирования воздуха	0,34
25	Дома отдыха и пансионаты без кондиционирования воздуха	0,36
26	Фабрики химчистки и прачечные самообслуживания, кВт/кг вещей	0,075
27	Детские лагеря, кВт/м <sup>2</sup> жилых помещений	0,023

*Примечания.* 1. Пункты 1 – 6 — удельная нагрузка не зависит от наличия кондиционирования воздуха.

2. Пункты 15, 16 — нагрузка бассейнов и спортзалов не учтена.

3. Пункты 21, 22, 25, 27 — нагрузка пищеблоков не учтена. Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать как для предприятий общественного питания с учетом количества посадочных мест, рекомендованного нормами для соответствующих зданий.

4. Пункты 23, 24 — удельная нагрузка ресторанов при гостиницах принимается как для предприятий общественного питания открытого типа.

5. Для предприятий общественного питания при числе мест, не указанном в таблице, удельные нагрузки определяются интерполяцией.

группы щита арендатора через автономный источник питания,  $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$ .

При расчете по укрупненным показателям (см. табл. 1.13) получаем:

$$P_{\text{уд}} F_{\text{Т.З}} = 0,16 \cdot 300 = 48 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{уд}}$  — удельная нагрузка, кВт/м<sup>2</sup> торгового зала;  $F_{\text{Т.З}}$  — площадь торгового зала, м<sup>2</sup>.

Проведем также расчет методом коэффициента спроса. При этом нагрузка вычисляется по формуле (1.3).

Для осветительной нагрузки коэффициент спроса берется по табл. 1.3, для остального оборудования — по п. 15 табл. 1.5, за исключением оборудования пожарной и охранной сигнализации, где  $k_c = 1$ , для холодильного оборудования, включая системы кондиционирования воздуха — по п. 1 табл. 1.7  $k_c = 0,8$ , для розеточной сети — по табл. 1.4  $k_c = 0,4$ . В табл. 1.14 приведены исходные данные и результаты расчета.

Расчетный ток вычисляется по следующей формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{ном}} = \frac{49,86}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 75,7 \text{ А.}$$

Коэффициенты мощности находим из характеристик соответствующего установленного оборудования. В табл. 1.14 учитываются приемники с длительным режимом и повторно-кратковременным (холодильники) режимом работы.

Характеристики нагрузки, полученные в результате расчета:

установленная мощность — 59,94 кВт;

расчетная полная мощность — 49,86 кВ·А;

средневзвешенный коэффициент мощности — 0,9;

средневзвешенный коэффициент спроса — 0,68.

**Пример.** Рассчитать нагрузки общественного здания по средней мощности.

При расчете нагрузки линий, питающих здание, а также нагрузки шинопроводов и шин трансформаторных подстанций, можно применять методы расчета, основанные на использовании значений средней мощности и коэффициентов максимальной мощности  $k_m$ , коэффициента формы  $k_\phi$  и коэффициента одновременности на интервале осреднения  $k_{от}$ .

Коэффициенты  $k_m$  и  $k_\phi$  обычно находятся в пределах 1,05 — 1,2.

Расчетная нагрузка определяется как

$$P_p = k_\phi P_{cp} = k_\phi k_{от} P_{ном}; \quad (1.9)$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi;$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

Таблица 1.14. Исходные данные и расчетные нагрузки

№	Наименование	$P_{\text{уст групп-}}^{\text{пых}}$ , кВт	$k_c$	cosφ	tgφ	Расчетная мощность		
						$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
1	Освещение	5,6	0,98	0,92	0,43	5,48	2,36	5,96
2	Подсветка торгового оборудования и вывески	5,05	1	0,92	0,43	5,05	2,15	5,49
3	Розеточная сеть	5,34	0,4	0,98	0,2	2,136	0,43	2,17
4	Офисная техника (тел/факс, детектор валют, компьютер)	9,7	0,6	0,98	0,2	5,82	1,18	5,94
5	Кассовый модуль	1,05	0,6	0,98	0,2	0,61	0,122	0,62
6	Холодильное оборудование	4,1	0,8	0,85	0,62	3,28	2,03	3,85
7	Кондиционер	8,5	0,8	0,75	0,88	6,8	5,98	9,05
8	Приточная установка	2,2	0,8	0,75	0,88	1,76	1,54	2,33
9	Канальный кондиционер	2,2	0,8	0,75	0,88	1,76	1,54	2,33
10	Тепловая завеса	7,5	0,6	0,9	0,48	4,5	2,18	5
11	Детектор краж, контроль доступа	0,7	1	0,98	0,2	0,7	0,14	0,72
12	Электроконвекторы	8	0,8	1	0	6,4	0	6,4
<b>Итого</b>		<b>59,94</b>	<b>0,68</b>	<b>0,9</b>	<b>0,48</b>	<b>44,296</b>	<b>19,55</b>	<b>49,86</b>

Таблица 1.15. Таблица расчета нагрузок

Наименование РУ и электроприемников	Исходные данные						Расчетная нагрузка				
	$P_{\text{ном}}$ кВт	$n$	$\Sigma P_{\text{ном}}$ кВт	$K_{\text{и}}$	$I_{\text{н}}$ , А	cosφ	tgφ	$I_{\text{ср}}$ , А	$P_{\text{ср}}$ кВт	$Q_{\text{ср}}$ квар	$S_{\text{ср}}$ кВА
<b>Основное технологическое оборудование</b>											
Киноаппаратные											
Мотор	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62	0,36	0,20	0,12	
Мотор	0,2	2	0,4	0,5	0,72	0,85	0,62	0,36	0,20	0,12	
Усилитель	0,5	2	0,4	0,9	0,76	0,8	0,75	0,68	0,36	0,27	
Лампа ДКСШ	3	2	6	0,5	11,41	0,8	0,75	5,70	3,00	2,25	
Лампа ДКСШ	3	2	6	0,5	11,41	0,8	0,75	5,70	3,00	2,25	
Вспомогательное оборудование	0,5	1	0,5	0,9	2,53	0,9	0,48	2,27	0,45	0,22	
Перемоточная	0,2	2	0,4	1	1,91	0,95	0,33	1,91	0,40	0,13	
Освещение киноаппаратной	0,08	8	0,64	1	3,42	0,85	0,62	3,42	0,64	0,40	
<b>Освещение красного и синего залов</b>											
Световой карниз (4 линейки в двух залах)	0,06	192	11,5	0,3	17,70	0,99	0,14	5,31	3,46	0,49	
Потолочные светильники	0,035	68	2,38	0,3	3,66	0,99	0,14	1,10	0,71	0,10	
Прожектора дежурного освещения	0,5	4	2	0,3	9,18	0,99	0,14	2,75	0,60	0,09	
<b>Первый этаж</b>											
Вентиляция туалетов	0,5	2	1	1	5,35	0,85	0,62	5,35	1,00	0,62	
Рукосушитель	1,8	2	3,6	0,2	17,22	0,95	0,33	3,44	0,72	0,24	

Наименование РУ и электроприемников	Исходные данные						Расчетная нагрузка				
	$P_{ном}$ кВт	$n$	$\Sigma P_{ном}$ кВт	$K_n$	$I_{нп}$ , А	$\cos\varphi$	$\tan\varphi$	$I_{ср}$ , А	$P_{ср}$ кВт	$Q_{ср}$ квар	$S_{ср}$ кВА
Оборудование буфета	3	1	3	0,6	4,80	0,95	0,33	2,88	1,80	0,59	
Игровые аппараты	0,3	6	1,8	0,6	9,63	0,85	0,62	5,78	1,08	0,67	
Освещение кассового вестибюля	0,04	26	1,04	1	4,78	0,99	0,14	4,78	1,04	0,15	
Освещение фойе	0,04	48	1,92	1	8,82	0,99	0,14	8,82	1,92	0,27	
Освещение касс	0,04	4	0,16	1	0,86	0,85	0,62	0,86	0,16	0,10	
Освещение туалетов	0,06	8	0,48	1	2,20	0,99	0,14	2,20	0,48	0,07	
<b>Фото студия и фотомагазины</b>											
Освещение	0,02	68	1,36	0,9	7,27	0,85	0,62	6,55	1,22	0,76	
Кондиционирование	2,2	2	4,4	0,6	7,87	0,85	0,62	4,72	2,64	1,64	
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62	10,59	1,98	1,23	
Фотоаппаратура и фотомашины	3,5	2	7	0,4	12,53	0,85	0,62	5,01	2,80	1,74	
<b>Кошопитр</b>											
Освещение	0,020	32	0,64	0,9	3,42	0,85	0,62	3,08	0,58	0,36	
Кондиционирование	2,2	1	2,2	0,6	11,76	0,85	0,62	7,06	1,32	0,82	
Тепловая завеса	2,2	1	2,2	0,9	11,76	0,85	0,62	10,59	1,98	1,23	
<b>Уличное освещение</b>											
Козырек у входа	0,5	1	0,5	0,8	2,53	0,9	0,48	2,02	0,40	0,19	
Освещение плакатов и рекламы	0,25	9	2,25	0,8	3,46	0,99	0,14	2,77	1,80	0,26	

*Цокольный этаж*

Бойлер котельной	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	2,11	1,32	0,43
Бойлер в административном помещении	2,2	1	2,2	0,6	10,53	0,95	0,33	2,11	1,32	0,43
Стиральная машина	2,2	1	2,2	0,3	11,11	0,9	0,48	1,12	0,66	0,32
Привод общеобменной вентиляции	2,2	1	2,2	1	11,76	0,85	0,62	11,76	2,20	1,36
Бытовая и оргтехника административных помещений	0,4	20	8	0,5	13,52	0,9	0,48	6,76	4,00	1,94
Освещение цокольного этажа лампами накаливания	0,06	20	1,2	1	1,84	0,99	0,14	1,84	1,20	0,17
Освещение цокольного этажа лампами люминесцентными	0,02	160	3,2	1	5,73	0,85	0,62	5,73	3,20	1,98
Циркуляционный двигатель котельной	2,2	1	2,2	0,5	3,94	0,85	0,62	1,97	1,10	0,68
Котельная поддув	3,2	1	3,2	0,8	5,73	0,85	0,62	4,58	2,56	1,59
Пожарный насос (аварийный режим)	3,2	2	6,4	1	11,45	0,85	0,62	11,45	6,40	3,97

*Второй этаж*

Питание ЦПР-К	—	—	73	—	113,31	0,98	0,20	95,00	62,00	12,59
Вентиляция второго этажа	—	—	5,7	—	10,20	0,85	0,62	6,26	3,50	—
Пожарно-охранная сигнализация	0,5	1	0,5	0,6	2,53	0,9	0,48	1,52	0,30	0,15
Итого			181			0,95	0,34	203,99	126,80	43,65
										131,1

Для групп приемников с повторно-кратковременным циклом работы эти выражения справедливы всегда. Среднюю мощность находим по известным данным об установленной мощности и коэффициенте использования. Коэффициентом формы называют отношение среднеквадратичного тока (или среднеквадратичной полной мощности) приемника или группы приемников за определенный период к его среднему значению за тот же период времени. При невозможности точного его определения для приемников с достаточно равномерным графиком нагрузки можно принимать этот коэффициент  $k_{\phi} = 1,1 \div 1,2$ , при этом он уменьшается по направлению от низших к высшим уровням электропитания.

В предлагаемом примере сначала рассчитывается средняя мощность для каждого из электроприемников, результаты расчета и исходные данные приведены в табл. 1.15.

Затем рассчитывается значение  $S_p = S_{\text{ср}} k_{\phi}$ .

Расчетная нагрузка на вводах в здание

$$S_p = S_{\text{ср}} k_{\phi} = 134,1 \cdot 1,1 = 147,51 \text{ кВ}\cdot\text{А},$$

а расчетный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{147,51}{1,74 \cdot 0,38} = 223,1 \text{ А}.$$

### 1.3. РАСЧЕТ НАГРУЗОК ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ

Под электрической нагрузкой понимают мощность (активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$ ) или ток  $I$ . Различают нагрузки номинальные, средние максимальные (кратковременные и длительные). Кратковременную максимальную нагрузку длительностью до нескольких секунд называют *пиковой*, а длительную, продолжительность которой соответствует времени нагревания проводника до максимальной температуры для данного тока, называют *расчетной*.

Расчетная активная  $P_p$  и реактивная  $Q_p$  мощность — это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке  $I_p$ , которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по наибольшему возможному тепловому воздействию на



элемент системы электроснабжения. Вероятность превышения фактической нагрузки над расчетной не более 0,05 на интервале осреднения, длительность которого принята равной трем постоянным времени нагрева элемента системы электроснабжения  $3T_0$ , через который передается ток нагрузки (кабеля, провода, шинопровода, трансформатора и т. д.).

Для одиночных электроприемников (ЭП) расчетная мощность принимается равной номинальной, для одиночных ЭП повторно-кратковременного режима — равной номинальной, приведенной к длительному режиму.

Метод определения расчетной электрической нагрузки зависит от стадии проектирования системы электроснабжения, т. е. от располагаемого объема исходной информации.

На предварительных стадиях проекта применяют методы, использующие статистически определенные коэффициенты: метод коэффициента спроса  $k_c$ , метод коэффициента формы  $k_{\phi}$ , или вычисляют нагрузку по удельным значениям мощности на единицу производственной площади либо электропотребления на единицу выпускаемой продукции.

При определении расчетных нагрузок при известных значениях мощностей и известном расположении электроприемников пользуются более точным методом коэффициента расчетных нагрузок  $k_p$ . Это методика определения электрических нагрузок, являющихся исходными данными для проектирования систем электроснабжения потребителей электроэнергии всех отраслей народного хозяйства. Методика не распространяется на определение электрических нагрузок электроприемников с резкопеременным графиком нагрузки (электроприводов прокатных станков, дуговых электропечей, контактной электросварки и т. п.), промышленного электрического транспорта, жилых и общественных зданий, а также электроприемников, с известным графиком нагрузки.

Коэффициент расчетной мощности  $K_p$  — отношение расчетной активной мощности  $P_p$  к мощности  $K_{и}P_{ном}$  группы ЭП:

$$K_p = P_p / K_{и}P_{ном}$$

где  $P_p$  — расчетная активная мощность;  $K_{и}$  или  $k_{и}$  — коэффициент использования группы ЭП или отдельного электроприемника;  $P_{ном}$  — номинальная (установленная) мощность одного ЭП — мощность,

обозначенная на заводской табличке или в его паспорте; групповая номинальная (установленная) активная мощность — сумма номинальных активных мощностей группы ЭП:

$$P_{\text{НОМ}} = \sum_1^n P_{\text{НОМ}},$$

где  $n$  — число электроприемников.

Коэффициент расчетной мощности зависит от эффективного числа электроприемников, средневзвешенного коэффициента использования, а также от постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки (табл. 1.16).

Коэффициент использования отдельного электроприемника  $k_{\text{и}}$  или группы ЭП  $K_{\text{и}}$  — отношение средней активной мощности отдельного ЭП  $P_{\text{с}}$  или группы ЭП  $P_{\text{с}}$  за наиболее загруженную смену к ее номинальному значению:

$$k_{\text{и}} = P_{\text{с}}/P_{\text{НОМ}}; K_{\text{и}} = P_{\text{с}}/P_{\text{НОМ}}. \quad (1.10)$$

В справочных материалах, содержащих расчетные коэффициенты для определения электрических нагрузок промышленных предприятий, например в [2], значения коэффициентов использования приведены по характерным (однородным) категориям ЭП. К одной характерной категории относятся ЭП, имеющие одинаковое технологическое назначение, а также одинаковые верхние границы возможных значений  $k_{\text{и}}$  и коэффициентов реактивной мощности  $\text{tg}\varphi$ . Например, сверлильные станки относятся к характерной категории «металлорежущие станки», которая представлена в справочных материалах расчетными коэффициентами  $k_{\text{и}} = 0,14$  и  $\text{tg}\varphi = 2,3$ . Это означает, что активная и реактивная средняя (за максимально загруженную смену) мощность любого станка, относящегося к указанной категории может быть выше  $P_{\text{с}} = P_{\text{НОМ}}k_{\text{и}}$  и  $Q_{\text{с}} = P_{\text{НОМ}}k_{\text{и}}\text{tg}\varphi$  с вероятностью превышения не более 0,05.

Для группы, состоящей из ЭП различных категорий (т. е. с разными  $k_{\text{и}}$ ), средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле

$$K_{\text{и}} = \sum_1^n k_{\text{и}} P_{\text{НОМ}} / \sum_1^n P_{\text{НОМ}}, \quad (1.11)$$

где  $n$  — число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу.

При определении  $K_{и}$  группы электроприемников как средне-взвешенного справочного значения характерных категорий произведение  $K_{и}P_{ном}$  не должно рассматриваться как среднее значение ожидаемой нагрузки, так как в нем не учтен фактор снижения расчетных значений  $K_{и}$  при увеличении числа электроприемников в группе;  $K_{и}P_{ном}$  используется как промежуточная расчетная величина, позволяющая сохранить традиционный алгоритм расчета.

Эффективное число электроприемников  $n_{эф}$  — это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности электроприемников. Значение  $n_{эф}$  рекомендуется определять по следующему выражению:

$$n_{эф} = (\sum P_{ном})^2 / \sum n p_{ном}^2. \quad (1.12)$$

Значение  $n_{эф}$  может определяться также по упрощенному выражению

$$n_{эф} = 2 \sum P_{ном} P_{ном \max}. \quad (1.13)$$

Если найденное по упрощенному выражению число  $n_{эф}$  окажется больше  $n$ , то следует принимать  $n_{эф} = n$ . Если  $P_{ном \max} / P_{ном \min} \leq 3$ , где  $P_{ном \min}$  — номинальная мощность наименее мощного ЭП группы, также принимается  $n_{эф} = n$ .

В табл. 1.16 приведены значения коэффициентов расчетной нагрузки  $k_p$  в зависимости от коэффициента использования и числа электроприемников.

**Пример.** Определить расчетную мощность (активную) и ток для группы электроприемников (электродвигателей), присоединенных к силовому пункту на напряжении  $U_{ном} = 0,38$  кВ.

Схема присоединения электродвигателей представлена на рис.1.1. Технические данные электродвигателей приведены в табл. 1.17.

В табл. 1.17 мощность  $P_{ном.дв}$  и  $\eta_{ном}$  берут из паспортных данных электроприемников, а  $\cos\phi$  и коэффициент использования  $k_{и}$  определяют по каталожным и справочным данным.

Таблица 1.16. Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $k_p$  для питающих сетей напряжением до 1000 В для постоянной времени нагрева  $T'_0 = 10$  мин.

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

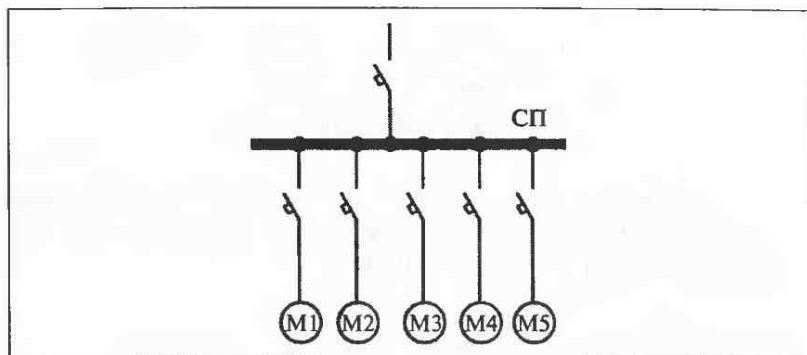


Рис. 1.1. Схема присоединения потребителей

Таблица 1.17. Расчетные данные

№ электродвигателя	$P_{\text{ном.дв}}$ , кВт	$\eta_{\text{ном}}$	$k_{\text{и}}$	$\cos\phi$
1	7,5	0,88	0,52	0,87
2	4,0	0,86	0,45	0,85
3	10,0	0,89	0,51	0,88
4	3,0	0,83	0,42	0,84
5	5,5	0,88	0,35	0,86

В данном случае целесообразно воспользоваться наиболее точным методом определения электрических нагрузок — методом коэффициента расчетных нагрузок  $k_p$  (упорядоченных диаграмм).

$$P_p = k_p P_{\text{ср}} = k_p P_{\text{ном}} k_{\text{и}} \quad (1.14)$$

Коэффициент  $k_p$  определяется в зависимости от коэффициента использования и эффективного числа электроприемников

$$n_{\text{эф}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}^2}, \quad (1.15)$$

где  $n$  — число фактических электроприемников (в нашем случае 5).

$$n_{эф} = \frac{(7,5 + 4,0 + 10,0 + 3,0 + 5,5)^2}{7,5^2 + 4,0^2 + 10,0^2 + 3,0^2 + 5,5^2} \approx 4,2$$

Для пользования формулой (1.14) необходимо предварительно рассчитать средневзвешенный коэффициент использования для рассматриваемой группы электроприемников.

По табл. 1.16 определяем

$$k_p = 1,22;$$

$$P_p = k_p P_{ср} = 1,22 \cdot 30,0 \cdot 1,48 \approx 18,0 \text{ кВт}$$

Расчетный ток  $I_p$  группы электроприемников определяется по формуле

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} U_{ном} \eta_{дв} \cos \varphi_{дв}}. \quad (1.16)$$

Средневзвешенный КПД и  $\cos \varphi$  определяются по формулам, аналогичным формуле для определения средневзвешенного коэффициента использования, в которую вместо  $k_{иi}$  подставляют  $\eta_i$  или  $\cos \varphi_i$ :

$$\eta_{ср} = \frac{0,88 \cdot 7,5 + 0,86 \cdot 4,0 + 0,89 \cdot 10,0 + 0,83 \cdot 3,0 + 0,88 \cdot 5,5}{7,5 + 4,0 + 10,0 + 3,0 + 5,5} \approx 0,86$$

$$\cos \varphi_{ср} = \frac{0,87 \cdot 7,5 + 0,85 \cdot 4,0 + 0,88 \cdot 10,0 + 0,84 \cdot 3,0 + 0,86 \cdot 5,5}{7,5 + 4,0 + 10,0 + 3,0 + 5,5} \approx 0,87$$

$$I_p = \frac{18,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,86 \cdot 0,87} = 36,6 \text{ А.}$$

**Пример.** Определить расчетную мощность на ГПП промышленного предприятия. Трансформаторы ГПП типа ТРДН-110/10 кВ. На предприятии 12 цехов, сведения о нагрузках которых представлены в табл. 1.18.

Таблица 1.18. Расчетные данные

№ цеха	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P_{\text{ном.ц.}}$ , кВт	110	230	670	1050	870	2300	1400	870	960	1500	2200	230
$P_{\text{р.цеха}}$ , кВт	71,5	115,0	301,5	609,0	530,7	1564	980	426,3	499,2	870	1496	133,4

Эта задача решается методом коэффициента спроса  $k_c$ :

$$P_p = k_c P_{\text{ном.ц.}} \quad (1.17)$$

Коэффициент  $k_c$  для каждого цеха находят из таблиц справочника, где представлены его значения по отраслям производства для основных технологических цехов.

В табл. 1.18 приведены расчетные нагрузки каждого цеха, рассчитанные по формуле (1.17).

Расчетная мощность предприятия  $P_{\text{завода}}$  определяется как сумма расчетных мощностей цехов с учетом коэффициента одновременности максимума нагрузок  $k_o$ , учитывающего временной сдвиг максимумов нагрузки отдельных цехов;  $k_o$  колеблется от 0,82 до 0,95.

Примем  $k_o = 0,85$ , тогда

$$P_{\text{завод}} = \left( \sum_{i=1}^n P_{\text{р.цехов}} \right) k_o,$$

где  $n$  — номер цеха,

$$P_{\text{завода}} = 7596,6 \cdot 0,85 \approx 6457 \text{ кВт.}$$

## ГЛАВА ВТОРАЯ

# Совместный выбор защитно-коммутационной аппаратуры и сечений проводников в низковольтных сетях

### 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Любая электроустановка должна быть защищена устройствами автоматического отключения в случае появления сверхтоков или недопустимых токов утечки. Под сверхтоком понимается любой ток, превышающий номинальный. В основном сверхтоки появляются вследствие перегрузки или короткого замыкания.

Устройства защиты должны выбираться с учетом параметров электроустановки, ожидаемых токов короткого замыкания, характеристик нагрузки, условий прокладки и тепловых характеристик проводников.

В соответствии с ПУЭ для электроустановок напряжением до 1 кВ и с системой заземления  $TN$ , характеризующейся глухозаземленной нейтралью источника питания и присоединением открытых токопроводящих частей к глухозаземленной нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников, принятой для зданий; в целях обеспечения электробезопасности время автоматического отключения не должно превышать значений, указанных в табл. 2.1.

В качестве защитной аппаратуры автоматического отключения применяются плавкие предохранители и автоматические выключатели.

*Плавкий предохранитель* — это коммутационный аппарат, который вследствие расплавления одного или более специально спрое-



Таблица 2.1. Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение, В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

ектированных и калиброванных элементов размыкает цепь, в которую он включен, и отключает ток, когда он превышает заданное значение в течение достаточного времени.

*Автоматический выключатель* — это механический коммутационный аппарат, способный включать, пропускать и отключать токи при нормальном состоянии цепи, а также включать, выдерживать в течение заданного времени и автоматически отключать токи в аномальном состоянии цепи, такие как токи короткого замыкания.

## 2.2. ВЫБОР КОММУТАЦИОННО-ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

В основу выбора защитной аппаратуры в зависимости от значения токов КЗ положено, что кривая времятоковой характеристики, соответствующая допустимой тепловой нагрузке защищаемой электросети, должна лежать выше зоны времятоковой характеристики устройства защиты для всех возможных токов КЗ между минимальным и максимальным значениями.

Под времятоковой характеристикой подразумевается кривая, отражающая взаимосвязь времени и ожидаемого тока в определенных условиях эксплуатации. Указанный принцип проиллюстрирован на рис. 2.1.

Для установленного времени срабатывания защиты кривая допустимых значений  $I^2t$  (интеграл Джоуля) защищаемого проводника должна лежать выше характеристики  $I^2t$  защитного устройства, так как эта характеристика характеризует максимальные рабочие значения  $I^2t$  как функцию ожидаемого тока КЗ (рис. 2.2). Значения  $I^2t$  аппаратов защиты приводятся в технических данных предприятиями-изготовителями.

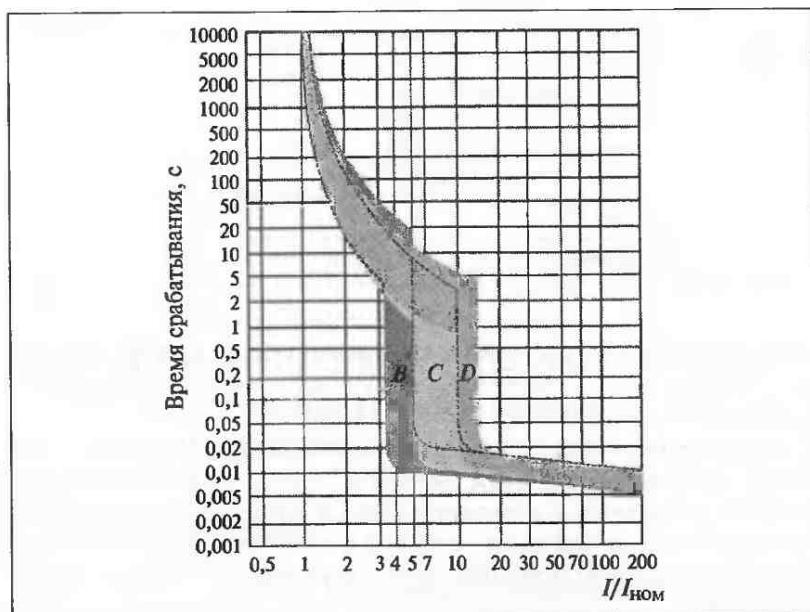


Рис. 2.1. Времятоковые характеристики автоматических выключателей:

*B* — срабатывание электромагнитной защиты между 3- и 5-кратным значением номинального тока  $I_{НОМ}$ ; *C* — срабатывание электромагнитной защиты между 5- и 10-кратным значением  $I_{НОМ}$ ; *D* — срабатывание электромагнитной защиты между 10- и 14-кратным значением  $I_{НОМ}$

Время отключения полного тока трехфазного КЗ в любой точке цепи не должно превышать времени, в течение которого температура проводников достигает допустимого предела. Это время для защищаемого проводника может быть приблизительно вычислено по формуле

$$\sqrt{t} = \frac{cF}{I}, \text{ или } I^2 t = c^2 F^2, \quad (2.1)$$

где  $t$  — время отключения, с;  $F$  — сечение проводника,  $\text{мм}^2$ ;  $I$  — действующее значение тока КЗ, А;  $c = 115$  или  $135$  — для медных проводников ( $115$  — с поливинилхлоридной изоляцией,  $135$  — с резиновой изоляцией и с изоляцией из сшитого полиэтилена);  $c = 74$  и  $87$  — для алюминиевых проводников ( $74$  — с поливинилхлоридной

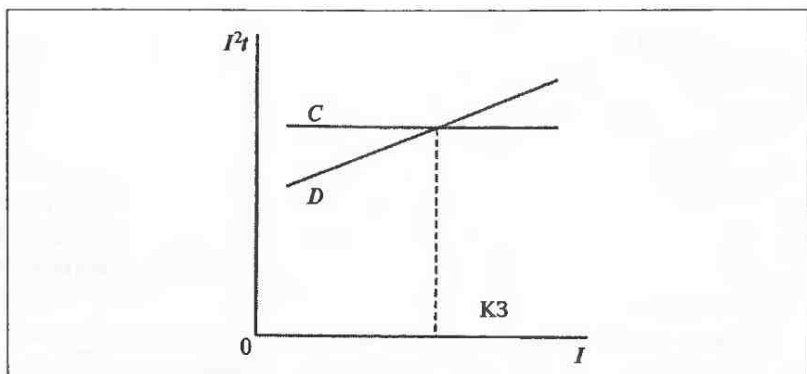


Рис. 2.2. Характеристики автоматического выключателя и защищаемого проводника:

$C$  — кривая допустимого значения  $I^2t$ ;  $D$  — характеристика автоматического выключателя;  $KЗ$  — максимальный ток  $KЗ$ , при котором обеспечивается защита автоматическим выключателем

изоляция, 87 — с резиновой изоляцией и изоляцией из сшитого полиэтилена).

Предельно допустимые значения температуры нагрева проводников приводятся в ПУЭ.

Автоматическая защита от перегрузки предназначена для отключения электросети при протекании по проводникам тока перегрузки раньше, чем такой ток мог бы вызвать повышение температуры проводников, опасное для изоляции, соединений, зажимов или среды, окружающей проводники.

Рабочая характеристика любого защитного устройства, защищающего кабель от перегрузки, должна отвечать условиям

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}} \leq I_{\text{доп}}, I_3 \leq 1,45 I_{\text{доп}}, \quad (2.2)$$

где  $I_{\text{раб}}$  — рабочий ток цепи;  $I_{\text{доп}}$  — допустимый длительный ток кабеля;  $I_{\text{ном}}$  — номинальный ток устройства защиты (для устройства защиты с регулируемыми характеристиками номинальным током является ток выбранной уставки);  $I_3$  — ток, обеспечивающий надежное срабатывание устройства защиты.

Практически ток  $I_3$  принимают равным:

- току срабатывания при заданном времени срабатывания для автоматических выключателей;

- току плавления плавкой вставки при заданном времени срабатывания для предохранителей.

Для выполнения защитных функций автоматические выключатели оснащаются различными расцепителями.

В общем виде *расцепитель* — это устройство, механически связанное с автоматическим выключателем (или встроенное в него), которое освобождает удерживающее устройство в механизме автоматического выключателя и вызывает автоматическое срабатывание выключателя.

В автоматических выключателях бытового назначения применяются: максимальный расцепитель тока, максимальный расцепитель с обратнoзависимой выдержкой времени, максимальный расцепитель тока прямого действия и расцепитель перегрузки.

*Максимальный расцепитель тока* — расцепитель, вызывающий срабатывание автоматического выключателя с выдержкой времени или без нее, когда ток в этом расцепителе превышает заданное значение.

*Максимальный расцепитель тока с обратнoзависимой выдержкой времени* — максимальный расцепитель тока, срабатывающий после выдержки времени, находящейся в обратной зависимости от значения сверхтока.

*Максимальный расцепитель тока прямого действия* — максимальный расцепитель тока, срабатывающий непосредственно от протекающего тока в главной цепи автоматического выключателя.

*Расцепитель перегрузки* — максимальный расцепитель тока, предназначенный для защиты от перегрузок.

В соответствии с СП31-110–2003 во внутренних сетях зданий, как правило, следует применять автоматические выключатели с *комбинированными расцепителями*. Номинальные токи комбинированных расцепителей автоматических выключателей для защиты групповых линий и вводов должны выбираться в соответствии с расчетными нагрузками.

Уставки аппаратов защиты для взаиморезервируемых линий должны выбираться с учетом их послеаварийной нагрузки.

Автоматические выключатели характеризуются также включающей и отключающей способностью, предельной наибольшей отключающей способностью, рабочей наибольшей отключающей способностью и током отключения.

Так как наибольшие значения сверхтоков определяются токами короткого замыкания защищаемой цепи, при выборе выключателей в процессе проектирования необходимо учитывать указанные параметры.

В случаях последовательного соединения двух автоматических выключателей возникает проблема *селективности* их срабатывания, которая заключается в обеспечении отключения защищаемой цепи выключателем со стороны нагрузки до того, как отключение начнет второй выключатель со стороны питания.

Селективность характеризуется предельным током. Предельный ток селективности — это предельное значение тока:

- ниже которого при наличии двух последовательно соединенных аппаратов защиты от сверхтоков аппарат со стороны нагрузки успевает завершить процесс отключения до того, как его начнет второй аппарат (т.е. обеспечивается селективность);
- выше которого при наличии двух последовательно соединенных аппаратов защиты от сверхтоков аппарат со стороны нагрузки может не успеть завершить процесс отключения до того, как его начнет второй аппарат (т. е. селективность не обеспечивается).

Предельный ток селективности определяется координатой точки пересечения времятоковой характеристики в зоне наибольшей отключающей способности защитного аппарата на стороне нагрузки и времятоковой характеристикой расцепителя другого аппарата.

В бытовых электроустановках в целях защиты от сверхтоков используются, как правило, автоматические выключатели, выпускаемые по ГОСТ Р 50345—99, который аутентичен международному стандарту МЭК 60898—95.

В табл. 2.2 приведены предпочтительные значения номинального напряжения автоматических выключателей, выпускаемых в соответствии с указанным ГОСТ.

К предпочтительным значениям номинального тока, установленного ГОСТ, относятся: 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100 и 125 А.

Стандартные значения номинальной частоты: 50 и 60 Гц.

Стандартные значения номинальной отключающей способности: 1500, 3000, 4500, 6000, 10 000 А.

Таблица 2.2. Предпочтительные значения номинального напряжения

Выключатели	Цепь питания выключателя	Номинальное напряжение, В
Однополюсные	Однофазная (фаза с нейтралью)	230
	Однофазная (фаза с нулевым заземленным проводом или фаза с нейтралью)	120
	Однофазная (фаза с нейтралью) или трехфазная (три однополюсных автоматических выключателя) (трех- или четырехпроводная)	230/400
Двухполюсные	Однофазная (фаза с нейтралью)	230
	Однофазная (фаза с фазой)	400
	Однофазная (фаза с фазой, трехпроводная)	120/240
Трехполюсные	Трехфазная (трех- или четырехпроводная)	240
Четырехполюсные		400

*Примечания.* 1. В ГОСТ 29322 стандартизировано значение напряжения 230/400 В. Это значение должно постепенно вытеснить значения 220/380 и 240/415 В.

2. Там, где в настоящем стандарте имеется ссылка на напряжения 230 или 400 В, возможно считать это равным напряжением 220 или 240 В и 380 или 415 В, соответственно.

3. Выключатели, соответствующие требованиям настоящего стандарта, могут использоваться в ИТ-системах.

Стандарт определяет три типа характеристик мгновенного расцепления: В, С и D. Ниже приведены диапазоны токов мгновенного расцепления выключателя в зависимости от кратности сверхтока по отношению к номинальному  $I_{\text{ном}}$ :

Тип . . . . .	В	С	D
Диапазон токов . . . . .	$(3 - 5)I_{\text{ном}}$	$(5 - 10)I_{\text{ном}}$	$(10 - 50)I_{\text{ном}}$

В электроустановках зданий в основном используются автоматические выключатели с характеристиками типов В и С. Расцепление типа В рационально применять для защиты розеточных линий, типа С — для линий, питающих светильники, теплые полы и стены, сауны и т. п. При выборе автоматического выключателя необходимо учитывать предполагаемую температуру окружающей среды в месте его установки.

В каталогах приводится номинальный ток выключателя для температуры окружающей среды 30 °С. Повышение температуры

сверх 30 °С приводит к преждевременному срабатыванию теплового расцепителя, так как его температура достигает уровня срабатывания при меньших значениях тока. Поэтому при установке автоматических выключателей в местах, где температура окружающей среды превышает номинальную, равную 30 °С, номинальное значение тока выключателя уменьшается:

$$I_{\text{ном } t} = I_{\text{ном.а}} K_t \quad (2.3)$$

где  $I_{\text{ном } t}$  — допустимый ток при температуре окружающей среды  $t$ , °С, отличной от номинальной  $t_{\text{о.с.ном}} = 30$  °С;  $I_{\text{ном.а}}$  — номинальный ток автоматического выключателя при номинальной (расчетной) температуре окружающей среды;  $K_t$  — температурный коэффициент, учитывающий уменьшение (увеличение) допустимого тока автоматического выключателя в зависимости от температуры окружающей среды в месте его установки.

Для выключателей бытового назначения ориентировочные значения температурного коэффициента  $K_t$  в зависимости от температуры окружающей среды в месте установки приведены ниже:

$t_{\text{о.с.}}$ . . . . .	20	30	35	40	45	50	55	60
$K_t$ . . . . .	1,05	1	0,97	0,95	0,92	0,89	0,87	0,84

В качестве примера можно привести времятоковые характеристики автоматических выключателей ВА 99М. Эти выключатели оснащены нерегулируемыми магнитотермическими расцепителями. Выключатели могут эксплуатироваться при температуре от -25 до +40 °С. Ввод в эксплуатацию аппаратов должен осуществляться при нормальной рабочей температуре окружающей среды.

Время срабатывания автоматического выключателя определяется по его времятоковой характеристике. При этом уставку защиты от перегрузок  $I_r$  необходимо скорректировать в соответствии с рис. 2.3.

Выбор автоматических выключателей в тех случаях, когда температура окружающей среды больше или меньше стандартной контрольной, при которой определялись его номинальные данные, производится с использованием температурного коэффициента  $K_t$  по формуле

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{ном.рас}} K_t \geq I_{\text{р.мах}} \quad (2.4)$$

где  $I_{\text{ном.рас}}$  — номинальный ток расцепителя.

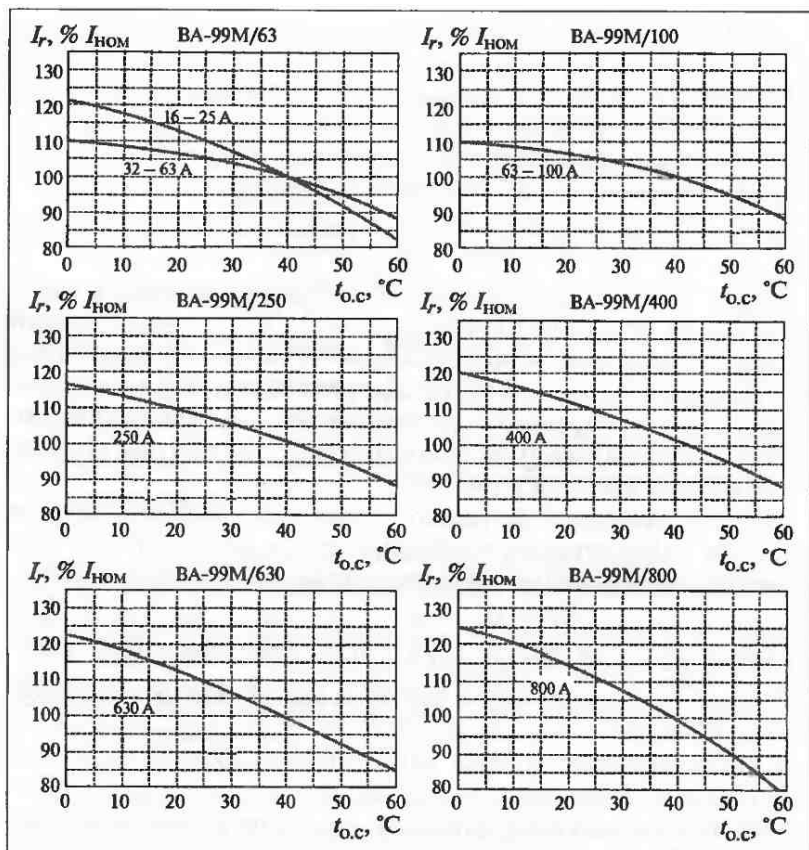


Рис. 2.3. Примеры графиков для определения коэффициентов понижения (повышения) токовых уставок, которые должны применяться к автоматическим выключателям с некомпенсируемыми тепловыми расцепителями в зависимости от температуры устанавливаемых в шкафах рядом друг с другом на рейках, следует использовать значение  $0,8 K_t$

**Пример.** Максимальный расчетный ток нагрузки  $I_{p.max} = 21,5$  А. Температура окружающей среды в месте установки  $t_{0.c} = +55$  °С, при этом  $I_{p.max} = I_{ном t}$ .

Номинальный ток автоматического выключателя при нормальных условиях должен быть:

$$I_{ном.в} = \frac{I_{p.max}}{K_t}$$



По приведенным выше данным коэффициент  $K_r$  для  $55^\circ\text{C}$  равен 0,87. Отсюда

$$I_{\text{ном.а}} = \frac{21,5}{0,87} = 24,71 \text{ А.}$$

Выбираем автоматический выключатель с номинальным током 25 А.

Если выключатель установлен в ряд с другими автоматами, в металлическом шкафу, то его номинальный ток определяется по формуле

$$I_{\text{ном.а}} \geq \frac{I_{\text{р.макс}}}{0,8 K_r} = \frac{21,5}{0,87 \cdot 0,8} \approx 30,89 \text{ А.}$$

Принимаем к установке автоматический выключатель с номинальным током  $I_{\text{ном.а}} = 32 \text{ А}$ .

### 2.3. ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА КОММУТАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

К коммутационным аппаратам относится достаточно широкий спектр электрооборудования, с помощью которого осуществляется включение/отключение как основных токовых цепей, так и цепей управления.

Для коммутации основных токовых цепей наряду с рассмотренными выше автоматическими выключателями используются рубильники, переключатели, контакторы, магнитные пускатели и т. п. (табл. 2.3).

*Контактор* представляет собой коммутационный аппарат с электромагнитным управлением, который обычно удерживается в замкнутом положении током (уменьшенного значения), проходящим через включающий соленоид (хотя для специальных применений существуют различные типы с механической блокировкой). Контактторы предназначены для выполнения многократных циклов включения/отключения и обычно управляются дистанционно с помощью двухпозиционных нажимных кнопок.

Контакторы, оснащенные тепловым реле для защиты от перегрузки, широко используются для дистанционного кнопочного управления осветительными цепями и могут также рассматриваться как важный элемент в управлении двигателем. Такой

Таблица 2.3. Функциональные возможности коммутационной аппаратуры

Устройство	Изолирование	Управление				Электрическая защита		
		функциональное	аварийное отключение	аварийное, останов механических узлов	Отключение для облуживания механических узлов	от перегрузки	от КЗ	от тока утечки
Разъединитель <sup>4</sup>	+							
Выключатель <sup>5</sup>	+	+	+1	+1, 2	+			
УЗО <sup>5</sup>	+	+	+1	+1, 2	+			+
Выключатель-разъединитель <sup>5</sup>	+	+	+1	+1, 2	+			
Контактор <sup>3</sup>		+	+1	+1, 2	+		+3	
Двухпозиционный выключатель с дистанционным управлением		+	+1		+			
Предохранитель	+						+	+
Автоматический выключатель <sup>5</sup>		+	+1	+1, 2	+		+	+
Автоматический выключатель-разъединитель <sup>5</sup>	+	+	+1	+1, 2	+		+	+
УЗО + автоматический выключатель с защитой от сверхтоков <sup>5</sup>	+	+	+1	+1, 2	+		+	+

Место установки	Ввод каждой цепи	Все места, где погрешность тановить процесс	На входной цепи каждого РЩ	В месте подвода питания к каждому двигателю	В месте подвода питания к каждому двигателю	Ввод каждой цепи	Ввод каждой цепи	Ввод цепей в случае использования систем заземления TN-S, TT, IT

1 Где обеспечивается обесточивание всех активных проводников.

2 Может потребоваться подвод питания к системе торможения.

3 Если он электрически соединен с тепловым реле.

4 В некоторых странах применение разъединителя с видимым разрывом на вводе низковольтной электроустановки, питаемой непосредственно от понижающего трансформатора, является обязательным.

5 Определенные элементы коммутационной аппаратуры пригодны для выполнения функций изолирования или разъединения (например, УЗО в соответствии со стандартом МЭК 1008), хотя на них отсутствует соответствующая маркировка.

коммутационный аппарат не эквивалентен автоматическому выключателю, поскольку его отключающая способность при коротком замыкании ограничена значением 8 или 10  $I_{ном}$ . Поэтому для защиты от короткого замыкания необходимо последовательно с данным контактором (выше по цепи) устанавливать или плавкие предохранители, или автоматический выключатель.

Для коммутации цепей управления используются различные реле, как мгновенного действия, так и с выдержкой времени на замыкание и размыкание контактов, кнопки и ключи (переключатели) управления и пр. Аппаратура для коммутации цепи управления может содержать аппарат для цепи управления и связанные с ним устройства, например световые индикаторы.

Аппарат для цепей управления может содержать один или несколько коммутационных элементов и механизм передачи усилия переключения. Коммутационный элемент может быть контактным или полупроводниковым.

Выбор при проектировании аппаратов из рассматриваемой группы определяется следующими основными параметрами:

- номинальным напряжением и потребляемым током катушек;

- коммутационной способностью контактов или выходных полупроводниковых цепей (номинальное напряжение, номинальный ток коммутируемой цепи);
- диапазоном выдержки времени (для реле с выдержкой времени).

Не менее важными факторами являются способ установки аппарата (под винт, на DIN-рейку) и присоединение проводов (переднее, заднее). Проектирование электропроводок заключается в выборе типа используемого провода или кабеля и сечения токопроводящего проводника, а также способов их прокладки. В пределах жилых зданий используются, как правило, изолированные провода и кабели с медными жилами напряжением до 1000 В.

Типы проводов или кабелей определяют:

- вид изоляции токоведущих жил (резиновая, поливинилхлоридная, полиэтиленовая и пр.);
- наличие общих оболочки и оплетки;
- горючесть изоляционного материала провода или кабеля;
- материал токоведущих жил (медь, алюминий);
- гибкость материала токоведущей жилы;
- конструктивное выполнение (круглый, плоский, самонесущий и др.);
- специальное назначение (например, для водопогружных насосов; повышенной термической стойкости и др.);
- напряжение (250, 380, 660 и 1000 В);
- число токоведущих жил.

Выбор типа провода или кабеля зависит от следующих факторов:

- от предполагаемого места прокладки и способа монтажа (в земле, в воздухе, в трубах, в коробах, на лотках и кронштейнах, открыто без крепления, открыто на изоляторах, скрыто);
- от категории помещений (сухие, влажные, сырые, особо сырые, особо сырые с химически активной средой);
- от влияния внешних воздействий (температуры окружающей среды; наличия воды, пыли, коррозионно-активных и загрязняющих веществ; механических внешних воздействий; наличия флоры и фауны; солнечного излучения; конструкции здания);
- от уровня напряжения питающей сети.

Выбранные проводники и защищающие их устройства должны удовлетворять следующим условиям:

- проводить, не перегреваясь, расчетный ток нагрузки, а также выдерживать кратковременные перегрузки;
- падение напряжения в проводнике не должно превышать нормированных значений;
- защитные устройства (автоматические выключатели, предохранители) должны защищать проводники от перегрузки и коротких замыканий.

Кроме вышеперечисленного проводники выбираются и по механической прочности.

## 2.4. ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕЙ ЖИЛЫ

Сечения токопроводящей жилы проводов и кабелей выбираются на напряжение 0,4 кВ согласно ПУЭ по условию нагрева длительным расчетным током в нормальном и послеаварийном режимах и условиям окружающей среды и проверяются по потере напряжения, соответствию току выбранного аппарата защиты, по условиям динамической и термической стойкости к токам КЗ.

Расчетная токовая нагрузка линии определяется по формуле

$$I_{\text{р. норм}} = \frac{S_{\text{р. max}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}. \quad (2.5)$$

Сечение определяют предварительно по расчетному току нормального режима следующим образом:

$$I_{\text{р}} \leq I_{\text{доп}} k_{\text{п}}, \quad (2.6)$$

где  $I_{\text{доп}}$  — длительно допустимый ток кабелей (проводов), определяется по справочным материалам;  $k_{\text{п}}$  — коэффициент, учитывающий условия прокладки для кабелей,

$$k_{\text{п}} = k_1 k_2 k_3; \quad (2.7)$$

$k_1$  — учитывает температуру окружающей среды;  $k_2$  — учитывает влияние способа прокладки;  $k_3$  — учитывает взаимное влияние проложенных рядом кабелей (расстояние между кабелями менее двух диаметров большего из двух кабелей).

Таким образом, сечение проводника увеличивается по сравнению с тем, которое могло быть выбрано по  $I_{\text{р. max}}$  без учета вышеуказанных факторов.

При этом номинальный ток автоматического выключателя  $I_{\text{ном.а}}$ , защищающего проводник, должен быть равен максимальному току нагрузки или больше его

$$I_p \leq I_{\text{ном.а}} \quad (2.8)$$

Значения коэффициентов  $k_1, k_2, k_3$  приведены в табл. 2.4 – 2.6 (ПУЭ гл. 1.3).

Значения коэффициента  $k_2$  при различных способах прокладки в зданиях приведены ниже:

*Скрытая прокладка*

Кабели, уложенные непосредственно в термоизолирующем материале (например, в штукатурке) . . . . . 0,7

*Открытая прокладка*

Кабели в трубах, проложенные в термоизолирующем материале . . . . . 0,77

Многожильные кабели . . . . . 0,9

Кабели в строительных углублениях (нишах) и закрытых кабельных каналах . . . . . 0,95

Кабели на поверхности потолков . . . . . 0,95

Во всех остальных случаях . . . . . 1,0

Таблица 2.4. Поправочные коэффициенты  $k_1$  для кабелей, неизолированных и изолированных проводов и шин в зависимости от температуры земли и воздуха

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

Проверка сечений по термической стойкости к токам КЗ производится по формуле

$$F_{\text{терм}} = \frac{I_{\text{р.к}} \sqrt{t_{\text{откл}}}}{c}, \quad (2.9)$$

Таблица 2.5. Снижающий коэффициент  $k_3$  для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов, питающих	
	одно-жильных	много-жильных	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	—	До 4	1,0	—
	2	5 – 6	0,85	—
	3 – 9	7 – 9	0,75	—
	10 – 11	10 – 11	0,7	—
	12 – 14	12 – 14	0,65	—
	15 – 18	15 – 18	0,6	—
Однослойно	2 – 4	2 – 4	—	0,67
	5	5	—	0,6

Таблица 2.6. Поправочный коэффициент  $k_2$  для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли

Характеристика земли	Удельное сопротивление, см·К/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 1 %	80	1,05
Нормальная почва и песок влажностью 7–9 %, песчано-глинистая почва влажностью 12 – 14 %	120	1,00
Песок влажностью более 4 и менее 7 %, песчано-глинистая почва влажностью 8–12 %	200	0,87
Песок влажностью до 4 %, каменистая почва	300	0,75

где  $I_{p.k}$  — суммарный расчетный ток КЗ от энергосистемы;  $t_{откл}$  — расчетное время отключения КЗ;  $c$  — термический коэффициент для кабелей, точное значение указывается производителем кабеля. В среднем для кабелей на напряжение до 1 кВ можно принять: для меди  $c = 165$ ; для алюминия  $c = 90$ .

Как правило, такую проверку выполняют только для кабелей, подключаемых к главному (или вводному) распределительному щиту.

Таблица 2.7. Поправочный коэффициент  $k_3$  на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве 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 2.8. Токовая нагрузка на провода с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических оболочках и кабели с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, ПВХ или резиновой оболочке, бронированные и небронированные, с нулевой жилой и без нее, при прокладке на воздухе

$S, \text{мм}^2$	Токовая нагрузка, А, на провода и кабели		
	одножильные	двухжильные	трехжильные
1,5	23	19	19
2,5	30	27	25
4	41	38	35
6	50	50	42
10	80	70	55
16	100	90	75
25	140	115	95
35	170	140	120
50	215	175	145
70	270	215	180
95	325	260	220
120	385	300	260
150	440	350	305
185	510	405	350
240	605	—	—



**Таблица 2.9.** Токовая нагрузка на кабелн с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, ПВХ и резиновой оболочке, бронированные и небронированные, при прокладке на воздухе

S, мм <sup>2</sup>	Токовая нагрузка, А, на кабелн		
	одножильные	двужильные	трехжильные
2,5	23	21	19
4	31	29	27
6	38	38	32
10	60	55	42
16	75	70	60
25	105	90	75
35	130	105	90
50	165	135	110
70	210	165	140
95	250	200	170
120	295	230	200
150	340	270	235
185	395	310	270
240	465	—	—

**Таблица 2.10.** Допустимые токовые нагрузки на кабелн с медными жилами на напряженне 0,66 и 1 кВ с изоляцией из полиэтилена, ПВХ пластиката, ПВХ композиции пониженной горючести, при прокладке на воздухе<sup>1</sup>

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимые токовые нагрузки, А, на кабелн		
	двужильные	трехжильные, а также четырехжильные с нулевой жилой меньшего сечения	четырежильные
1,5	24	21	19
2,5	33	28	26
4	44	37	34
6	56	49	46
10	76	66	62
16	101	87	81
25	134	115	107
35	166	141	131
50	208	177	165
70	—	226	210
95	—	274	255
120	—	321	298
150	—	370	344
185	—	421	391
240	—	499	464

<sup>1</sup> Данные производителя — завода «Электрокабель», Кольчугино.

Таблица 2.11. Допустимые токовые нагрузки на силовые кабели с поливинилхлоридной изоляцией, не распространяющие горение, с низким дымовыделением, при прокладке на воздухе

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимые токовые нагрузки при прокладке на воздухе, А, на кабели			
	с алюминиевыми жилами		с медными жилами	
	пятижильные	четырежильные	пятижильные	четырежильные
1,5			20	19
2,5	20	17	26	25
4	27	25	34	35
6	34	29	46	42
10	47	39	61	55
16	62	56	81	75
25	82	69	107	95
35	101	83	131	120
50	126	101	165	145
70	155	129	210	180
95	190	156	255	220
120	219	184	299	260
150	254	216	344	305
185	291	248	392	350
240	343	—	464	—

Таблица 2.12. Допустимые токовые нагрузки на силовые кабели исполнения «нг-FRLS» с медными жилами, огнестойкие, не распространяющие горение, с низким дымо- и газовыделением, при прокладке на воздухе

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Допустимые токовые нагрузки, А, на кабели		
	одножильные*	двужильные	трех-, четырех- и пятижильные**
1,5	29	24	21
2,5	40	33	28
4	53	44	37
6	67	56	49
10	91	76	66
16	121	101	87
25	160	134	115
35	197	166	141
50	247	208	177
70	318	282	226
95	386	321	274
120	450	378	321
150	521	438	370
185	594	499	421
240	704	591	499

\* Токовые нагрузки даны для работы на постоянном токе.

\*\* Для кабелей четырех- и пятижильных с жилами равного сечения при нагрузке во всех жилах в нормальном режиме данные токи нагрузки необходимо умножить на коэффициент 0,93.

При коротких замыканиях температура нагрева проводника не должна превышать предельно допустимой для изоляции проводника температуры.

Сечение токоведущей жилы в зависимости от значения тока для различных типов проводов и кабелей и при различных способах их прокладки приводятся в ПУЭ, справочниках и в материалах завода-изготовителя провода или кабеля. В табл. 2.8 — 2.12 приведены справочные данные по допустимому длительному току для наиболее часто применяемых проводов и кабелей.

## 2.5. СОВМЕСТНЫЙ ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ТОКОВЕДУЩЕЙ ЖИЛЫ И КОММУТАЦИОННО-ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

Выбранные по нагреву провода должны соответствовать максимальной токовой защите, т. е. допустимый ток проводника должен быть больше, чем ток срабатывания расцепителя автоматического выключателя. В противном случае при перегрузке или КЗ проводник может разрушиться раньше, чем сработает аппарат защиты.

При защите линии с двигателем или группой двигателей плавкими предохранителями плавкие вставки должны защищать объекты от токов КЗ, но не должны срабатывать при пуске двигателей. Поэтому ток плавкой вставки должен равняться номинальному току линии или превышать его

$$I_{\text{в}} \geq I_{\text{ном.дв}}, \quad (2.10)$$

и плавкая вставка не должна расплавляться за время пуска двигателя, когда по ней проходит пусковой ток

$$I_{\text{в}} \geq \frac{I_{\text{п}}}{k_{\text{п}}}, \quad (2.11)$$

где  $I_{\text{п}}$  — пусковой ток двигателя;  $k_{\text{п}}$  — коэффициент кратковременной тепловой перегрузки вставки, учитывающий условия пуска двигателей. Для легких пусков с временем разгона не более 10 с

$k_n = 2,5$ ; для тяжелых — частых и длительных пусков с временем разгона более 10 с  $k_n = 1,6 - 2,0$ .

Для проводов и кабелей, питающих группу двигателей от магистрали или силового распределительного шкафа, ток плавкой вставки выбирается из условия

$$I_{\text{в}} \geq \frac{I_{\text{п}} + I'_{\text{доп}}}{k_n}, \quad (2.12)$$

где  $I_{\text{п}}$  — пусковой ток группы двигателей, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшего значения;  $I'_{\text{доп}}$  — длительно допустимый расчетный ток линии до момента пуска электродвигателей, определяемый без учета расчетного тока пускаемой группы.

Сечение проводников линий, защищаемых предохранителями, определяется с учетом данных табл. 2.13.

При защите линий автоматическими выключателями выбор их производится в соответствии со следующими требованиями:

- номинальный ток расцепителя выбирается не меньшим расчетного тока линии

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р.мах}};$$

- токи срабатывания автоматических выключателей при КЗ и перегрузках выбираются такими, чтобы цепь не размыкалась в нормальном режиме при кратковременных перегрузках. Для расцепителей автоматических выключателей всех типов уставка тока мгновенного срабатывания принимается равной

$$I_0 = (1,25 \div 1,35)I_{\text{ном.}}$$

В сетях, защищаемых только от токов КЗ, токи срабатывания защит должны удовлетворять требованиям чувствительности: минимальный ток КЗ в наиболее удаленной точке защищаемой линии должен быть больше номинального тока вставки предохранителя или номинального тока расцепителя не менее, чем в 3 раза. Для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А, имеющих расцепители мгновенного срабатывания,  $I_{\text{к.мин}} \geq 1,4I_0$ , а с номинальным током свыше 100 А  $I_{\text{к.мин}} \geq 1,25I_0$ . Для определе-

**Таблица 2.13. Выбор сечений проводников при различных способах прокладки и разных характеристиках помещения**

Назначение и характеристика помещения	Назначение линии	Конструкция проводников или способ прокладки	Сечение проводника выбирается с учетом следующего неравенства
Производственное, не опасное в отношении взрыва	Радиальные линии для питания радиальных ЭП	Изолированные проводники в металлической оболочке или проложенные в металлических трубах	$I_B < 3I_{\text{доп}}$
То же	Магистральные и групповые радиальные линии для питания силовых ЭП	То же	$I_B < 1,5I_{\text{доп}}$
То же	Все линии сети электроосвещения	То же	$I_B < I_{\text{доп}}$
Жилые дома, бытовые и общественные помещения	То же	То же	$I_B < 0,8I_{\text{доп}}$

ния минимального тока КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью проводится расчет токов однофазного КЗ.

Для защиты сети от перегрузок соблюдаются требования чувствительности защиты:

*для плавких предохранителей*

$$I_B k_3 \leq I_{\text{доп}}, \quad (2.13)$$

где  $k_3$  — коэффициент, определяемый типом изоляции проводников и условиями среды. Для проводников с резиновой и пластмассовой изоляцией, прокладываемых во взрывоопасных помещениях,  $k_3 = 1,25$ , в помещениях невзрывоопасных и для всех кабелей с бумажной изоляцией  $k_3 = 1$ .

*для автоматических выключателей:*

с мгновенно действующим расцепителем

$$I_{\text{ср.к}} \leq I_{\text{доп}}, \quad (2.14)$$

с ненастраиваемым расцепителем замедленного срабатывания

$$I_{\text{рас.ном}} \leq I_{\text{доп}}; \quad (2.15)$$

с настраиваемым расцепителем замедленного срабатывания

$$I_{\text{ср.п}} \leq (1 \div 1,25)I_{\text{доп}}. \quad (2.16)$$

В сетях, защищаемых только от тока КЗ (не требующих защиты от перегрузки), допускается не проводить расчетную проверку кратности тока КЗ, если по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников выполняются указанные ниже условия:

- для плавких вставок предохранителей номинальный ток плавкой вставки не должен превышать допустимый ток более чем в 3 раза:

$$I_{\text{в}} \leq I_{\text{доп}}; \quad (2.17)$$

- для автоматических выключателей, имеющих только мгновенно действующий расцепитель, номинальный ток ненастраиваемого расцепителя замедленного срабатывания (независимо от наличия мгновенно действующего расцепителя) должен удовлетворять неравенству

$$I_{\text{ср.к}} \leq 4,5I_{\text{доп}}. \quad (2.18)$$

В целом условия согласования характеристик защитных аппаратов (предохранителей и автоматических выключателей) с сечениями проводов и кабелей можно обобщить в виде:

$$I_3 k_3 \leq I_{\text{доп}}, \quad (2.19)$$

где  $I_3$  — номинальный ток, или ток срабатывания защитного аппарата;  $k_3$  — кратность допустимого длительного тока по отношению к номинальному току срабатывания защитного аппарата.

Значения коэффициента защиты нормируются ПУЭ в зависимости от требований окружающей среды, типа защитного аппарата, изоляции проводов и кабелей. В расчетах можно использовать данные табл. 2.14.

Т а б л и ц а 2.14. Кратности допустимых токовых нагрузок на провода и кабели по отношению к номинальным токам, токам трогания или токам уставки защитных аппаратов

Ток защитного аппарата	Сети, требующие защиты от перегрузки для различных видов изоляции проводов и кабелей в условиях окружающей среды			Сети, не требующие защиты от перегрузки
	резиновой во взрыво-пожароопасных помещениях жилых и торговых зданиях	резиновой в невзрыво-пожароопасных помещениях и производственных зданиях	бумажной	
Номинальный плавкой вставки предохранителя	1,25	1,0	1,0	0,33
Уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель	1,25	1,0	1,0	0,22
Номинальный расцепителя автоматического выключателя, с регулируемой обратной зависимой от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки)	1,0	1,0	1,0	1,0
Трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависимой от тока характеристикой (при наличии на автоматическом выключателе отсечки ее кратность не ограничивается)	1,0	1,0	0,8	0,66

Примечание. Кратность допустимых длительных токов  $k_d$  в ПУЭ выражается в процентах.

Таким образом, сечения проводников выбираются по нагреву расчетным током. Выбираемые предохранители и автоматические выключатели проверяются по условию соответствия их характеристик защищаемым сечениям. При невыполнении условий соответствия (2.14) – (2.18) принимается аппарат защиты с другими характеристиками. Увеличение же сечения для выполнения этих условий не допускается.

**Пример.** Расчетный номинальный ток нагрузки на один кабель  $I_{p,max} = 70$  А.

Температура окружающей среды  $+35$  °С.

Прокладка — скрытая в стене.

Число лежащих рядом трехжильных кабелей — 3.

Кабель алюминиевый с ПВХ изоляцией.

Допустимый ток проводника  $I_{доп}$ :

- для кабеля отечественного производства приводится в каталогах при температуре окружающей среды  $t_{o,c} = +25$  °С и допустимой температуре жилы в номинальном режиме  $t_{ж} = 65$  °С;

- для кабеля импортного производства — в каталогах при  $t_{o,c} = +30$  °С и  $t_{ж} = 70$  °С.

Исходя из этого, по табл. 2.4 – 2.6 находим, что для отечественного кабеля  $k_1 = 0,88$ . Определяем  $k_2 = 0,7$ ;  $k_3 = 1$ .

Допустимый номинальный ток проводника:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{p,max}}{k_1 k_2 k_3} = \frac{70}{0,88 \cdot 0,7 \cdot 1} = 113,64 \text{ А.}$$

Выбираем по табл. 2.9 кабели сечением  $3 \times 70$ .

Для алюминиевого кабеля такого сечения  $I_{доп} = 140$  А.

**Пример.** Выбрать сечение кабеля и ток плавкой вставки магистральной, питающей 27 асинхронных двигателей металлообрабатывающих станков, из которых 22 АД — короткозамкнутые, а остальные с контактными кольцами.

Параметры АД приведены в табл. 2.15;  $U_{ном} = 380$  В.

Суммарная установленная мощность всех электродвигателей

$$\sum_1^{27} P_y = 326 \text{ кВт;}$$



Таблица 2.15. Расчетные данные к примеру

Тип	$P_{\text{НОМ}}$ , кВт	$U_{\text{НОМ}}$ , кВ	КПД	$\cos\varphi$	$I_{\text{Г}}/I_{\text{НОМ}}$	Число	$k_{\text{И}}$
А-61-6	7	380/220	0,86	0,61	4,5	10	0,25
А-74-8	14	—	0,87	0,61	4	5	0,2
А-61-4	10	—	0,88	0,68	5	5	0,15
А-52-2	10	—	0,875	0,69	6,5	2	0,2
АК-81-8	20	—	0,855	0,69	—	3	0,15
АК-72-4	28	—	0,88	0,67	—	2	0,18

$$n_{\text{эф}} = \frac{\left( \sum_1^n P_{\text{НОМ}} \right)^2}{\sum_1^n P_{\text{НОМ}}^2} = \frac{326^2}{10 \cdot 7^2 + 5 \cdot 14^2 + 5 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^2 + 3 \cdot 20^2 + 2 \cdot 28^2} =$$

$$= \frac{106\,276}{490 + 980 + 500 + 200 + 1200 + 1568} = 21,5 \approx 22 \text{ шт.};$$

$$k_{\text{и.ср}} = \frac{70 \cdot 0,25 + 70 \cdot 0,2 + 50 \cdot 0,15 + 20 \cdot 0,2 + 60 \cdot 0,15 + 56 \cdot 0,18}{326} =$$

$$= 0,19 \approx 0,2;$$

$$k_{\text{п}} = 1,15;$$

$$P_{\text{п}} = k_{\text{п}} P_{\text{ср}} = 1,15 \cdot 61,9 = 71,8 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ср}} = P_{\text{НОМ}} k_{\text{и}} = 326 \cdot 0,19 = 61,9 \text{ кВт};$$

$$S_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{\cos\varphi_{\text{ср}}};$$

$$\cos\varphi_{\text{и.ср}} =$$

$$= \frac{70 \cdot 0,61 + 70 \cdot 0,61 + 50 \cdot 0,68 + 20 \cdot 0,69 + 60 \cdot 0,69 + 56 \cdot 0,67}{326} = 0,65;$$

$$S_{\text{п}} = \frac{71,8}{0,65} = 110,8 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток магистрали

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{110,8}{1,73 \cdot 0,38} \approx 168 \text{ А.}$$

Сечение кабеля при прокладке по воздуху выбирается из условия  $I_{\text{доп}} \geq I_p$  (без учета коэффициентов на условия прокладки) по табл. 2.9. Для трехжильного кабеля  $70 \text{ мм}^2$  длительно допустимый ток равен 210 А.

Проверим соответствие выбранного сечения аппаратам защиты. При защите линии плавкими предохранителями номинальный ток стандартной плавкой вставки выбирается из условия  $I_B \geq I_p$  и составляет 200 А.

Номинальный ток двигателя мощностью 14 кВт

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}\eta_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}}} = \frac{14}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,61} = 30,2 \text{ А.}$$

Соответственно, пусковой ток этого двигателя

$$I_{\text{п}} = 4 I_{\text{НОМ}} = 30,2 \cdot 4 \approx 121 \text{ А.}$$

Номинальный ток двигателя мощностью 10 кВт

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}\eta_{\text{НОМ}} \cos \varphi_{\text{НОМ}}} = \frac{10}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,875 \cdot 0,69} = 19,5 \text{ А.}$$

Соответственно, пусковой ток этого двигателя

$$I_{\text{п}} = 6,5 I_{\text{НОМ}} \approx 127 \text{ А}$$

по абсолютному значению приращения пускового тока двигателя 10 кВт больше, чем двигателя 14 кВт.

Номинальный ток плавкой вставки магистрали с учетом пусковых токов определяется из условия

$$I_B \geq \frac{I_p + (I_{\text{п}} - I_{\text{НОМ}})}{2,5};$$

$$I_B \geq \frac{168 + (127 - 19,5)}{2,5} = 108.$$

Таким образом учет пусковых токов не приводит к увеличению номинального тока плавкой вставки, выбранного по длительно допустимому току проводника либо на основании табл. 2.13  $I_B < 1,5I_{\text{доп}}$ , т. е.  $200 < 1,5 \cdot 210$ .

**Пример.** Выбрать по условиям нагрева сечение провода марки ПРТО, проложенного в пожароопасной среде, и ток плавкой вставки ответвления, питающий АД короткозамкнутого типа А-72-6, мощностью 20кВт, 380/220В; КПД 0,88;  $\cos \varphi = 0,84$ ;  $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}} = 4,9$ .

Номинальный ток двигателя

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}\eta_{\text{ном}}\cos\varphi_{\text{ном}}} = \frac{20}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,88 \cdot 0,84} = 41,3 \text{ А.}$$

Сечение провода по длительно допустимому току получается 10 мм<sup>2</sup> (без учета коэффициентов на условия прокладки).

Номинальный ток стандартной плавкой вставки выбирается из условия  $I_B \geq I_p$  и составляет 60 А.

Пусковой ток двигателя:

$$I_{\text{п}} = 4,5I_{\text{ном}} = 4,5 \cdot 41,3 \approx 185 \text{ А.}$$

Номинальный ток стандартной плавкой вставки по условиям пускового тока

$$I_B \geq \frac{I_{\text{п}}}{2,5} = 185 / 2,5 = 74 \text{ А.}$$

Необходимо выбрать плавкую вставку с номинальным током 80 А. Такой плавкой вставке соответствует сечение провода 4 мм<sup>2</sup>. Плавкая вставка с номинальным током 80 А защищает провод 4 мм<sup>2</sup>, а значит, тем более защитит провод 10 мм<sup>2</sup>. Или на основании табл. 2.13

$$I_B < 3I_{\text{доп}}, \text{ т. е. } 80 < 3 \cdot 55.$$

## 2.6. ПРОВЕРКА ПРОВОДНИКОВ ПО ПОТЕРЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Потери напряжения в сетях, выполненных проводами или кабелями, на неразветвленном участке линии от узла  $n$  до узла  $k$  с сопротивлением  $R_{nk} + jX_{nk}$  при протекании мощности  $P_{nk} + jQ_{nk}$  определяются следующим образом:

$$\Delta U = \frac{P_n R + Q_n X}{U_n} = \frac{L(P_k r_0 + Q_k x_0)}{U_k}, \quad (2.20)$$

где  $\Delta U$  — падение напряжения в системе электроснабжения;  $L$ ,  $r_0$ ,  $x_0$  — длина, активное и реактивное удельные сопротивления.

Действительная часть формулы  $\frac{Pr + Qx}{U}$  называется потерей напряжения и характеризует изменение напряжения.

Мнимая часть формулы  $j \frac{Px - Qr}{U}$  характеризует фазовый сдвиг напряжения у потребителя относительно напряжения источника питания. При проектировании электроснабжения и электрооборудования административных и общественных зданий важна действительная часть, т. е. потеря напряжения.

Проверка выбранных проводников по потере напряжения из условия обеспечения необходимых (регламентированных стандартами) уровней напряжения у самых удаленных от источника питания потребителей осуществляется следующим образом.

Напряжение на зажимах наиболее удаленного от трансформатора электродвигателя

$$U_{дв} = U_x - \Delta U_T - \Delta U_c, \quad (2.21)$$

где  $U_x$  — напряжение холостого хода на зажимах вторичной обмотки трансформатора, равное 105 %  $U_{ном}$ ;  $\Delta U_T$  — потери напряжения в трансформаторе;  $\Delta U_c$  — потери напряжения в сети НН, %.

Потеря напряжения в трансформаторе, %, определяется по формуле

$$\Delta U_T = k_3(U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) = k_3 \cos \varphi (U_a + U_p \operatorname{tg} \varphi), \quad (2.22)$$

где  $k_3$  — коэффициент загрузки трансформатора, равный отношению расчетной нагрузки к номинальной;  $\cos\varphi$  — коэффициент мощности на зажимах вторичной обмотки трансформатора;  $U_a$ ,  $U_p$  — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания, определяемые по формулам, %,

$$U_a = \frac{\Delta P_k}{S_{\text{НОМ}}} 100; \quad U_p = \sqrt{u_k^2 - U_a^2}, \quad (2.23)$$

где  $u_k$  — напряжение КЗ;  $\Delta P_k$  — потери короткого замыкания, кВт (каталожные данные трансформаторов).

Выполняется расчет потери напряжения в сети, %, по формулам: для однофазной сети

$$\Delta U = \frac{2I_{p,\text{max}} [r \cos\varphi + x \sin\varphi] \cdot 100}{U_{\text{НОМ}}}; \quad (2.24)$$

для симметричной трехфазной сети

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}I_{p,\text{max}} [r \cos\varphi + x \sin\varphi] \cdot 100}{U_{\text{НОМ}}}, \quad (2.25)$$

где  $U_{\text{НОМ}}$  — номинальное напряжение, В (220В — однофазной сети, 380 В — симметричной трехфазной сети);  $r$  — активное сопротивление проводника, Ом;  $x$  — индуктивное сопротивление проводника, Ом;  $\cos\varphi$  — коэффициент мощности нагрузки;  $I_{p,\text{max}}$  — максимальный расчетный ток нагрузки, А;  $\Delta U$  — потеря напряжения, % номинального.

Без учета индуктивного сопротивления линии на потерю напряжения, как правило, рассчитываются:

- сети постоянного тока;
- линии сети переменного тока, для которых коэффициент мощности  $\cos\varphi = 1$ ;
- сети, выполненные проводами внутри зданий или кабелями, если их сечения не превосходят 50 мм<sup>2</sup>.

При отсутствии какой-либо другой информации значение индуктивного сопротивления можно принимать равным

$8 \cdot 10^{-5}$  Ом/м. Активное сопротивление проводников, Ом, определяется по одной из известных формул

$$r = \frac{\rho l}{F}, \text{ или } r = \frac{l}{\gamma F}, \quad (2.26)$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\gamma$  — удельная проводимость проводника, м/(Ом·мм<sup>2</sup>);  $F$  — сечение проводника, мм<sup>2</sup>;  $l$  — длина проводника.

Удельные сопротивления и проводимости для медных проводников  $\rho_{\text{м}} = 0,0189$  Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\gamma_{\text{м}} = 53$  м/(Ом·мм<sup>2</sup>); для алюминиевых проводников  $\rho_{\text{а}} = 0,0315$  Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $\gamma_{\text{а}} = 31,7$  м/(Ом·мм<sup>2</sup>).

В табл. 2.16 приведены удельные активные сопротивления медных и алюминиевых проводов и кабелей, номенклатура которых по сечению токопроводящей жилы наиболее часто используется в строительстве.

В табл. 2.17, 2.18 приведены удельные индуктивные сопротивления воздушных линий.

Допустимое значение падения напряжения, %, определяется по формуле

$$\Delta U_{\text{доп}} = 105 - \Delta U_{\text{т}} - \Delta U_{\text{мин.доп}}, \quad (2.27)$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  — предельно допустимые потери напряжения в питающей приемник цепи, %; 105 — напряжение холостого хода на вторичной стороне питающего трансформатора, %;  $\Delta U_{\text{т}}$  — падение напряжения

Таблица 2.16. Активные сопротивления медных и алюминиевых проводов

Марка провода	Активное сопротивление, Ом/км	Марка провода	Активное сопротивление, Ом/км
М-4	4,65	А-16	1,96
М-6	3,06	А-25	1,27
М-10	1,84	А-35	0,91
М-16	1,20	А-50	0,63
М-25	0,74	А-70	0,45
М-35	0,54	А-95	0,33
М-50	0,39		
М-70	0,28		
М-95	0,20		

Таблица 2.17. Индуктивные сопротивления воздушных линий с медными и алюминиевыми проводами, Ом/км

Среднее геометрическое расстояние между проводами, мм	Сечение провода, мм <sup>2</sup>								
	4	6	10	16	25	35	50	70	95
400	0,385	0,371	0,355	0,333	0,319	0,308	0,297	0,283	0,274
600	0,411	0,397	0,381	0,358	0,345	0,336	0,325	0,309	0,300
800	0,429	0,415	0,399	0,377	0,363	0,352	0,341	0,327	0,318
1000	—	0,429	0,413	0,391	0,377	0,366	0,355	0,341	0,332

Таблица 2.18. Индуктивные сопротивления воздушных линий со сталеалюминиевыми проводами, Ом/км

Среднегеометрическое расстояние между проводами, м	Провода марок									
	АС35	АС50	АС70	АС95	АС120	АС150	АС185	АС240	АС300	АС400
2	0,403	0,392	0,382	0,371	0,365	0,358				
2,5	0,417	0,406	0,396	0,385	0,379	0,372	—	—	—	—
3	0,429	0,418	0,408	0,397	0,391	0,384	0,377	0,369	—	—
3,5	0,438	0,427	0,417	0,406	0,4	0,398	0,386	0,378	—	—
4	0,446	0,435	0,425	0,414	0,408	0,401	0,394	0,386	—	—
4,5	—	—	0,433	0,422	0,416	0,409	0,402	0,394	—	—
5	—	—	0,44	0,429	0,423	0,416	0,409	0,401	—	—
5,5	—	—	—	—	0,44	0,422	0,415	0,407	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	0,413	0,404	0,396
6,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,409	0,4
7	—	—	—	—	—	—	—	—	0,414	0,406
7,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,418	0,409
8	—	—	—	—	—	—	—	—	0,422	0,414
8,5	—	—	—	—	—	—	—	—	0,425	0,418

в трансформаторе, питающем данный объект, %;  $\Delta U_{\text{min, доп}}$  — минимально допустимое напряжение на зажимах электроприемника, %. Допустимые отклонения напряжения у приемников электроэнергии  $\pm 5\%$ , предельно допустимые  $\pm 10\%$ .

Для проверки проводников по потере напряжения можно также использовать таблицы удельных потерь напряжения (табл. 2.19 – 2.22), которые составлены на основании данных, приведенных в Справочнике по расчету проводов и кабелей и адаптированных к рассматриваемой тематике и к действующим в настоящее время нормам и правилам.

В указанных таблицах приведены удельные потери напряжения для электропроводок, воздушных и кабельных линий в зависимости от значения коэффициента мощности. Для проводов и кабелей из цветного металла эти потери выражены в процентах на 1 кВт·км в зависимости от напряжения линии.

Потеря напряжения в линии при заданном сечении проводов и кабелей из цветных металлов определяется по формуле

$$\Delta U = \Delta U_{\text{уд}} M_{\text{а}}, \quad (2.28)$$

где  $M_{\text{а}}$  — сумма произведений активных нагрузок на длины участков линии, кВт·км;  $\Delta U_{\text{уд}}$  — табличное значение удельной потери напряжения, %/(кВт·км).

Сечение проводов при заданном значении потери напряжения находится следующим образом. Определяется расчетное значение  $\Delta U_{\text{уд}}$  по формуле

$$\Delta U_{\text{уд}} = \frac{\Delta U}{M_{\text{а}}}, \quad (2.29)$$

и по соответствующей таблице (см. табл. 2.19 – 2.22) подбирается сечение провода с ближайшим меньшим значением удельной потери напряжения.

**Пример.** Выбрать сечение медного кабеля головного участка линии 0,38 кВ для сети (рис. 2.4), питающей следующую нагрузку:

$$P_{\text{р1}} = 68 \text{ кВт}; \cos\varphi = 0,75; P_{\text{р2}} = 43 \text{ кВт}; \cos\varphi = 0,85.$$



Таблица 2.19. Потери напряжения в двухпроводной линии переменного тока при  $\cos\varphi = 1$

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Потери напряжения, %/(кВ·км), при номинальном напряжении, В			
	220	127	42	36
<i>Медь</i>				
1	77,7	233,0	1,63	2,90
1,5	51,7	155,0	1,08	1,93
2,5	31,1	93,3	0,653	1,16
4	19,2	57,9	0,430	0,717
6	12,7	38,1	0,265	0,472
10	7,61	22,8	0,160	0,284
16	4,96	14,9	0,104	0,185
25	3,06	9,18	0,0642	0,114
35	2,23	6,69	0,0468	0,0833
50	1,61	4,83	0,338	0,0602
70	1,6	3,48	0,0243	0,0432
95	0,827	2,48	0,0173	0,0309
<i>Алюминий</i>				
2,5	52,8	158,0	1,11	1,97
4	33,1	99,3	0,693	1,23
6	22,0	66,0	0,462	0,823
10	13,2	39,6	0,277	0,494
16	8,18	24,5	0,172	0,306
25	5,29	15,9	0,111	0,198
35	3,80	11,4	0,0798	0,142
50	2,64	7,92	0,0555	0,0987
70	1,90	5,70	0,0400	0,0710
95	1,45	4,35	0,0236	0,0416

Таблица 2.20. Потери напряжения в трехфазной линии 380 В, выполненной изолированными проводами

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Потери напряжения, %/(кВ·км), при коэффициенте мощности											
	0,7	0,75	0,80	0,85	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00	
<i>Медь</i>												
1	13,2	13,2	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,0
1,5	8,85	8,83	8,81	8,80	8,77	8,76	8,75	8,74	8,73	8,72	8,72	8,65
2,5	5,39	5,37	5,35	5,33	5,32	5,31	5,31	5,30	5,28	5,27	5,27	5,21
4	3,39	3,37	3,36	3,34	3,33	3,32	3,31	3,30	3,29	3,28	3,28	3,22
6	2,29	2,27	2,25	2,23	2,22	2,21	2,21	2,20	2,19	2,18	2,18	2,12
10	1,43	1,41	1,40	1,38	1,37	1,37	1,36	1,35	1,34	1,33	1,33	1,28
16	0,993	0,965	0,958	0,941	0,931	0,924	0,916	0,908	0,899	0,887	0,887	0,831
25	0,664	0,647	0,631	0,616	0,606	0,600	0,593	0,585	0,577	0,566	0,566	0,512
35	0,527	0,510	0,494	0,478	0,469	0,462	0,455	0,448	0,439	0,428	0,428	0,374
50	0,415	0,403	0,388	0,373	0,364	0,358	0,351	0,344	0,336	0,326	0,326	0,270
70	0,365	0,346	0,328	0,310	0,299	0,292	0,284	0,275	0,266	0,254	0,254	0,196
95	0,301	0,283	0,265	0,249	0,238	0,231	0,223	0,215	0,206	0,194	0,194	0,138
<i>Алюминий</i>												
2,5	9,03	9,02	9,00	8,98	8,97	8,96	8,95	8,95	8,93	8,92	8,92	8,85
4	5,1	5,69	5,67	5,65	5,64	5,63	5,62	5,61	5,60	5,59	5,59	5,54
6	3,86	3,84	3,82	3,80	3,79	3,78	3,78	3,77	3,76	3,75	3,75	3,69
10	2,37	2,35	2,34	2,32	2,31	2,31	2,30	2,29	2,28	2,27	2,27	2,22
16	1,53	1,51	1,50	1,48	1,47	1,46	1,46	1,45	1,44	1,43	1,43	1,37
25	1,04	1,02	1,01	0,990	0,980	0,974	0,967	0,959	0,951	0,940	0,940	0,886
35	0,790	0,773	0,757	0,741	0,732	0,725	0,718	0,711	0,702	0,691	0,691	0,637
50	0,588	0,573	0,558	0,543	0,534	0,528	0,521	0,514	0,506	0,496	0,496	0,443
70	0,488	0,469	0,451	0,433	0,422	0,415	0,407	0,398	0,389	0,377	0,377	0,319
95	0,398	0,380	0,362	0,346	0,335	0,328	0,320	0,312	0,303	0,291	0,291	0,235

Таблица 2.21. Потери напряжения в трехфазной кабельной линии 380 В

Номинальное сечение, мм <sup>2</sup>	Потери напряжения, %/(кВ·км), при коэффициенте мощности						
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
<i>Медь</i>							
1	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0
1,5	8,72	8,71	8,70	8,69	8,68	8,67	8,65
2,5	5,28	5,27	5,26	5,25	5,24	5,23	5,21
4	3,29	3,28	3,27	3,26	3,25	3,25	3,22
6	2,18	2,17	2,16	2,16	2,15	2,14	2,12
10	1,33	1,32	1,32	1,31	1,30	1,30	1,26
16	0,879	0,872	0,866	0,860	0,853	0,846	0,831
25	0,599	0,552	0,546	0,540	0,534	0,527	0,512
35	0,419	0,413	0,407	0,401	0,395	0,389	0,374
50	0,314	0,308	0,302	0,297	0,291	0,284	0,270
70	0,240	0,233	0,228	0,222	0,216	0,210	0,196
95	0,181	0,175	0,169	0,164	0,158	0,152	0,138
<i>Алюминий</i>							
2,5	8,92	8,91	8,90	8,89	8,88	8,87	8,85
4	5,61	5,60	5,59	5,58	5,57	5,56	5,54
6	3,75	3,74	3,73	3,73	3,72	3,71	3,69
10	2,27	2,26	2,26	2,25	2,24	2,14	2 22
16	1,42	1,42	1,41	1,40	1,39	1,39	1,37
25	0,933	0,926	0,920	0,914	0,908	0,901	0,886
35	0,682	0,676	0,670	0,664	0,658	0,652	0,637
50	0,487	0,481	0,475	0,470	0,464	0,457	0,443
70	0,363	0,356	0,351	0,345	0,339	0,333	0,319
95	0,277	0,272	0,266	0,261	0,255	0,249	0,235

Таблица 2.22. Потери напряжения в трехфазной воздушной линии

Сечение провода, мм	Потери напряжения, %/(кВ·км), при коэффициенте мощности										
	0,7	0,75	0,80	0,85	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
<i>Медь</i>											
4	3,51	3,47	3,43	3,40	3,37	3,36	3,34	3,33	3,30	3,28	3,22
6	2,40	2,36	2,33	2,29	—	2,25	2,24	2,22	2,20	2,18	2,12
10	1,55	1,51	1,48	1,44	1,42	1,41	1,39	1,38	1,36г	1,33	1,28
16	1,08	1,05	1,02	0,985	0,965	0,951	0,937	0,921	0,904	0,893	0,831
25	0,756	0,723	0,692	0,660	0,641	0,628	0,614	0,599	0,582	0,572	0,512
35	0,610	0,578	0,547	0,517	0,498	0,486	0,472	0,458	0,441	0,432	0,374
50	0,498	0,467	0,438	0,409	0,390	0,378	0,365	0,351	0,335	0,326	0,270
70	0,414	0,384	0,356	0,328	0,310	0,298	0,286	0,272	0,257	0,248	0,196
<i>Алюминий</i>											
16	1,62	1,59	1,55	1,52	1,50	1,49	1,47	1,46	1,44	1,42	1,37
25	1,13	1,10	1,07	1,03	1,02	1,00	0,988	0,973	0,956	0,935	0,886
35	0,873	0,841	0,811	0,781	0,762	0,749	0,736	0,721	0,705	0,684	0,637
50	0,671	0,641	0,611	0,582	0,564	0,552	0,539	0,524	0,509	0,489	0,443
70	0,539	0,509	0,481	0,453	0,435	0,423	0,411	0,397	0,382	0,362	0,319
95	0,450	0,421	0,393	0,366	0,349	0,337	0,325	0,312	0,297	0,278	0,235

Длины участков соответственно 280 и 210 м. Проверить сечение по потерям напряжения, считая  $\Delta U_{\text{доп1-2}} = 3\%$ .

Решение. Найдем токи участков линии:

$$I_{2-3} = \frac{S_{2-3}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{P_2}{\sqrt{3}U_{\text{ном}} \cos \varphi_2} = \frac{43}{1,74 \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 76,9 \text{ А};$$

$$S_{2-3} = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{43}{0,85} = 50,58 \text{ кВА.}$$

По длительно допустимому току можно выбрать по табл. 2.8. сечение кабеля с медными жилами, бронированного, и с пластмассовой изоляцией 25 мм<sup>2</sup>.

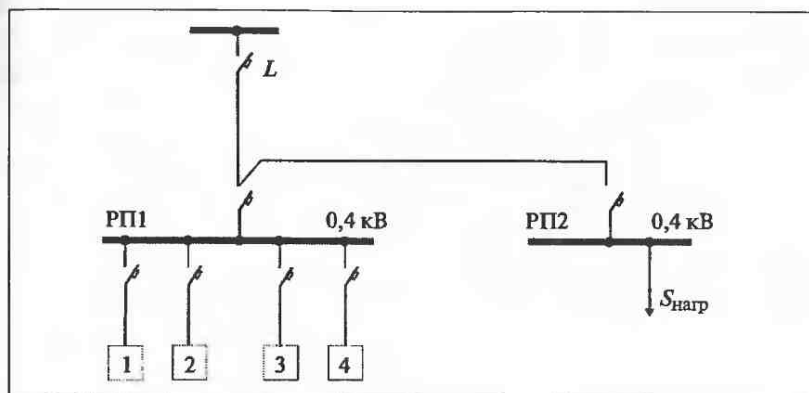


Рис. 2.4. Расчетная схема

Для головного участка линии

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi_1} = \frac{68}{0,75} = 90,7 \text{ кВА};$$

$$I_{1-2} = \frac{S_{1-2}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{S_1 + S_2}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{50,58 + 90,7}{1,74 \cdot 0,38} = 213,6 \text{ А.}$$

По длительно допустимому току можно выбрать по табл. 2.8 сечение медного кабеля с пластмассовой изоляцией  $2 \times 35 \text{ мм}^2$ .

По табл. 2.5 можно выбрать активное сопротивление медного бронированного кабеля сечением  $35 \text{ мм}^2$   $r_0 = 0,61 \text{ Ом/км}$ , индуктивное сопротивление  $x_0 = 0,079 \text{ Ом/км}$ .

Тогда сопротивления участка 1 сети

$$R_1 = r_0 l = \frac{0,61 \cdot 0,28}{2} = 0,0854 \text{ Ом};$$

$$X_1 = x_0 l = \frac{0,079 \cdot 0,28}{2} = 0,011 \text{ Ом.}$$

Сопротивления участка 2 сети

$$R_2 = r_0 l = 0,85 \cdot 0,21 = 0,178 \text{ Ом};$$

$$X_2 = x_0 I = 0,082 \cdot 0,21 = 0,017 \text{ Ом.}$$

Потери мощности на участке 2:

$$\Delta P_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} R = \frac{43^2 + (43 \cdot 0,62)^2}{0,38^2} \cdot 0,178 = 3181 \text{ Вт}$$

$$\Delta Q_2 = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} X = \frac{43^2 + (43 \cdot 0,62)^2}{0,38^2} \cdot 0,017 = 314 \text{ вар.}$$

Потери мощности на участке 1:

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} R = \\ &= \frac{(68 + 43 + 3,181)^2 + (68 \cdot 0,88 + 43 \cdot 0,62 + 0,314)^2}{0,38^2} \cdot 0,0854 = 12,16 \text{ кВт;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_2 &= \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} X = \\ &= \frac{(68 + 43 + 3,181)^2 + (68 \cdot 0,88 + 43 \cdot 0,62 + 0,314)^2}{0,38^2} \cdot 0,011 = 1,55 \text{ квар.} \end{aligned}$$

Потери напряжения на участке 1:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{(126,34)0,0854 + (88,05)0,011}{0,38} \approx 30,9 \text{ В.}$$

Это составляет около 8 % от напряжения 380 В, кабель не проходит по потерям напряжения, следовательно, нужно брать кабель значительно большего сечения.

Рассчитаем потери для кабеля сечением  $2 \times 70 \text{ мм}^2$ . Тогда

$$\Delta U = \frac{(126,98)0,124 + (87,9)0,017}{2 \cdot 0,38} \approx 22,68 \text{ В,}$$

что составляет 6 %.

Часто при выборе сечения для линий низкого напряжения по длительно допустимому току кабеля получаются недопустимые потери напряжения.

Выберем кабель по потерям напряжения при помощи табл. 2.18 – 2.22.

$$\text{По (2.29) находим } \Delta U_{\text{уд}} = \frac{3}{(68+43) \cdot 0,28} = 0,096.$$

По табл. 2.21 для медных кабелей оцениваем необходимое сечение кабеля с учетом двух кабелей в параллель, выбираем медный кабель  $2 \times 95 \text{ мм}^2$ .

Тогда сопротивление участка 1:

$$R_1 = r_0 l = \frac{0,22 \cdot 0,28}{2} = 0,031 \text{ Ом};$$

$$X_1 = x_0 l = \frac{0,06 \cdot 0,28}{2} = 0,0085 \text{ Ом}.$$

Потери мощности на участке 1:

$$\begin{aligned} \Delta P_1 &= \frac{P_1^2 + Q_1^2}{U^2} R = \\ &= \frac{(68 + 43 + 3,226)^2 + (68 \cdot 0,88 + 43 \cdot 0,62 + 0,23)^2}{0,38^2} \cdot 0,031 = 4,41 \text{ кВт}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta Q_2 &= \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U^2} X = \\ &= \frac{(68 + 43 + 3,226)^2 + (68 \cdot 0,88 + 43 \cdot 0,62 + 0,23)^2}{0,38^2} \cdot 0,0085 = 1,2 \text{ квар}. \end{aligned}$$

Потери напряжения на участке 1:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{(118,64)0,031 + (87,9)0,0085}{0,38} \cong 11,64 \text{ В},$$

что составляет 3 %.

## Список литературы

1. **Указания по расчету электрических нагрузок РТМ 36.18.32.4–92:** Технический циркуляр ВНИПИ Тяжпромэлектропроект № 359–92 от 30 июля 1992 г.
2. **ГОСТ 28249–93.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
3. **РД 153–34.0–20.527–98.** Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования РАО ЕЭС России, 2002 г.
4. **Федеральный закон** об электроэнергетике от 26.03.03 № 35-ФЗ.
5. **Межгосударственный стандарт** «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ». Дата введения 01.01.95.
6. **Проектирование электроснабжения промышленных предприятий.** Нормы технологического проектирования. М.: Тяжпромэлектропроект им. Ф. Б. Якубовского, 1994.
7. **Епанешников М. М.** Электрическое освещение: Справочная книга по светотехнике. М.: Энергия, 1973.
8. **СНиП 31.110–2003.** Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий.
9. **Мешков В. В., Епанешников М. М.** Осветительные установки. М.: Энергия, 1972.
10. **Правила устройства электроустановок.** М.: Энергоатомиздат, 1985.
11. **Проект норм МГСН 2.01–98.** Разд. 4. Искусственное освещение зданий.
12. **Айзенберг Ю. Б., Рожкова Н. В.** Энергосбережение в светотехнических установках // *Новости светотехники.* 1999. Вып. 4 (16).
13. **Князевский Б. А., Липкин Б. Ю.** Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для вузов по специальности «Электроснабжение и автоматизация промышленных установок». М.: Высшая школа, 1986.
14. **Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования /** Под ред. Ю. Г. Барыбина и др. М.: Энергоатомиздат, 1991.
15. **Федоров А. А., Каленева В. В.** Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1984.



# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	3
<b>ГЛАВА ПЕРВАЯ. Характеристики режимов электропотребления объектов . . . . .</b>	<b>6</b>
1.1. Категории электроприемников . . . . .	6
1.2. Расчет нагрузок общественных зданий . . . . .	12
1.3. Расчет нагрузок промпредприятий . . . . .	34
<b>ГЛАВА ВТОРАЯ. Совместный выбор защитно-коммутационной аппаратуры и сечений проводников в низковольтных сетях . . . . .</b>	<b>42</b>
2.1. Общие сведения . . . . .	42
2.2. Выбор коммутационно-защитной аппаратуры . . . . .	43
2.3. Принципы выбора коммутационной аппаратуры . . . . .	51
2.4. Выбор сечения токопроводящей жилы . . . . .	55
2.5. Совместный выбор сечения токоведущей жилы и коммутационно-защитной аппаратуры . . . . .	61
2.6. Проверка проводников по потере напряжения . . . . .	70
Список литературы . . . . .	82

**Библиотечка электротехника**

*Приложение к производственно-массовому журналу «Энергетик»*

**ТАТЬЯНА ВАЛЕНТИНОВНА АНЧАРОВА  
МАРИНА АЛЕКСАНДРОВНА РАШЕВСКАЯ**

**Электроснабжение зданий  
(Часть 1)**

**АДРЕС РЕДАКЦИИ:**

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Тел. (495) 675-19-06, тел./факс 234-74-21

---

**Редакторы: Л. Л. Жданова, Н. В. Ольшанская**

**Худож.-техн. редактор Т. Ю. Андреева**

**Корректор Г. И. Эрли**

Сдано в набор 10.04.12. Подписано в печать 17.05.12.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать офсетная.

Печ. л. 5,25. Заказ БЭТ/05(161)-2012.

Макет выполнен издательством «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

Отпечатано типографией издательства «Фолиум»: 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.

## Журнал «Энергетика за рубежом»

Приложение к журналу «Энергетик»

Подписывайтесь на специальное приложение к журналу «Энергетик» — «Энергетика за рубежом». Это приложение выходит **один раз в два месяца**.

Журнал «Энергетика за рубежом» знакомит читателей с важнейшими проблемами современной зарубежной электроэнергетики:

- *развитие и надежность энергосистем и энергообъединений;*
- *особенности и новшества экономических и рыночных отношений в электроэнергетике;*
- *опыт внедрения прогрессивных технологий в энергетическое производство;*
- *модернизация и реконструкция (перемаркировка) оборудования электростанций, электрических и тепловых сетей;*
- *распространение нетрадиционных и возобновляемых источников энергии;*
- *энергосбережение, рациональное расходование топлива и экологические аспекты энергетики.*

Подписку можно оформить в любом почтовом отделении связи по объединенному каталогу «**ПРЕССА РОССИИ**». Том 1. Российские и зарубежные газеты и журналы.

Подписной индекс журнала «Энергетика за рубежом» — приложения к журналу «Энергетик»

**87261**

## **Об авторах**



**Анчарова  
Татьяна Валентиновна**

окончила Московский энергетический институт в 1967 г. В 1972 г. поступила в аспирантуру на кафедру «Электроснабжение промышленных предприятий» МЭИ и в 1975 г. защитила кандидатскую диссертацию. С тех пор преподает на этой кафедре. Под ее руководством защищены десять кандидатских диссертаций, опубликованы более пятидесяти статей в научных журналах, учебные и методические материалы. Возглавляет на кафедре направления, связанные с электрическим освещением и электрическими сетями низкого напряжения.



**Рашевская  
Марина Александровна**

окончила Московский энергетический институт в 1984 г., поступила в аспирантуру на кафедру «Общая физика и ядерный синтез» МЭИ и в 1996 г. защитила кандидатскую диссертацию. В настоящее время работает доцентом кафедры электроснабжения МЭИ. Ведет курс «Электроснабжение промпредприятий и электрооборудование», автор ряда статей по теме, а также соавтор учебного пособия и справочника по электроснабжению.

На основании анализа нормативно-технической документации, а также опыта проектирования предлагаются примеры решения задач по расчету электроустановок зданий