

658.26
К43

Библиотека электротехника

**Э. А. Киреева
С. А. Цырук**

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

**ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ
ЭНЕРГЕТИК**

Вниманию специалистов

Вышли в свет следующие выпуски

“Библиотечки электротехника”:

Георгиади В. Х. **Поведение энергоблоков ТЭС при перерывах электроснабжения собственных нужд (части 1 – 3).**

Файбисович Д. Л., Карапетян И. Г. **Укрупненные стоимостные показатели электрических сетей 35 – 1150 кВ.**

Добрусин Л. А. **Фильтрокомпенсирующие устройства для преобразовательной техники.**

Киреева Э. А., Орлов В. В., Старкова Л. Е. **Электроснабжение цехов промышленных предприятий.**

Киреева Э. А. **Справочные материалы по электрооборудованию.**

Семенов В. А. **Противоаварийная автоматика в ЕЭС России.**

Торопцев Н. Д. **Асинхронные генераторы для автономных электроэнергетических установок.**

Иноземцев Е. К. **Ремонт асинхронных электродвигателей электростанций.**

Овчаренко Н. И. **Микропроцессорная автоматика синхронных генераторов и компенсаторов.**

Овчинников В. В., Удрис А. П. **Реле РНТ и ДЗТ в схемах дифференциальных защит (Часть 1. Устройство и конструкции; Часть 2. Принципы расчета уставок и техническое обслуживание).**

Александров В. Ф., Езерский В. Г., Захаров О. Г., Малышев В. С. **Цифровые устройства частотной разгрузки.**

Беляев А. В. **Противоаварийная автоматика в узлах нагрузки с мощными синхронными электродвигателями.**

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

Индексы “Библиотечки электротехника”

— приложения к журналу “Энергетик”

88983 — для предприятий и организаций;

88982 — для индивидуальных подписчиков.

Адрес редакции
журнала **“Энергетик”**:

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

Телефон (095) 675-19-06

E-mail: energy@mail.magelan.ru

Библиотечка электротехника

— приложение к журналу “Энергетик”

Основана в июне 1998 г.

Выпуск 8 (80)

Э. А. Киреева

С. А. Цырук

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Москва

НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”

2005

УДК 621.311.4(07)
ББК 31.29-05
К43

Главный редактор журнала “Энергетик” А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

“Библиотечки электротехника”

В. А. Семенов (*председатель*), И. И. Батюк (*зам. председателя*),
Б. А. Алексеев, К. М. Антипов, Г. А. Безчастнов, А. Н. Жулев,
В. А. Забегалов, В. Х. Ишкин, Ф. Л. Коган, В. И. Кочкарев,
Н. В. Лисицын, Л. Г. Мамиконянц, Л. Ф. Плетнев, В. И. Пуляев,
Ю. В. Усачев, М. А. Шабал

Киреева Э. А., Цырук С. А.

К43 Электроснабжение жилых и общественных зданий. —
М.: НТФ “Энергопрогресс”, 2005. — 96 с.; ил. [Библиотеч-
ка электротехника, приложение к журналу “Энергетик”.
Вып. 8 (80)].

Рассмотрены электроприемники жилых и общественных зданий, дан расчет электрических нагрузок, показано влияние качества электроэнергии на работу электроприемников зданий. Приведены принципы построения схем электрических сетей зданий, освещены вопросы электробезопасности и защиты в системах электроснабжения зданий, дан пример расчета электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей.

Для широкого круга инженеров и техников, занимающихся проектированием и эксплуатацией электрооборудования и электрических сетей жилых и общественных зданий и промышленных объектов, может быть полезна студентам энергетических специальностей.

ISSN 0013-7278 © НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”, 2005

Предисловие

Состояние технической литературы по энергетике в настоящее время характеризуется определенным информационным пробелом в области издания технической литературы по многим отраслям, в том числе и литературы по современному электроснабжению и электрооборудованию жилых и общественных зданий. В книге сделана попытка в какой-то степени восполнить этот пробел, тем более что за последнее десятилетие разработано много новых директивных документов, часть которых приведена в списке литературы данной книги.

Книга состоит из пяти глав, включающих основные сведения по электроснабжению жилых и общественных зданий, защите и электробезопасности их систем электроснабжения, а также содержит пример расчета электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей и жилого района в целом.

В гл. 1 приведены общие сведения по основным электроприемникам жилых и общественных зданий, даны формулы по расчету электрических нагрузок, а также показано влияние качества электроэнергии на работу электроприемников зданий. В гл. 2 представлен материал по электрическим сетям жилых и общественных зданий. В гл. 3 рассмотрены вопросы защиты электрических сетей зданий (виды, места установки, примеры схем), гл. 4 посвящена электробезопасности в жилых и общественных зданиях. В гл. 5 дан пример расчета электрических нагрузок коммунально-бытовых потребителей и жилого района в целом.

В книге отражен опыт ведущих проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся проектированием жилых и общественных зданий, а также разработкой новых требований, вошедших в нормативные документы. Эти документы учтены при изложении материала данной книги.

Авторы выражают глубокую благодарность С. Л. Кирееву и Е. С. Киреевой за большую помощь при оформлении рукописи.

**Все замечания и предложения
авторы просят направлять по адресу:
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23.
Редакция журнала “Энергетик”**

Авторы

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Общие сведения

1.1. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Электроприемники жилых зданий можно подразделить на две группы:

- электроприемники квартир;
- электроприемники общедомового назначения.

К первым относятся осветительные и бытовые электроприборы; ко вторым — светильники лестничных клеток, технических подполий, чердаков, вестибюлей, холлов, служебных и других помещений, лифтовые установки, вентиляционные системы, различные противопожарные устройства, домофоны и т.п. [1].

Электрическое освещение квартир осуществляется с помощью светильников с лампами накаливания и люминесцентными. К бытовым относятся следующие электроприборы: нагревательные, хозяйственные, культурно-бытовые, санитарно-гигиенические, бытовые кондиционеры воздуха, водонагреватели, приборы для отопления помещений.

Для освещения лестниц, вестибюлей, холлов, коридоров применяют лампы накаливания и люминесцентные. Последние имеют больший срок службы и менее чувствительны к колебаниям напряжения.

К силовым электроприемникам относятся асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором и другие электроприемники лифтовых установок.

Для высотных зданий применяют лифты со специальным электроприводом, куда входит электромагнитный тормоз и аппаратура управления.

Кроме того, к силовым электроприемникам относятся электродвигатели вентиляторов и насосов, различные электромагниты для

открывания клапанов и люков систем дымоудаления зданий высотой более девяти этажей, а также аппаратура связи и сигнализация.

Электроприемники общественных зданий. Общественными являются следующие здания: различные учреждения и организации управления, финансирования, кредитования, госстраха, просвещения, дошкольные, библиотеки, архивы, предприятия торговли, общепита, бытового обслуживания населения, гостиницы, лечебные учреждения, музеи, зрелищные предприятия и спортивные сооружения.

Все электроприемники общественных зданий условно можно разделить на две группы: осветительные и силовые. В основных помещениях общественных зданий применяют светильники с люминесцентными лампами в исполнении, соответствующем условиям среды и выполняемой работы. Используют также металлогалогенные, натриевые, ксеноновые лампы для внутреннего и наружного освещения. Во вспомогательных помещениях (склады, кладовые) применяют лампы накаливания.

К силовым электроприемникам относятся электроприемники механического и электротеплового оборудования, холодильных машин, подъемно-транспортного оборудования, санитарно-технических установок, связи, сигнализации, противопожарных устройств и др.

Общественные здания имеют также приточно-вытяжные вентиляционные установки, широко применяются системы кондиционирования воздуха, насосы систем горячего и холодного водоснабжения. Большинство механизмов оборудовано асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

1.2. РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Нагрузки жилых зданий [26]. Расчетную нагрузку групповых сетей освещения общедомовых помещений жилых зданий (лестничных клеток, вестибюлей, технических этажей и подполий, подвалов, чердаков, колясочных), а также жилых помещений общежитий следует определять по светотехническому расчету с коэффициентом спроса, равным 1.

Расчетную нагрузку питающих линий, вводов и на шинах РУ 0.4 кВ трансформаторной подстанции (ТП) от электроприемников квартир $P_{\text{кв}}$ определяют по формуле, кВт:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} n,$$

где $P_{\text{кв.уд}}$ — удельная нагрузка электроприемников квартир, принимаемая по табл. П1.1 в зависимости от числа квартир, присоединенных к линии (ТП), типа кухонных плит и наличия бытовых кондиционеров воздуха, кВт/квартиру*; n — число квартир, присоединенных к линии (ТП).

Расчетную нагрузку питающих линий, вводов и на шинах РУ 0,4 кВ ТП от общего освещения общежитий коридорного типа определяют с учетом коэффициента спроса k_c , принимаемого в зависимости от установленной мощности светильников P_y :

До 5 кВт	1
Свыше 5 до 10 кВт	0,9
Свыше 10 до 15 кВт	0,85
Свыше 15 до 25 кВт	0,8
Свыше 25 до 50 кВт	0,7
Свыше 50 до 100 кВт	0,65
Свыше 100 до 200 кВт	0,6
Свыше 200 кВт	0,55

Расчетную нагрузку групповых и питающих линий от электроприемников, подключаемых к розеткам в общежитиях коридорного типа, $P_{p,p}$ определяют по формуле, кВт:

$$P_{p,p} = P_{\text{уд}} n_p k_{o,p}$$

где $P_{\text{уд}}$ — удельная мощность на одну розетку, при числе розеток до 100 принимаемая 0,1 кВт; свыше 100 — 0,06 кВт; n_p — число розеток; $k_{o,p}$ — коэффициент одновременности для сети розеток, определяемый в зависимости от числа розеток:

До 10 розеток	1
Свыше 10 до 20 розеток	0,9
Свыше 20 до 50 розеток	0,8
Свыше 50 до 100 розеток	0,7
Свыше 100 до 200 розеток	0,6
Свыше 200 до 400 розеток	0,5
Свыше 400 до 600 розеток	0,4
Свыше 650 розеток	0,35

Расчетную нагрузку питающих линий, вводов и на шинах РУ 0,4 кВ ТП от бытовых напольных электрических плит общежитий коридорного типа $P_{p,пл}$ определяют по формуле, кВт:

* Удельные электрические нагрузки установлены с учетом того, что расчетная неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам трехфазных четырехпроводных линий и вводов не превышает 15 %.

$$P_{p.пл} = P_{пл} n_{пл} k_{с.пл}$$

где $P_{пл}$ — установленная мощность электроплиты, кВт; $n_{пл}$ — число электроплит; $k_{с.пл}$ — коэффициент спроса, определяемый в зависимости от числа присоединенных плит:

При одной плите	1
При двух плитах	0,9
При 20 плитах	0,4
При 100 плитах	0,2
При 200 плитах	0,15

Примечания: 1. Коэффициенты спроса даны для электроплит с четырьмя конфорками. При определении коэффициента спроса для плит с тремя конфорками число плит следует учитывать с коэффициентом 0,75 от числа установленных плит, а с двумя — с коэффициентом 0,5.

2. Определение коэффициента спроса для числа плит, не указанного выше, производится интерполяцией.

Расчетную нагрузку вводов и на шинах 0,4 кВ ТП при смешанном питании от них общего освещения, розеток, кухонных электрических плит и помещений общественного назначения в общежитиях коридорного типа определяют как сумму расчетных нагрузок питающих линий, умноженную на 0,75. При этом расчетную нагрузку питающих линий освещения общедомовых помещений определяют с учетом примечания 3 к табл. П1.1.

Расчетную нагрузку линий питания лифтовых установок $P_{р.л}$ определяют по формуле, кВт:

$$P_{р.л} = k_{с.л} \sum_{i=1}^{n_{л}} P_{ni},$$

где $k_{с.л}$ — коэффициент спроса, определяемый по табл. П1.2 в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий; $n_{л}$ — число лифтовых установок, питаемых линией; P_{ni} — установленная мощность электродвигателя i -го лифта по паспорту, кВт.

Расчетную нагрузку линий питания электродвигателей санитарно-технических устройств определяют по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса, принимаемого по табл. П1.7.

Для расчета линий питания одновременно работающих электроприемников противопожарных устройств k_c принимают равным 1. При этом следует учитывать одновременную работу вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха, расположенных только в одной секции.

Расчетную нагрузку жилого дома $P_{р.ж.д}$ (квартир и силовых электроприемников) определяют по формуле, кВт:

$$P_{p.ж.д} = P_{кв} + 0,9P_c,$$

где $P_{кв}$ — расчетная нагрузка электроприемников квартир, кВт;
 P_c — расчетная нагрузка силовых электроприемников, кВт.

Коэффициенты мощности питающих линий жилых зданий приведены ниже:

Питающие линии:

квартир с электрическими плитами	0,98
то же, с бытовыми кондиционерами воздуха.	0,93
квартир с плитами на природном, сжиженном газе и твердом топливе	0,96
то же, с бытовыми кондиционерами воздуха.	0,92
общего освещения в общежитиях коридорного типа	0,95
хозяйственных насосов, вентиляционных установок и других санитарно-технических устройств	0,8
лифтов	0,65

Примечания: 1. Коэффициент мощности распределительной линии, питающей один электродвигатель, принимают по его каталожным данным.

2. Коэффициент мощности групповых линий освещения с разрядными лампами принимают, как это указано при расчете электрических нагрузок общественных зданий.

Нагрузки жилых зданий значительно изменяются в течение суток, зависят от времени года и постоянно растут за счет увеличения числа и мощности приобретаемых электробытовых приборов. Правильное и обоснованное определение электрических нагрузок обеспечивает рациональный выбор числа и мощности трансформаторных подстанций, сечений проводов и кабелей, электрооборудования.

Нагрузки общественных зданий [26]. Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочего освещения питающей сети и вводов общественных зданий принимают по табл. П1.3.

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

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок линий, питающих постановочное освещение в залах, клубах и домах культуры, принимают равными 0,35 для регулируемого освещения эстрады и 0,2 — для нерегулируемого.

Расчетную электрическую нагрузку линий, питающих розетки, $P_{p.p}$ определяют по формуле, кВт:

$$P_{p.p} = k_{c.p} P_{y.p} n_p,$$

где $k_{с.р}$ — расчетный коэффициент спроса, принимаемый по табл. П1.4; $P_{у.р}$ — установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт (в том числе для подключения оргтехники); n_p — число розеток.

При смешанном питании общего освещения и розеточной сети расчетную нагрузку $P_{р.о}$ определяют по формуле, кВт:

$$P_{р.о} = P'_{р.о} + P_{р.р},$$

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

Расчетную нагрузку силовых питающих линий и вводов $P_{р.с}$ определяют по формуле, кВт:

$$P_{р.с} = k_{с.с} P_{у.с},$$

где $k_{с.с}$ — расчетный коэффициент спроса; $P_{у.с}$ — установленная мощность электроприемников (кроме противопожарных устройств и резервных), кВт.

Коэффициенты спроса для расчета нагрузки вводов, питающих и распределительных линий силовых электрических сетей общественных зданий определяют по табл. П1.5.

Расчетную нагрузку питающих линий технологического оборудования и посудомоечных машин предприятий общественного питания и пищеблоков $P_{р.с}$ определяют по формуле, кВт:

$$P_{р.с} = P_{р.п.м} + 0,65 P_{р.т} \geq P_{р.т},$$

где $P_{р.п.м}$ — расчетная нагрузка посудомоечных машин, определяемая с коэффициентом спроса, который принимают по табл. П1.8, кВт; $P_{р.т}$ — расчетная нагрузка технологического оборудования, определяемая с коэффициентом спроса, который принимают по табл. П1.6, кВт.

Нагрузку распределительных линий электроприемников уборочных механизмов для расчета сечений проводников и уставок защитных аппаратов, как правило, принимают 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, принимают равной 4,5 кВт, а к однофазной — 2 кВт.

Расчетную нагрузку питающих линий и вводов в рабочем и аварийном режимах при совместном питании силовых электроприемников и освещения P_p определяют по формуле, кВт:

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

где k — коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников, включая холодильное оборудование и освещение, принимаемый по табл. П1.9; k_1 — коэффициент, зависящий от отношения расчетной нагрузки освещения к нагрузке холодильного оборудования холодильной станции, принимаемый по п. 3 примечания к табл. П1.9; $P_{p.o}$ — 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.

Коэффициенты мощности при расчете силовых сетей общественных зданий рекомендуется принимать следующими:

Для силовых сетей:

предприятий общественного питания:	
полностью электрифицированных	0,98
частично электрифицированных	
(с плитами на газообразном и твердом топливе)	0,95
продовольственных и промтоварных магазинов	0,85
яслей-садов:	
с пищеблоками	0,98
без пищеблоков	0,95
общеобразовательных школ:	
с пищеблоками	0,95
без пищеблоков	0,9
фабрик химчистки с прачечными самообслуживания	0,75
учебных корпусов профессионально-технических училищ	0,9
учебно-производственных мастерских	
по металлообработке и деревообработке	0,6
гостиниц:	
без ресторанов	0,85
с ресторанами	0,9
зданий и учреждений управления, финансирования,	
кредитования и государственного страхования,	
проектных и конструкторских организаций	0,85
парикмахерских и салонов-парикмахерских	0,97
ателье, комбинатов бытового обслуживания	0,85
холодильного оборудования предприятий торговли	
и общественного питания, насосов, вентиляторов	
и кондиционеров воздуха при мощности электродвигателей, кВт:	
до 1	0,65

от 1 до 4	0,75
свыше 4	0,85
лифтов и другого подъемного оборудования.	0,65
вычислительных машин	
(без технологического кондиционирования воздуха).	0,65

Коэффициенты мощности для расчета сетей освещения:

С лампами:	
люминесцентными.	0,92
накаливания	1
ДРЛ и ДРИ с компенсированными ПРА	0,85
то же, с некомпенсированными ПРА	0,3 — 0,5
газосветных рекламных установок	0,35 — 0,4

Примечания: 1. 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.

2. При совместном питании линией разрядных ламп и ламп накаливания коэффициент мощности определяют 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 определяют по формуле, кВт:

$$P_p = P_{здmax} + k_1 P_{зд1} + k_2 P_{зд2} + \dots + k_n P_{здn},$$

где $P_{здmax}$ — наибольшая из нагрузок зданий, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт; $P_{зд1} \dots P_{здn}$ — расчетные нагрузки всех зданий, кроме здания, имеющего наибольшую нагрузку $P_{здmax}$, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт; $k_1, k_2 \dots k_n$ — коэффициенты, учитывающие долю электрических нагрузок общественных зданий (помещений) и жилых домов (квартир и силовых электроприемников) в наибольшей расчетной нагрузке $P_{здmax}$ принимаемые по табл. П1.10.

Ориентировочные расчеты электрических нагрузок общественных зданий допускается выполнять по укрупненным удельным электрическим нагрузкам, приведенным в табл. П1.11.

В табл. П1.12 — П1.14 приведены сведения по коэффициентам спроса различных потребителей для расчета электрических нагрузок, а также коэффициенты реактивной мощности жилых домов.

Более подробные сведения по расчету электрических нагрузок жилых и общественных зданий представлены в [26].

1.3. ВЛИЯНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ ЗДАНИЙ

Отключения напряжения оказывают значительное влияние на работу асинхронных двигателей. Так, вращающий момент двигателя пропорционален квадрату напряжения на его выводах. При снижении напряжения уменьшаются вращающий момент и частота вращения ротора двигателя, так как увеличивается его скольжение. При значительных снижениях напряжения на выводах двигателя, работающего с полной нагрузкой, момент сопротивления механизма может превысить вращающий момент, что приведет к “опрокидыванию” двигателя, т.е. к его останову. Снижение напряжения ухудшает условия пуска двигателя, так как при этом уменьшается его пусковой момент. Кроме того, при снижении напряжения на зажимах двигателя уменьшается потребляемая им реактивная мощность, увеличивается ток двигателя, что вызывает перегрев изоляции, а следовательно, уменьшается срок службы двигателя. Повышение напряжения на выводах двигателя приводит к увеличению потребляемой им реактивной мощности.

Снижение напряжения приводит к заметному снижению светового потока ламп накаливания; при снижении напряжения резко сокращается срок службы этих ламп. Увеличение напряжения приводит к росту потребляемой реактивной мощности люминесцентными лампами. Но изменение показателей у люминесцентных ламп значительно меньше при изменении напряжения, чем у ламп накаливания.

К колебаниям напряжения очень чувствительны осветительные приборы, особенно лампы накаливания и электронная техника.

Колебания напряжения, вызывающие мигание источников освещения (фликер-эффект), приводят к утомлению глаз человека, что снижает производительность труда, а в ряде случаев может привести и к травматизму [3].

Колебания напряжения нарушают нормальную работу телевизоров, холодильников, телефонно-телеграфной связи, компьютерной техники и т.п.

При колебаниях напряжения более 15 % может быть нарушена нормальная работа электродвигателей, возможно отпадание контактов магнитных пускателей, что приводит к отключению работающих двигателей.

Небольшая несимметрия напряжений (коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_{0U} \approx 1\%$) вызывает значительные токи обратной последовательности, которые, на-

кладываясь на токи прямой последовательности, приводят к дополнительному нагреву статора и особенно ротора двигателя, а следовательно, к ускоренному старению изоляции и уменьшению его располагаемой мощности. Так, срок службы полностью загруженного асинхронного двигателя, работающего при несимметрии напряжения 4 %, сокращается в 2 раза. В синхронных двигателях кроме указанных выше отклонений, могут возникнуть опасные вибрации.

Несимметрия напряжений значительно влияет на работу однофазных электроприемников, если фазные напряжения не равны. Так, например, лампы накаливания, подключенные к фазе с более высоким напряжением, имеют меньший срок службы.

Несинусоидальность напряжения, обусловленная электроприемниками с нелинейной вольт-амперной характеристикой, вызывает появление в сети высших гармонических тока и напряжения. Это приводит к дополнительным потерям активной мощности во всех элементах системы электроснабжения, а также к ухудшению или нарушению работы устройств автоматики, телемеханики, компьютерной техники и других устройств с элементами электроники.

Таким образом, качество электроэнергии существенно влияет на надежность электроснабжения зданий, поскольку аварийность в сетях с низким качеством электроэнергии выше, чем в случае, когда показатели качества электроэнергии находятся в допустимых пределах.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Электроснабжение жилых и общественных зданий

2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

По надежности электроснабжения все электроприемники жилых и общественных зданий подразделяют на три категории (табл. П2.1).

В соответствии с ПУЭ [13] потребители I категории должны иметь не менее двух независимых источников питания, допускается питание также от двух близлежащих однотрансформаторных или разных трансформаторов двухтрансформаторных подстанций, подключенных к разным линиям 6 – 20 кВ с устройством АВР.

Питание силовых электроприемников и освещения осуществляется от общих трансформаторов, если частота размахов изменений напряжения в сети освещения не превышает значений, регламентированных ГОСТ 13109-98.

Выбор мощности силовых трансформаторов ТП производится с учетом их нагрузочной и перегрузочной способности.

В жилых зданиях, а также в общественных зданиях, где уровень звука ограничен санитарными нормами, размещение встроенных и пристроенных ТП не допускается.

Главные распределительные щиты (ГРЩ) при применении встроенных ТП размещают в смежном с ТП помещении. Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) размещают в одном помещении с ГРЩ.

На встроенных ТП и КТП устанавливают не более двух масляных трансформаторов мощностью до 1000 кВ · А каждый. Число сухих трансформаторов не ограничивается.

В ТП, как правило, устанавливают силовые трансформаторы с глухо-заземленной нейтралью со схемой соединения обмоток “звезда — зиг-заг” при мощности до 250 кВ · А и “треугольник — звезда” при мощности 400 кВ · А и более [26].

В здании устанавливают одно общее вводно-распределительное устройство (ВРУ) или ГРЩ, предназначенные для приема электроэнергии от городской сети и распределения ее по потребителям здания. Увеличение количества ВРУ (ГРЩ) допускается при питании от отдельно стоящей ТП и нагрузке на каждом из вводов в нормальном и аварийном режимах свыше 400 — 630 А.

У каждого из абонентов, расположенных в здании, устанавливают самостоятельное ВРУ, питающееся от общего ВРУ (ГРЩ) здания.

Электрические сети до 1 кВ жилых и общественных зданий по назначению условно делят на питающие и распределительные. Питающей се-

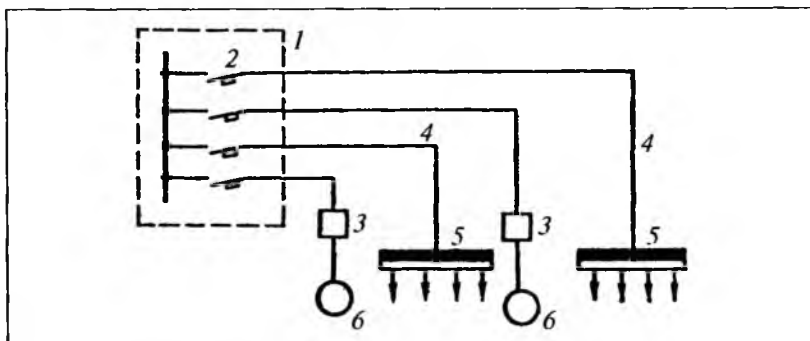


Рис. 2.1. Радиальная схема силовой сети:

1 — распределительный щит; 2 — автоматический выключатель; 3 — пусковой аппарат; 4 — линия; 5 — распределительный пункт; 6 — электроприемник

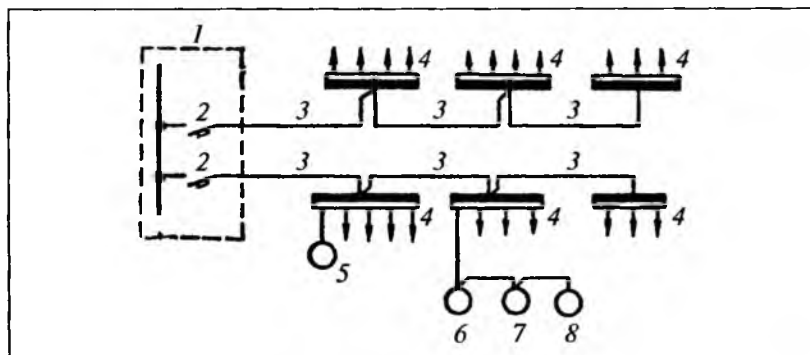


Рис. 2.2. Магистральная схема силовой сети:

1 — распределительный щит; 2 — автоматический выключатель; 3 — питающая линия; 4 — силовой распределительный пункт; 5 — электроприемник; 6 — 8 — электроприемники, включенные в цепочку

тью являются линии, идущие от трансформаторной подстанции до ВРУ и от ВРУ до силовых распределительных пунктов в силовой сети и до групповых щитков в осветительной сети. Распределительной сетью называют линии, идущие от распределительных пунктов в силовой сети до силовых электроприемников.

Групповой сетью являются:

линии, идущие от групповых щитков освещения до светильников;

линии от этажных групповых щитков к электроприемникам квартир жилых домов.

Сети выполняют по радиальной, магистральной и смешанной схемам. В качестве примера на рис. 2.1 приведена питающая радиальная схема силовой сети здания, а на рис. 2.2 — магистральная схема силовой сети здания.

В жилых и общественных зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых щитков до штепсельных розеток, выполняют трехпроводными (фазный, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники). Питание стационарных однофазных электроприемников выполняют трехпроводными линиями. При этом нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не следует подключать на щитке под один контактный зажим.

2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

В жилых домах число горизонтальных питающих линий квартир должно быть минимальным. Нагрузка каждой питающей линии, отходящей от ВРУ, не должна превышать 250 А.

В домах высотой 4 этажа и более число горизонтальных питающих линий должно быть, как правило, не более двух. Разрешается увеличение числа линий, если нагрузка квартир не может быть обеспечена двумя линиями.

Число стояков в жилых домах высотой 4 этажа и более, схемы их подключения к питающим линиям и ВРУ должны соответствовать, кроме указанных выше, следующим требованиям:

в домах с плитами на газообразном и твердом топливе при числе этажей до 10, а также с электрическими плитами при числе этажей до 5 — один стояк на секцию. Число стояков может быть увеличено по конструктивным соображениям или если это подтверждено технико-экономическими расчетами;

в домах с электрическими плитами при числе этажей свыше 5 до 17 — один стояк на секцию с подключением на каждом этаже до четырех квартир или два стояка с подключением к одному 40 % квартир, расположенных на верхних этажах, и к другому стояку — 60 % квартир, расположенных на нижних этажах;

в домах высотой более 17 этажей — два стояка на секцию с подключением на каждом этаже до четырех квартир.

Схемы электрических сетей жилых домов выполняют, исходя из следующего:

питание квартир и силовых электроприемников, в том числе лифтов, должно, как правило, осуществляться от общих секций ВРУ. Раздельное их питание выполняют только в случаях, когда размахи изменения напряжения на зажимах ламп в квартирах при включении лифтов выше регламентируемых ГОСТ 13109-98;

распределительные линии питания вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха, установленных в одной секции, должны быть самостоятельными для каждого вентилятора или шкафа, от которого питаются несколько вентиляторов, начиная от щита противопожарных устройств ВРУ. При этом соответствующие вентиляторы или шкафы, расположенные в разных секциях, рекомендуется питать по одной линии независимо от числа секций, подключенных к ВРУ.

К одной питающей линии разрешается присоединять несколько стояков, при этом в жилых зданиях высотой более 5 этажей на ответвлении к каждому стояку устанавливают отключающий аппарат.

Освещение лестниц, поэтажных коридоров, вестибюлей, входов в здание, номерных знаков и указателей пожарных гидрантов, а также огни светового ограждения и домофоны питаются линиями от ВРУ. При этом линии питания домофонов и огней светового ограждения должны быть самостоятельными. Питание усилителей телевизионных сигналов осуществляют от групповых линий освещения чердаков, а в бесчердачных зданиях — самостоятельными линиями от ВРУ.

Силовые электроприемники общедомовых потребителей жилых зданий (лифты, насосы, вентиляторы и т.п.), как правило, получают питание от самостоятельной силовой сети, начиная от ВРУ.

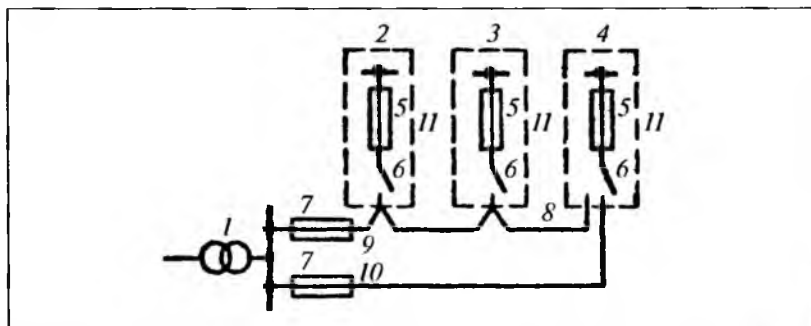


Рис. 2.3. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой до 5 этажей с резервной перемычкой:

1 — трансформаторная подстанция; 2 — 4 — жилые дома; 5, 6 — этажи; 7 — предохранители; 8 — резервная перемычка; 9, 10 — питающие линии; 11 — ВРУ

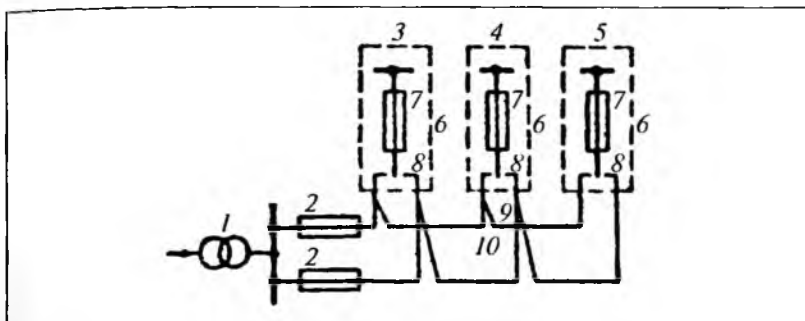


Рис. 2.4. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой до 5 этажей с переключателями на вводах:

1 — трансформаторная подстанция; 2, 7 — предохранители; 3 — 5 — жилые дома; 6 — ВРУ; 8 — переключатели; 9, 10 — питающие линии

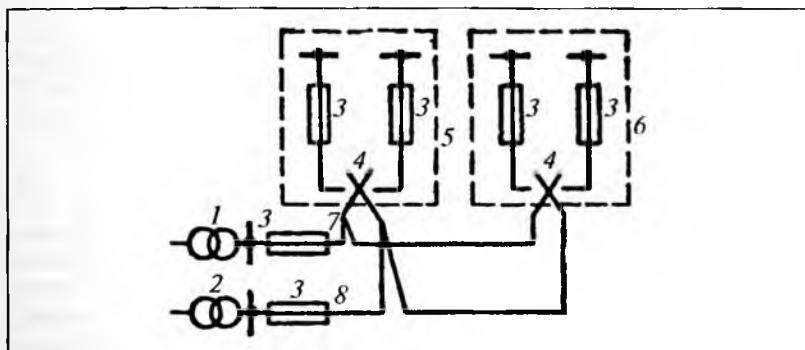


Рис. 2.5. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой 9 — 16 этажей с двумя переключателями на вводах:

1, 2 — трансформаторы; 3 — предохранители; 4 — переключатели; 5, 6 — ВРУ; 7, 8 — питающие линии

Ниже приведены типовые схемы электроснабжения жилых зданий различной этажности, обеспечивающие необходимую надежность питания.

На рис. 2.3 показана магистральная схема кабельной сети с резервной перемычкой для питания жилых домов высотой до 5 этажей включительно при отсутствии в квартирах электроплит. Резервная перемычка 8 подключается при выходе из строя любой из питающих линий 9 или 10, которые рассчитываются на прохождение по ним тока аварийного режима и по допустимым потерям напряжения. Недостатком схемы является то, что резервная перемычка в нормальном режиме не используется (холодный резерв).

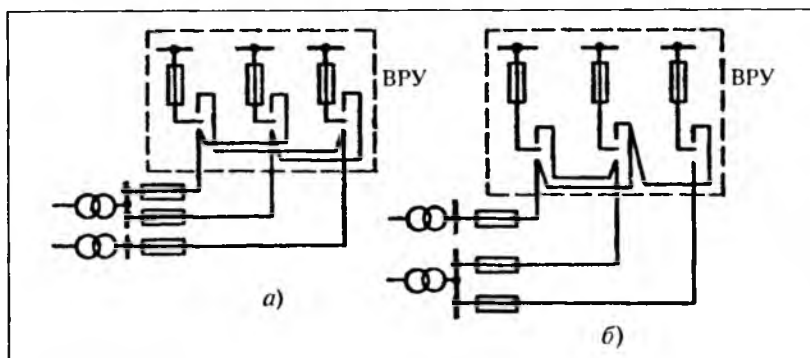


Рис. 2.6. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой 9 – 16 этажей с тремя вводами:

а — исходная; б — модифицированная

На рис. 2.4 приведена модификация описанной схемы, при которой на вводах в здание вместо рубильников устанавливают переключатели. Недостатком схемы является то, что в каждый дом (кроме тупикового) необходимо заводить четыре кабеля (вместо двух, как в предыдущем случае).

Для питания электроприемников жилых домов высотой 9 – 16 этажей применяют как радиальные, так и магистральные схемы. На рис. 2.5 дана магистральная схема с двумя переключателями на вводах. При этом одна из питающих линий используется для присоединения электроприемников квартир и общего освещения общедомовых помещений, другая — для подключения лифтов, противопожарных устройств, эвакуационного и аварийного освещения и т.п. Каждая из линий рассчитана с учетом допустимых перегрузок при аварийном режиме. Перерыв в питании по этой схеме не превышает 1 ч, что достаточно электромонтеру для нужных переключений на ВРУ [1].

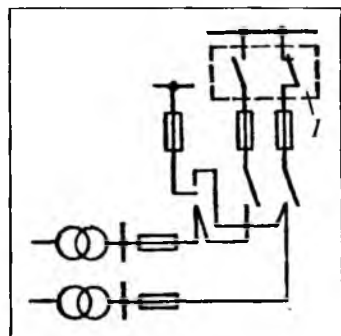


Рис. 2.7. Принципиальная схема электроснабжения жилых домов высотой 17 этажей и более:

1 — автоматическое включение резерва (АВР)

На рис. 2.6, а приведена схема питания жилых домов той же этажности, но с тремя вводами, причем вводы резервируют друг друга. Необходимость в большом числе вводов возникает для питания зданий высотой 9 – 16 этажей с электроплитами, а также многосек-

ционных домов с большим числом квартир с газовыми плитами. Модификация этой схемы приведена на рис. 2.6, б. Такая схема удобна при ремонте одной из сборок низкого напряжения на подстанции. Недостатком этой схемы является то, что часть электроприемников на период ремонта необходимо отключать, так как на один кабель приходится вся нагрузка дома.

Для питания жилых домов высотой 17 этажей и более применяют радиальные схемы с АВР на вводах; к силовым вводам присоединяют и другие электроприемники I категории: противопожарные устройства, огни светового ограждения, эвакуационное и аварийное освещение. На рис. 2.7 приведена схема электроснабжения жилого дома высотой 17 этажей и более. Перспективным является размещение ТП вблизи жилых зданий или под зданиями.

В современных жилых зданиях вводы внешних сетей и коммутационно-защитная аппаратура внутренних распределительных сетей объединяются в единое комплексное вводно-распределительное устройство, которое и является главным распределительным щитом. ВРУ целесообразно размещать в секциях дома, ближайших к ТП. К распределительной части ВРУ присоединяют питающие линии квартир, силовых по-

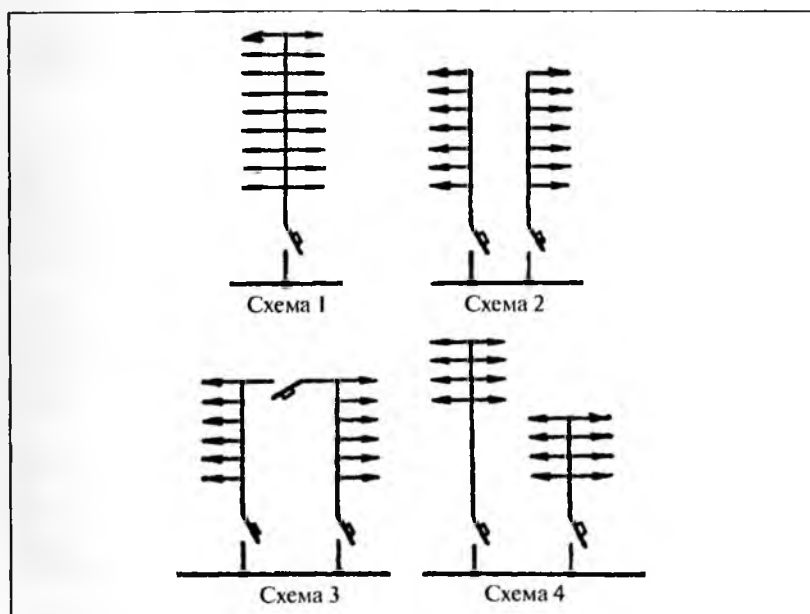


Рис. 2.8. Принципиальные схемы стояков, рекомендуемые по экономическим соображениям

требителей, питающие и групповые линии рабочего, эвакуационного и аварийного освещения общедомовых помещений, противопожарных устройств, огней светового ограждения, освещения и силовых потребителей, встроенных и пристроенных общественных помещений.

На отходящей от ВРУ линии устанавливают автоматические выключатели или предохранители; аппарат управления устанавливают на несколько линий одного назначения.

Учет электроэнергии, расходуемой общедомовыми потребителями, осуществляется с помощью трехфазных счетчиков, которые устанавливают на ответвлениях и присоединяют к соответствующим секциям шин.

В жилых зданиях квартирного типа устанавливают один однофазный счетчик на каждую квартиру. Допускается установка одного трехфазного счетчика. Расчетные квартирные счетчики рекомендуется размещать совместно с аппаратами защиты (предохранителями, автоматическими выключателями) и выключателями (для счетчиков) на общих квартирных щитках. Для безопасной замены счетчика перед ним должен быть установлен рубильник или двухполюсный выключатель, располагаемый на квартирном щитке.

В табл. П2.2 приведено оптимальное количество ВРУ и число отходящих горизонтальных линий для питания квартир.

Рекомендуемые схемы стояков приведены в табл. П2.3 и на рис. 2.8.

К внутридомовым питающим линиям относятся кроме питающих линий квартир также линии, питающие электродвигатели, электрооборудование лифтов, насосов, вентиляторов и др.

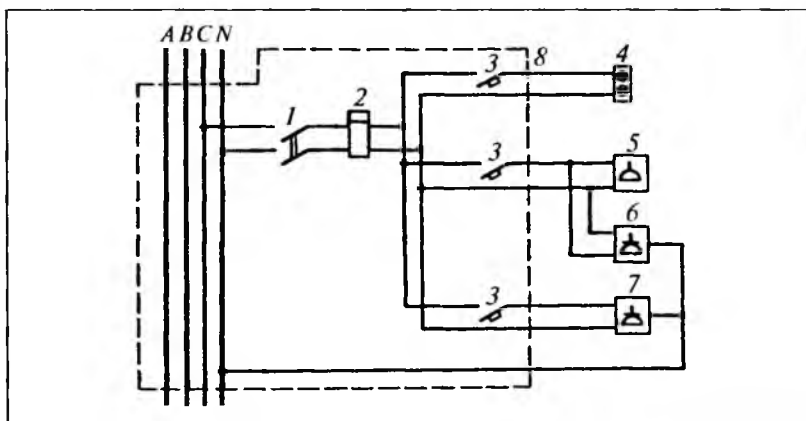


Рис. 2.9. Принципиальная схема групповой квартирной сети:

1 — выключатель; 2 — счетчик электроэнергии; 3 — автоматические выключатели; 4 — общее освещение; 5 — розетка на 6 А; 6 — розетка на 10 А; 7 — электроплита; 8 — этажный щиток

От ВРУ прокладывают:

питающие линии лифтов; к одной линии подключают не более четырех лифтов из разных секций; число лифтов, присоединяемых к каждой питающей линии, не ограничивается;

групповые линии рабочего эвакуационного и аварийного освещения;

групповые линии штепсельных розеток для подключения уборочных механизмов;

линии, питающие встроены в жилые дома предприятия и учреждения (они могут получать питание от ТП вместо ВРУ).

Групповая квартирная сеть предназначена для питания осветительных и бытовых электроприемников. Количество групповых линий и их пропускную способность определяют из табл. П2.4.

Групповые линии выполняют однофазными, а при значительных нагрузках — трехфазными четырехпроводными, но при этом должна быть предусмотрена надежная изоляция проводников и приборов, а также устройство автоматического защитного отключения.

Трехфазные линии в жилых домах должны иметь сечение нулевых проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 25 мм^2 , а при больших сечениях — не менее 50 % сечения фазных проводников. Сечения нулевых рабочих и нулевых защитных проводников в трехпроводных линиях должны быть не менее сечения фазных проводников.

Рекомендуется общее освещение выделять на отдельную групповую линию.

Нормами регламентируется число штепсельных розеток, устанавливаемых в квартирах. Так, в жилых комнатах квартир и общежитий — одна розетка на каждые 6 м^2 площади комнаты; для подключения бытового прибора мощностью до 2,2 кВт — одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 10 А.

На рис. 2.9 приведена схема групповой квартирной сети с электроплитой. В целях безопасности корпус стационарной электроплиты и бытовых приборов зануляют, для чего от этажного щитка прокладывают отдельный проводник. Сечение последнего равно сечению фазного проводника [5].

2.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Схемы электроснабжения и электрооборудование общественных зданий имеют ряд особенностей по сравнению с таковыми жилых зданий:

значительная доля силовых электроприемников;

специфические режимы работы этих электроприемников;

другие требования к освещению ряда помещений;

возможность встраивания ТП в некоторые из общественных зданий.

Общественные здания отличаются большим разнообразием, поэтому в данной брошюре рассматривается электроснабжение только некоторых наиболее распространенных общественных зданий.

Расчеты и опыт эксплуатации показали, что при потребляемой мощности более 400 кВт · А целесообразно применять встроенные подстанции, в том числе комплектные. Это имеет следующие преимущества:

- экономия цветных металлов;

- исключение прокладки внешних кабельных линий до 1 кВ;

- отсутствие необходимости в устройстве отдельных ВРУ в здании, так как ВРУ можно совместить с РУ 0,4 кВ подстанции.

Однако, как указывалось выше, нормы и правила исключают встраивание подстанций в здания учебных заведений, детских дошкольных учреждений, лечебных корпусов больниц, жилые зоны гостиниц и т.п. [6, 7].

Подстанции обычно располагают на первых или технических этажах. Допускается располагать ТП с сухими трансформаторами и с трансформаторами с негорючим наполнением в подвалах, а также на средних и верхних этажах зданий, если предусмотрены грузовые лифты для их транспортировки.

На встроенных ТП допускается установка как сухих, так и масляных трансформаторов. При этом масляных трансформаторов должно быть не более двух при мощности каждого до 1000 кВт · А. Количество и мощность сухих трансформаторов и трансформаторов с негорючим наполнением не ограничиваются. В места размещения ТП не должна попадать вода.

Для потребителей I категории надежности применяют, как правило, двухтрансформаторные ТП, но возможно использование и одното трансформаторных ТП при условии резервирования (перемычки и АВР по низкому напряжению).

Для потребителей II и III категорий надежности электроснабжения устанавливают одното трансформаторные ТП.

Распределение электроэнергии в общественных зданиях производится по радиальным или магистральным схемам.

Для питания электроприемников большой мощности (крупные холодильные машины, электродвигатели насосных, крупные вентиляционные камеры и др.) применяют радиальные схемы. При равномерном размещении электроприемников небольшой мощности по зданию используют магистральные схемы.

В общественных зданиях рекомендуется питающие линии силовых и осветительных сетей выполнять раздельными. Как и в жилых зданиях, на вводах питающих сетей в общественные здания устанавливают ВРУ с аппаратами защиты, управления, учета электроэнергии, а в крупных зданиях — и с измерительными приборами. На вводах обособленных потребителей (торговых предприятий, отделений связи и др.) установ-

ливают дополнительно отдельные аппараты управления. На вводах в распределительные пункты или щитки также устанавливают аппараты управления. Там, где это целесообразно по условиям эксплуатации, применяют, например, автоматические выключатели, которые совмещают в себе функции защиты и управления [8].

На каждой отходящей от ВРУ питающей линии устанавливают аппарат защиты. Аппарат управления может быть общим для нескольких линий, сходных по назначению и режиму работы.

Светильники эвакуационного и аварийного освещения присоединяют к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита ТП или от ВРУ. Так, например, при двухтрансформаторной ТП рабочее, эвакуационное и аварийное освещение присоединяют к разным трансформаторам. Силовые распределительные пункты, щиты и щитки располагают, как правило, на тех же этажах, где находятся электроприемники. Силовые электроприемники, присоединяемые к распределительным пунктам, щитам и щиткам, группируют с учетом их технологического назначения.

Электроприемники небольшой, но равной или близкой по значению установленной мощности соединяют в "цепочку", что обеспечивает экономию проводов и кабелей, а также уменьшение количества аппаратов защиты на распределительных пунктах [9].

Групповые распределительные щиты осветительной сети по архитектурным условиям располагают на лестничных клетках, в коридорах и т.п. Отходящие от щитков групповые линии могут быть:

- однофазными (фаза + нуль);
- двухфазными (две фазы + нуль);
- трехфазными (три фазы + нуль).

Предпочтение следует отдавать трехфазным четырехпроводным групповым линиям, обеспечивающим втрое большую нагрузку и в 6 раз меньшую потерю напряжения по сравнению с однофазными групповыми линиями.

Существуют нормы по устройству групповых осветительных сетей. Так,

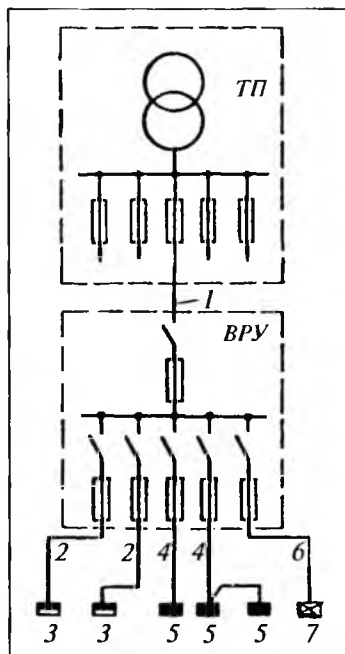


Рис. 2.10. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания от однострансформаторной подстанции:

1 — питающая линия к ВРУ; 2 — питающие линии к РП; 3 — РП силовых электроприемников; 4, 6 — линии; 5 — групповые щитки рабочего освещения; 7 — щиток эвакуационного освещения

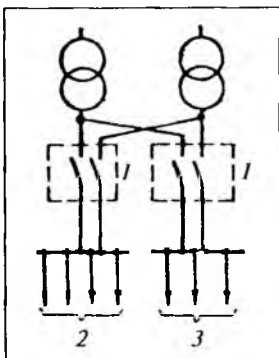


Рис. 2.11. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания от двухтрансформаторной подстанции с АВР на контакторных станциях:

1 — контакторные станции; 2, 3 — отходящие линии к вводам в здания

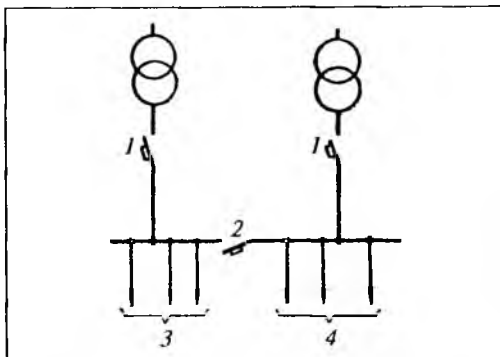


Рис. 2.12. Принципиальная схема электроснабжения общественного здания с встроенной ТП и абонентским щитом с АВР на автоматических выключателях:

1 — автоматические выключатели; 2 — секционный автоматический выключатель; 3 — линия к РП силовой сети, щитку эвакуационного и аварийного освещения; 4 — линия к групповым щиткам рабочего освещения

например, как и в жилых зданиях, допускается присоединять до 60 люминесцентных ламп или ламп накаливания мощностью до 65 Вт включительно на фазу. Это относится к групповым линиям освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий, подвалов и чердаков. Распределение нагрузок между фазами сети освещения должно быть по возможности равномерным. В целях экономии электроэнергии в помещениях с боковым естественным освещением предусматривают автоматическое отключение светильников рядами, параллельными окнам, в зависимости от требуемой освещенности.

Ниже приведены упрощенные схемы электроснабжения общественных зданий. На рис. 2.10 представлена схема питания здания, электроприемники которого относятся к III категории надежности. Здание питается от однострансформаторной ТП, от щита 0,4 кВ которой отходит питающая линия 1 к ВРУ здания. От ВРУ отходят питающие линии 2 к распределительным пунктам силовых электроприемников 3, линии 4 — к групповым щиткам рабочего освещения 5 и линия 6 — к щитку эвакуационного освещения 7.

Для питания ответственных потребителей в крупных городах широко применяют двухтрансформаторные ТП с устройством АВР на стороне низкого напряжения. Схемы такой ТП приведены на рис. 2.11 (с АВР на контакторах) и на рис. 2.12 (с АВР на автоматических выключателях).

В общественных зданиях от одной линии рекомендуется питать несколько вертикальных участков (стояков) питающей сети освещения. При этом в начале каждого стояка, питающего три и более групповых щитков, следует устанавливать коммутационный аппарат. Если стояк питается отдельной линией, установка коммутационного аппарата в начале стояка не требуется.

По одной линии следует питать не более четырех лифтов, расположенных в разных, не связанных между собой лестничных клетках и холлах. При наличии в лестничных клетках или лифтовых холлах двух или более лифтов одного назначения они должны питаться от двух линий, присоединяемых каждая непосредственно к ВРУ или ГРЩ; при этом количество лифтов, присоединяемых к одной линии, не ограничивается. На вводе каждого лифта должны быть предусмотрены коммутационный и защитный аппараты (предусматриваются схемой и комплектацией лифта). Рекомендуется установка одного аппарата, совмещающего эти функции.

Распределение электроэнергии к силовым распределительным щитам, пунктам и групповым щиткам сети электрического освещения осуществляется по магистральной схеме.

Радиальные схемы выполняют для присоединения мощных электродвигателей, групп электроприемников общего технологического назначения (например, встроенных пищеблоков, помещений вычислительных центров и т.п.), потребителей I категории надежности электроснабжения.

Питание рабочего освещения помещений, в которых длительно может находиться 600 человек и более (конференц-залы, актовые залы и т.п.), рекомендуется осуществлять от разных вводов, при этом к каждому вводу должно быть подключено 50 % светильников.

Отклонения напряжения от номинального на зажимах силовых электроприемников и наиболее удаленных ламп электрического освещения не должны превышать в нормальном режиме $\pm 5\%$, а в максимальном — $\pm 10\%$.

С учетом регламентированных отклонений от номинального значения суммарные потери напряжения от шин 0,4 кВ ТП до наиболее удаленной лампы общего освещения в жилых и общественных зданиях, как правило, не должны превышать 7,5 %.

Размах изменений напряжения на зажимах электроприемников при пуске электродвигателя не должен превышать значений, установленных ГОСТ 13109-98.

Более подробные сведения об электроснабжении жилых и общественных зданий приведены в нормативных документах, указанных в списке литературы.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Защита в системах электроснабжения жилых и общественных зданий

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Короткое замыкание (КЗ) относится к аварийным режимам и бывает одно-, двух- и трехфазным. Самым тяжелым является трехфазное КЗ, но оно возникает значительно реже, чем однофазное или двухфазное КЗ. Причинами КЗ являются:

- пробой изоляции;
- перекрытие изоляции;
- неправильная сборка схемы;
- ошибки обслуживающего персонала.

Токи КЗ, во много раз превышающие номинальные токи присоединенных электроприемников и допустимые токи проводников, оказывают динамическое и термическое действие на токоведущие части, вызывая выход их из строя. Поэтому КЗ надо локализовать и быстро отключить поврежденный участок сети.

Если КЗ являются аварийным режимом, то перегрузки относятся к аномальным режимам, так как сопровождаются прохождением по электрооборудованию и токоведущим проводникам повышенных токов, вызывая ускоренное старение изоляции, что может привести к КЗ.

В качестве аппаратов защиты электросетей и электроустановок жилых и общественных зданий применяют автоматические выключатели или предохранители. Допускается при необходимости использование реле косвенного действия для обеспечения требований чувствительности, быстродействия или избирательности (селективности).

Если используется защита с помощью реле косвенного действия, то в зависимости от режима работы и условий эксплуатации электроустановки релейную защиту выполняют с действием на сигнал или на отключение [4].

В целях удешевления электроустановок вместо автоматических выключателей и релейной защиты применяют плавкие предохранители, если они соответствуют следующим требованиям:

могут быть выбраны по номинальному току и напряжению, номинальному току отключения и др.;

обеспечивают требуемые избирательность и чувствительность;

не препятствуют применению автоматики (АПВ, АВР и т.п.).

Если релейная защита имеет цепи напряжения, то необходимо предусмотреть устройства, автоматически выводящие защиту из действия при отключении автоматических выключателей, перегорании предохранителей, а также устройства, сигнализирующие о нарушении этих цепей.

Коэффициент чувствительности $k_{\text{ч}}$ релейной защиты, определяемый для максимальных токовых защит по формуле $k_{\text{ч}} = 0,87 I_{\text{к}}^{(3)} / I_{\text{с.з.}}$, должен быть примерно равен 1,5 для основных защит и 1,2 для резервных. Здесь: $I_{\text{к}}^{(3)}$ — ток трехфазного КЗ; 0,87 — коэффициент перехода к двухфазному КЗ, т.е. $I_{\text{к}}^{(2)} = 0,87 I_{\text{к}}^{(3)}$; $I_{\text{с.з.}}$ — ток срабатывания защиты.

3.2. ВИДЫ ЗАЩИТЫ

Электрические сети жилых и общественных зданий должны иметь защиту от токов КЗ, обеспечивающую наименьшее время отключения и выполнение требований избирательности действия. Защита должна отключать поврежденный участок при КЗ в конце защищаемой линии:

одно-, двух- и трехфазных — в сетях с глухозаземленной нейтралью;

двух- и трехфазных — в сетях с изолированной нейтралью.

Аппараты защиты выбирают и размещают таким образом, чтобы их срабатывание происходило с выдержкой времени по мере их удаления в сторону источника питания. Этим обеспечивается избирательность действия защиты, которая не всегда может быть достигнута в сетях до 1 кВ при применении автоматических воздушных выключателей и предохранителей. Последнее объясняется разбросом характеристик аппаратов защиты, особенно предохранителей.

Достоинствами плавких предохранителей являются простота устройства, относительно малая стоимость, быстрое отключение цепи при КЗ (меньше одного периода), способность предохранителей типа ПК ограничивать ток в цепи при КЗ.

К недостаткам плавких предохранителей относятся следующие: предохранители срабатывают при токе, значительно превышающем

номинальный ток плавкой вставки, и поэтому избирательность отключения не обеспечивает безопасность отдельных участков сети; отключение сети плавкими предохранителями связано обычно с перенапряжением; возможны однофазное отключение и последующая аномальная работа установок; одноразовость срабатывания предохранителя и, как следствие, значительное время на замену предохранителя [8].

Наиболее распространенными предохранителями, применяемыми для защиты установок напряжением до 1 кВ, являются:

ПР — предохранитель разборный;

НПН — предохранитель насыпной неразборный;

ПНР — предохранитель насыпной разборный.

Шкала номинальных токов предохранителей 15 — 1000 А.

Для жилых и общественных зданий основной характеристикой защиты является быстрота действия.

Электрические сети внутри зданий, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией, защищают от перегрузки. Кроме того, от перегрузки защищают сети внутри зданий, а именно:

осветительные сети жилых и общественных зданий, торговых помещений, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюгов, чайников, комнатных холодильников, стиральных машин и т.п.);

силовые сети жилых и общественных зданий, торговых помещений только в случаях, когда по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников.

Обычно в жилых и общественных зданиях в силовых сетях таких режимов не существует, поэтому они защищаются только от КЗ. Исключение составляют электрические сети к лифтам, противопожарным устройствам и т.п., относящиеся к I категории надежности питания, при установке устройств АВР (например, на ВРУ). Такие сети защищают и от перегрузки.

В электрических сетях, защищаемых от перегрузки, проводники выбирают по расчетному току. В этом случае аппараты защиты должны иметь по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам, приведенным в таблицах гл. 1.3 ПУЭ [13], кратность не более:

80 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), — для проводников с поливинилхлоридной, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

100 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), — для кабелей с бумажной изоляцией;

100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) — для проводников всех марок;

100 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой — для проводников с поливинилхлоридной, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой — для кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

Силовые электроприемники (электродвигатели переменного тока) защищают от многофазных КЗ, а в сетях с глухозаземленной нейтралью и от однофазных КЗ. Кроме того, электродвигатели защищают от токов перегрузки (максимальная токовая защита), если она имеет место, и от понижения напряжения (защита минимального напряжения).

Для защиты электродвигателей от КЗ применяют предохранители или автоматические воздушные выключатели. Для надежного отключения КЗ на зажимах электродвигателя с легкими условиями пуска отношение пускового тока электродвигателя к номинальному току плавкой вставки должно быть не более 2,5, а для электродвигателей с тяжелыми условиями пуска (частые пуски и т.п.) — 2,0 — 1,6.

Защита двигателей от КЗ может выполняться с помощью максимальных реле тока типа РЭВ (РЭВ-200, РЭВ-750 и др.) в виде токовой отсечки (ТО).

Автоматические выключатели являются более совершенными аппаратами защиты по сравнению с предохранителями.

Автоматические воздушные выключатели могут снабжаться следующими встроенными в них расцепителями [4]:

1) электромагнитным или электронным максимального тока мгновенного или замедленного действия с практически не зависящей от тока скоростью срабатывания (защита от токов КЗ);

2) электротермическим или тепловым (обычно биметаллическим) или электронным инерционным максимального тока с зависящей от тока выдержкой времени (защита от токов перегрузки);

3) минимального напряжения.

Тепловой расцепитель автоматического выключателя не защищает питающую линию или асинхронный двигатель от токов КЗ, так как тепловой расцепитель, обладая большой тепловой инерцией, не успевает нагреться за малое время существования КЗ.

В зависимости от наличия механизмов, регулирующих время срабатывания расцепителей, автоматические выключатели разделяют на неселективные с временем срабатывания 0,02 — 0,1 с, селективные с регулируемой выдержкой времени; токоограничивающие с временем срабатывания не более 0,005 с.

Расцепители максимального тока устанавливают во всех фазах, остальные — по одному на выключатель. В одном выключателе обычно применяют токовые расцепители и расцепитель минимального напряжения. Выбор номинального тока или уставки расцепителей максимального тока аналогичен выбору номинального тока плавких вставок предохранителей.

Основные преимущества автоматических выключателей заключаются в следующем:

- 1) отключают все три фазы при КЗ или перегрузке, тем самым исключается работа электроустановок в неполнофазных режимах;
- 2) готовы к работе вскоре после срабатывания;
- 3) имеют более точные времятоковые характеристики;
- 4) совмещают функции защиты и коммутации.

3.3. МЕСТА УСТАНОВКИ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ

Места установки аппаратов защиты выбирают, руководствуясь следующими указаниями ПУЭ.

1. Аппараты защиты должны располагаться в доступных для обслуживания местах таким образом, чтобы исключить возможность их механических повреждений и опасность для обслуживающего персонала.

2. Аппараты защиты следует устанавливать в местах сети, где сечение проводника уменьшается (по направлению к месту потребления электроэнергии) или где это необходимо для обеспечения чувствительности и избирательности защиты.

3. При защите сети автоматическими выключателями и предохранителями они должны устанавливаться на всех нормально незаземленных фазах. Установка аппаратов в нулевых проводах исключается.

4. На квартирных групповых щитках предохранители и автоматические выключатели должны устанавливаться только в фазных проводах. Перед счетчиком устанавливают двухполюсный выключатель, отключающий фазный и рабочий нулевой провод ввода в квартиру.

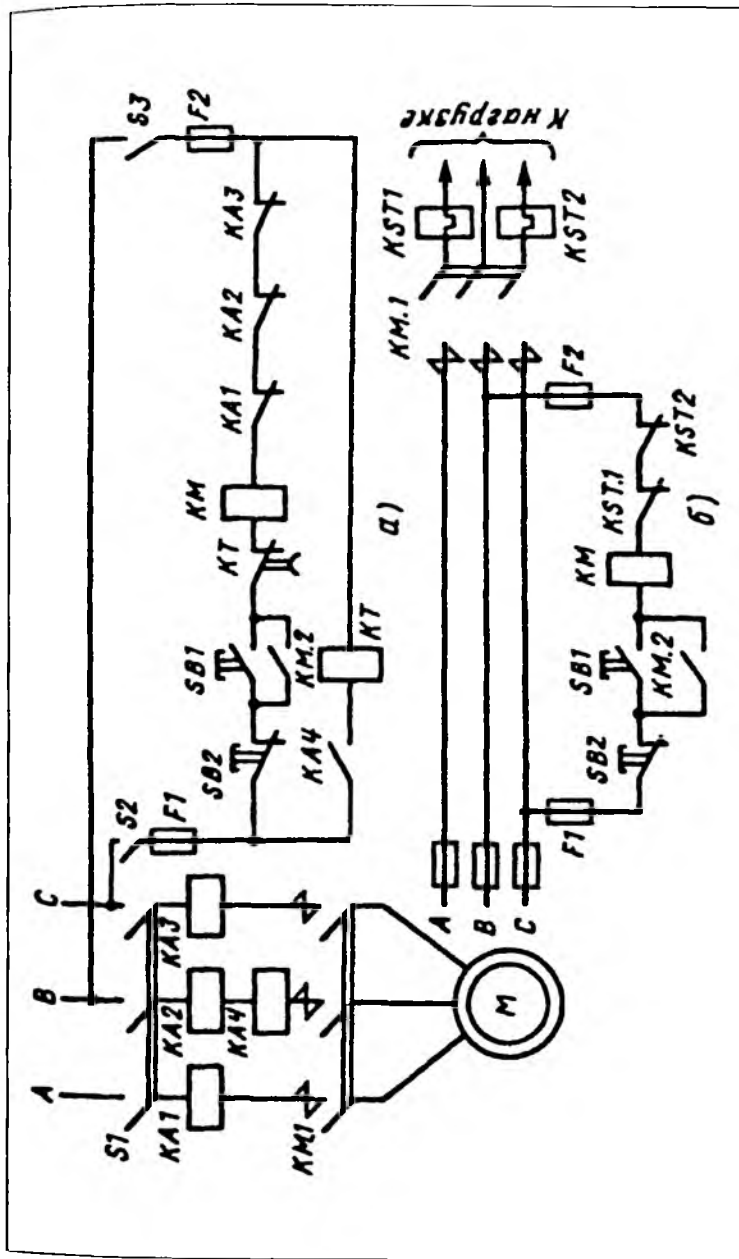


Рис. 3.1. Принципиальная схема защиты электродвигателя напряжением ниже 1 кВ:

а — от междуфазных КЗ и перегрузки; б — от перегрузки с помощью электротепловых реле

5. Допускается не устанавливать аппараты защиты:

а) в месте снижения сечения питающей линии по ее длине и на ответвлении от нее, если защита предыдущего участка линии защищает участок со сниженным сечением или если незащищенный участок линии или ответвления от нее выполнен проводниками с сечениями, составляющими не менее половины сечений защищенных участков;

б) на ответвлениях от питающей линии проводников цепей измерения, управления и сигнализации;

в) на ответвлениях проводников от шин щита к аппаратам, установленным на том же щите; при этом проводники должны выбираться по расчетному току цепи.

Выбор аппаратов защиты производится по их защитным характеристикам.

3.4. ПРИМЕРЫ СХЕМ ЗАЩИТЫ

Ниже рассмотрены примеры схем защиты электроустановок и электрических сетей напряжением 0,4 кВ жилых и общественных зданий.

На рис. 3.1, а приведена схема токовой отсечки без выдержки времени в трехфазном исполнении. Реле тока $KA1 - KA3$ включены в каждую фазу обмотки статора непосредственно. При срабатывании хотя бы одного реле размыкается соответствующий контакт $KA1 - KA3$ в цепи катушки контактора KM и электродвигатель отключается от сети [4].

Защита электродвигателя от перегрузки осуществляется токовой защитой, реагирующей на возрастание тока, а также температурной защитой. Токовая защита выполняется электромеханическими, полупроводниковыми или электротепловыми реле. Защита двигателей от перегрузки не должна срабатывать при кратковременных перегрузках, поэтому она имеет выдержку времени и может действовать на отключение, на сигнал или на разгрузку механизма двигателя.

Защиту от перегрузки устанавливают, когда, например, необходимо ограничить длительность пуска или самозапуска двигателей при пониженном напряжении.

Защита от перегрузки (рис. 3.1, б), выполняемая с помощью электромагнитных реле, содержит реле тока $KA4$ и реле времени KT .

Если защита должна отключать двигатель и при обрыве фазы, то ее выполняют двухфазной. Двухфазной должна быть защита и при наличии плавких предохранителей, используемых для защиты двигателя от КЗ.

При длительной перегрузке и при затянувшемся пуске двигателя реле времени KT успевает сработать и, размыкая контакт KT в цепи катушки контактора KM , отключить двигатель.

Условия выбора тока срабатывания реле тока:

$$I_{с.р} \geq k_{отс} k_{сх} I_{д.ном} / (k_b K_I);$$

$$I_{с.р} \leq 0,75 k_{сх} I_{п} / K_I,$$

где $k_{отс} = 1,1 \div 1,2$ — коэффициент отстройки; $k_b = 0,8$ — коэффициент возврата; K_I — коэффициент трансформации трансформатора тока.

По первому условию реле не должно срабатывать в нормальном режиме работы двигателей; по второму условию реле должно приходить в действие при пусках двигателя, если пуск затянулся: $t_{сз} = 3$ с.

Токи срабатывания полупроводниковых расцепителей автоматических выключателей для срабатывания защиты двигателей от перегрузки выбирают по приведенным выше условиям. Защита считается эффективной, если

$$I_{с.з} \leq (1,2 \div 1,4) I_{д.ном}.$$

Последнее условие не выполняется расцепителями автоматических выключателей “Электрон” из-за низкого $k_b = 0,75$ и значительного $k_{отс} = 1,3 \div 1,5$. Полупроводниковые расцепители автоматических выключателей “Электрон”, АЗ700, ВА имеют регулируемую выдержку времени 4 — 16 с при кратности тока, равной $6 I_{расц.ном}$. Это обеспечивает недействие защиты в нормальном пусковом режиме.

Защита от перегрузки, выполняемая с помощью тепловых расцепителей или электротепловых реле автоматических выключателей, получается наиболее эффективной, если $I_{расц.ном} = I_{д.ном}$.

На рис. 3.1, б показано использование электротепловых реле для защиты двигателя от перегрузки. А так как эти реле используются для защиты двигателя от работы на двух фазах, то магнитный пускатель для повышения надежности должен содержать три электротепловых реле ($KST1$, $KST2$, $KST3$). Номинальный ток электротеплового реле определяют по условию:

$$I_{р.ном} \geq I_{нг.ном} \approx I_{д.ном} / K_I,$$

где $I_{нг.ном}$ — номинальный ток сменного нагревателя электротеплового реле.

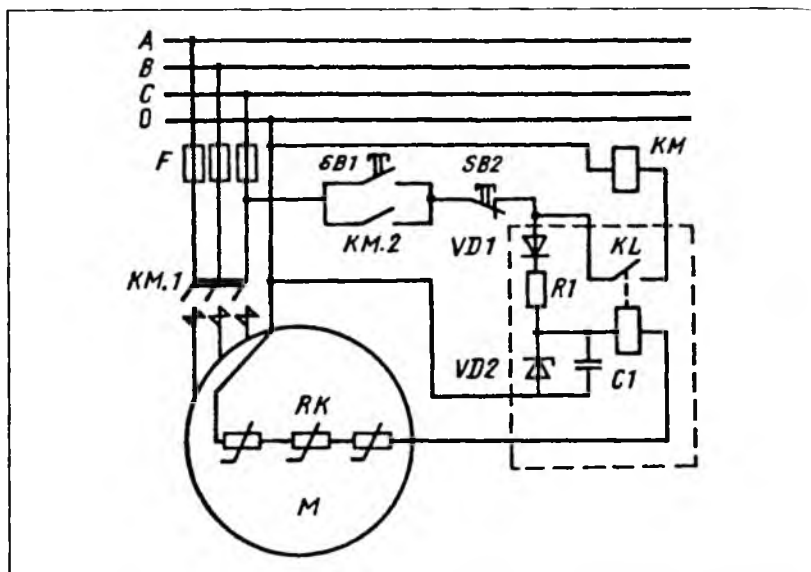


Рис. 3.2. Принципиальная схема температурной защиты электродвигателя напряжением до 1 кВ типа УВТЗ-2 с использованием терморезистора (позистора):

KL — промежуточное реле постоянного тока; *VD1*, *R1*, *VD2*, *C1* — стабилизированный выключатель; *RК* — позистор

Основными недостатками электротепловых реле являются следующие [4]:

1) при КЗ нагреватель реле может перегореть раньше, чем реле отключит электродвигатель, поэтому эту защиту устанавливают при наличии быстродействующей защиты от КЗ, например плавких предохранителей;

2) плохое согласование с тепловой перегрузочной способностью двигателей;

3) недостаточная стабильность параметров срабатывания в процессе эксплуатации (А3100).

На рис. 3.2 приведена принципиальная схема температурной защиты двигателя с использованием позистора (типа УВТЗ-2).

При допустимой температуре обмоток двигателя сопротивление позистора $R_1 = 150 \div 450$ Ом, и реле *KL* находится в положении срабатывания, т.е. его контакт *KL* замыкает цепь катушки контактора *KM*. В аварийных режимах, когда температура обмоток двигателя резко повышается, сопротивление позисторов также резко увеличивается. При этом ток в обмотке реле *KL* уменьшается, и оно возвра-

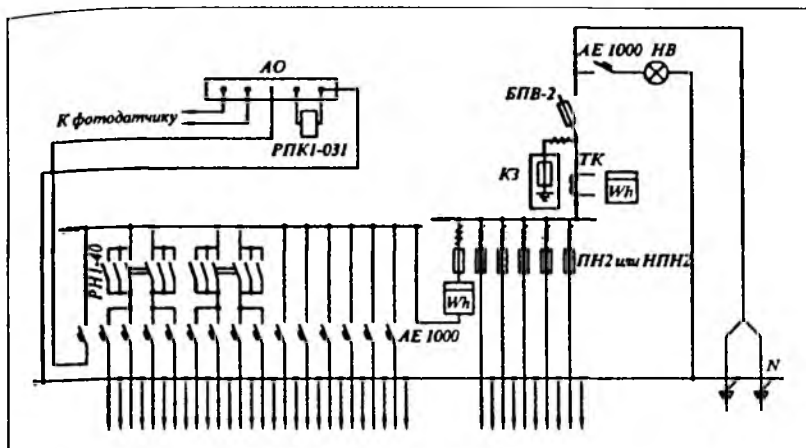


Рис. 3.3. Схема панели ВРУ на напряжение 0,4 кВ

шается в исходное состояние, размыкая цепь катушки *КМ*. Электродвигатель отключается от сети.

Устройство УВТЗ-2 является также защитой от обрыва нулевого провода в сетях 0,4 кВ. Обрыв нулевого провода недопустим по технике безопасности, так как при этом нарушается связь между корпусом электродвигателя и заземленной нейтралью, что может привести к поражению людей электрическим током. Так, при обрыве нулевого провода напряжение на обмотке реле *KL* исчезает и электродвигатель отключается от сети.

Аппаратом защиты минимального напряжения является также магнитный пускатель, или контактор, так как при напряжении менее $(0,6 \div 0,7) U_{\text{ном}}$ он автоматически отключается, и включить его можно с помощью схем управления при восстановлении напряжения в сети.

На рис. 3.3 приведена однолинейная схема панели ВРУ для ввода пи-

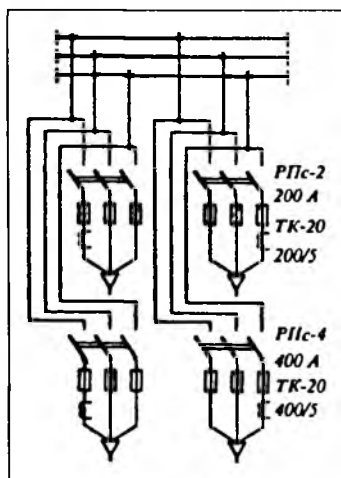


Рис. 3.4. Схема панели распределительного щита на четыре линии с рубильниками и предохранителями на напряжение 0,4 кВ

тания в жилые и общественные здания [2].

При выполнении распределительной подстанции (распределительного пункта, силового пункта, распределительного щита, шкафа и т.п.) на напряжение до 1 кВ используют стандартные панели, на которых устанавливают комплекты из рубильников с предохранителями или рубильников с автоматическими выключателями, иногда с контакторами. Схема панели распределительного щита с рубильниками и предохранителями РПС-2 и трансформаторами тока ТК-20 дана в трехфазном исполнении на рис. 3.4.

При составлении схемы распределительной подстанции (РП) нагрузки и отходящие линии подбирают таким образом, чтобы РП не получилась громоздкой и дорогостоящей, но в то же время была устойчива к токам КЗ. При линиях небольших сечений нагрузки группируют по мелким магистралям. В случае применения рубильников с предохранителями пропускную способность отходящих линий для силовой нагрузки рекомендуется принимать равной 250 и 400 А. Сечения проводов и кабелей выше 150 мм² применять не рекомендуется.

В схемах РП для силовых и осветительных сетей должно быть обеспечено отключение всей РП без нарушения работы остальных РП, питающихся от одной магистрали. Для силовых РП это достигается применением общих рубильников на вводе, причем при питании группы РП “цепочкой” каждая РП может быть отключена без нарушения работы самой цепочки.

Для потребителей, требующих более надежного электроснабжения, применяют РП с двумя рубильниками или контакторами на вводе для подключения к независимым источникам питания. Ответвления от РП защищают предохранителями или автоматическими выключателями.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Электробезопасность в жилых и общественных зданиях

4.1. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Электротравматизм вызывается следующими основными причинами: несоблюдением ПУЭ, неудовлетворительной эксплуатацией и качеством электрооборудования с точки зрения безопасности, пренебрежением требованиями ПТБ, а также случайными причинами.

Поражения электрическим током можно разделить на три вида:

а) поражения вследствие непосредственного прикосновения или недопустимого приближения к частям, находящимся под напряжением;

б) поражения, вызванные прикосновением к металлическим частям электроустановок или корпусам электроприемников, оказавшимся под напряжением в результате повреждения изоляции;

в) поражения, вызванные так называемым напряжением шага, возникающим вблизи мест повреждения электрической изоляции или мест замыкания токоведущих частей на землю.

Опасность прикосновения оценивается, как известно, током, проходящим через тело человека, I_h или напряжением, под которым он оказывается, т.е. напряжением прикосновения $U_{пр}$:

$$U_{пр} = I_h R_h,$$

где R_h — сопротивление тела человека, Ом.

Предельно допустимые значения напряжения и тока через тело человека в нормальном режиме работы электроустановки составляют: $U_{пр} = 2$ В, $I_h = 0,3$ мА для сети частотой 50 Гц и продолжительности воздействия тока на человека не более 10 мин в сутки [17]. Сопротивление тела человека принимается равным 1000 Ом при $U_{пр} \geq 50$ В и 6000 Ом при $U_{пр} = 36$ В.

На степень поражения электрическим током влияют различные факторы:

- а) длительность прохождения и величина электрического тока через тело человека;
- б) напряжение при сочетании особо неблагоприятных условий и обстоятельств;
- в) путь прохождения тока через тело человека;
- г) род тока (постоянный, переменный, выпрямленный, пульсирующий);
- д) частота;
- е) климатические условия (особенно атмосферное давление).

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов через тело человека при аварийном режиме электроустановок переменного тока частотой 50 Гц напряжением до 1000 В в зависимости от продолжительности воздействия в секундах приведены в табл. 4.1 [11].

Если при прикосновении человека к корпусу поврежденного оборудования или к фазе сети $U_{пр}$ или I_h превысят предельно допустимые значения для нормального или аварийного режима работы электроустановки, указанные выше, то возникнет угроза поражения человека электрическим током.

Эксплуатация всех видов электроустановок в жилых и общественных зданиях представляет определенную опасность для человека. Действующие электроустановки представляют не только опасность поражения человека электрическим током при прикосновении, но и пожарную опасность при КЗ, перегрузке проводов, кабелей и электроприемников, искрении и повышенном нагреве контактных соединений.

Воздействия электрического тока на организм человека можно разделить на три вида:

- тепловые (ожоги);
- механические (электролиз крови, разрыв тканей);
- биологические (поражение нервной системы).

Считают, что ток 0,1 А представляет смертельную опасность для человека. Для человека опасен как переменный, так и постоянный

Таблица 4.1. Предельно допустимые значения $U_{пр}$ и I_h

Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности воздействия, с											
	0,01 – 0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	свыше 1,0
$U_{пр}$, В	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	12
I_h , мА	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

ток; наибольшую опасность представляет переменный ток частоты 50 Гц. Причем с повышением частоты переменного тока опасность поражения уменьшается.

В зависимости от опасности поражения человека электрическим током согласно ПУЭ принята следующая классификация помещений, в которых размещаются электрооборудование и электроустановки:

а) помещения без повышенной опасности — сухие нежаркие с токопроводящими полами, без металлоконструкций, токопроводящей пыли; например, жилые, административные и другие общественные здания с деревянными, линолеумными и подобными полами;

б) помещения с повышенной опасностью — влажные (относительная влажность более 75 %), жаркие (температура выше 30 °С), с токопроводящими полами (железобетонными, металлическими, земляными), помещения, в которых имеется опасность одновременного прикосновения к металлическим конструкциям зданий и металлическим корпусам электрооборудования;

в) помещения особо опасные — особо сырые помещения, в которых полы, стены и потолок покрыты влагой (бани, прачечные и др.), в которых относительная влажность воздуха близка к 100 %; помещения с химически активной средой, воздействующей на изоляцию. Кроме того, к особо опасным относятся и такие помещения, в которых существуют одновременно два и более признаков повышенной опасности.

Опасность поражения человека электрическим током возникает и при эксплуатации распределительных трансформаторных подстанций (РТП), которые питают, например, жилой микрорайон. В состав РТП обычно входят следующие устройства:

распределительное устройство высокого напряжения (10 кВ) РУВН;

распределительное устройство низкого напряжения (0,4 кВ) РУНН;

силовые трансформаторы мощностью 630 кВ · А, напряжением 10/0,4 кВ.

Распределительное устройство ВН включает в себя следующее электрооборудование:

1) шинные конструкции, которые представляют собой неизолированные провода — шины с большой площадью поперечного сечения, для крепления которых используют фарфоровые опорные изоляторы;

2) выключатели ВН, например малообъемные масляные выключатели типа ВМП-10 с электромагнитным приводом типа ПЭ-11 (на выкатных тележках);

3) измерительные трансформаторы тока и напряжения.

На РТП устанавливают обычно комплектные распределительные устройства (КРУ-10), при обслуживании которых необходимо руководствоваться не только ПТЭ и ПТБ, но и инструкциями на КРУ и установленное в них оборудование.

Распределительное устройство НН включает в себя следующее электрооборудование:

1) рубильники, пакетные выключатели и переключатели, кнопки и ключи управления;

2) контакторы, магнитные пускатели, воздушные выключатели (автоматы) и предохранители.

В качестве РУНН применяют силовые пункты (шкафы) различных серий, в которые встраивается все необходимое оборудование на 0,4 кВ.

В РТП используют силовые понижающие трансформаторы, скомпонованные в комплектные трансформаторные подстанции.

Потенциальную опасность поражения электрическим током в электроустановках РТП могут представлять:

неизолированные шинные конструкции и высоковольтные выключатели, находящиеся под напряжением;

измерительные ТТ, первичная обмотка которых включена в высоковольтную сеть, а к вторичной обмотке не подключена нагрузка; в этом случае на вторичной обмотке ТТ имеет место большое напряжение (до десятков киловольт);

переносное электрооборудование (электроинструмент, испытатели напряжения, лампы и др.);

силовые трансформаторы 10/0,4 кВ.

Кроме опасности от работающего электрооборудования имеет место опасность напряжения шага, которая увеличивается, если человек, подвергшийся его воздействию, падает, так как при этом напряжение шага возрастает вследствие того, что путь тока проходит уже не через ноги, а через все тело. Наиболее опасны напряжения шага при ударе молнии.

Другой величиной, характеризующей степень опасности, возникающей при однофазных замыканиях, служит напряжение прикосновения (это та часть напряжения, которая приходится на тело человека в цепи замыкания). Для человека опасно только значение напряжения прикосновения, а не полное напряжение по отношению к земле.

В сетях 6 – 10 кВ, которые относятся к сетям с изолированной нейтралью, наиболее частыми повреждениями являются однофазные замыкания на землю. В этих сетях преобладает емкостная проводимость по отношению к земле.

Ток замыкания на землю I_3 зависит от системы сети, ее мощности, протяженности, места замыкания и сопротивления цепи замыкания. Ток однофазного замыкания на землю, А:

$$I_3 = 3I_c = 3U_{\phi\omega} C10^{-6}.$$

Емкостной ток замыкания на землю, А, для кабельных линий 6 – 10 кВ:

$$I_3 \approx UI_k/10,$$

где U — линейное напряжение, кВ; l_k — длина кабельных линий, км.

Как показывает статистика, наиболее часты поражения электрическим током, вызванные непосредственным прикосновением к частям, находящимся под напряжением.

4.2. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗАЩИТ ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Современная система электробезопасности должна обеспечивать защиту человека в жилых и общественных зданиях в следующих случаях [12]:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования (1 на рис. 4.1);
- при косвенном прикосновении (2 на рис. 4.1).

Предельно допустимые значения переменного тока частотой 50 Гц через тело человека в аварийном режиме бытовых электроустановок не должны превышать следующих значений:

t, c	0,01	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	>1,0
I, mA	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2	

Главное правило защиты от поражения электрическим током: основные токоведущие части не должны быть доступными, а доступные проводящие части не должны быть опасными:

- в нормальных условиях;
- при наличии неисправности.

Требования к защитным мерам в отношении обеспечения безопасности в значительной мере зависят от режима нейтрали сети и связанных с этим условий, возникающих при однофазных замыканиях.

Наиболее распространенными являются сети и оборудование на 6 – 10 и 0,4 кВ. В первом случае нейтраль изолируется от земли, во втором — имеет место глухое заземление нейтрали. Глухое заземление нейтрали устраняет опасные последствия перехода ВН на сторо-

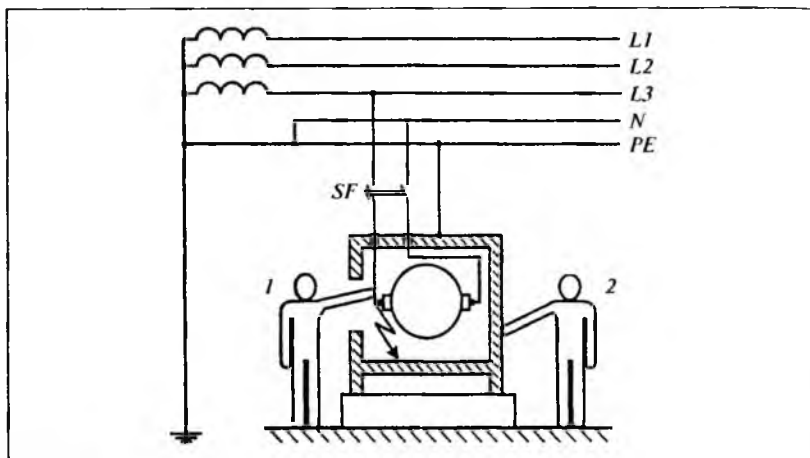


Рис. 4.1. Прямое (1) и косвенное (2) прикосновения

ну НН, которые могут возникнуть из-за повреждения изоляции между обмотками силового трансформатора или вследствие падения провода ВН на провод НН. Кроме того, глухое заземление нейтрали предотвращает повышение напряжения проводов по отношению к земле сверх 250 В, что необходимо для осуществления питания от этих сетей осветительных электроприемников.

В сетях с изолированной нейтралью напряжением 6 — 10 кВ обеспечение безопасности при однофазных замыканиях возлагается в основном на заземление. Устройство защитного заземления является основной защитной мерой и представляет собой преднамеренное соединение с землей металлических частей электроустановки, которые могут оказаться под напряжением при повреждении изоляции сетей или электроприемников. Заземление осуществляется посредством металлических электродов (труб, стержней, уголков, полос), располагаемых в земле и имеющих назначение создать электрическое соединение с землей. Эти электроды называют заземлителями, их соединение с заземляемыми частями электроустановки осуществляется с помощью заземляющих защитных проводников. Совокупность заземлителей и заземляющих проводников представляет собой заземляющее устройство.

Исключительно важной защитной мерой служит выравнивание потенциалов в пределах установки или ее отдельных частей. В ряде случаев без выравнивания потенциалов обеспечить безопасность персонала вообще невозможно. Выравнивание потенциалов приме-

няется совместно с системами заземления, зануления и другими защитными мерами.

Заземлитель, предназначенный для выравнивания потенциалов, состоит из стальных вертикальных стержней, соединенных горизонтальными стальными полосами. Чем меньше расстояния между отдельными элементами заземлителя, тем лучше выравниваются потенциалы земли на занимаемой им площади при однофазных замыканиях и тем ниже напряжения шага $U_{\text{ш}}$ и прикосновения $U_{\text{пр}}$.

Опыт эксплуатации показывает, что для обеспечения безопасной и безаварийной работы электроустановок наряду с совершенным их исполнением и оснащением средствами защиты необходимо так организовать их эксплуатацию, чтобы исключить возможность ошибок со стороны обслуживающего персонала. Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие устройства должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы вызываемые нормальными режимами работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или другие сопутствующие ее работе явления не могли привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ или замыканий на землю, а также причинить вред обслуживающему персоналу.

Часто встречающимися на практике вариантами включения человека в цепь переменного тока являются следующие:

а) между двумя фазами сети — *двухфазное прикосновение*, которое относится к наиболее опасным для человека, так как к нему прикладывается линейное напряжение $U_{\text{л}}$, а ток I_h оказывается не зависящим от схемы сети, режима ее нейтрали и других факторов, т.е.

$$I_h = \frac{U_{\text{л}}}{R_h} = \frac{\sqrt{3}U_{\Phi}}{R_h},$$

где R_h — электрическое сопротивление человека;

б) между фазой и землей — *однофазное прикосновение*, которое хотя и менее опасно, но возникает наиболее часто; при этом в трехфазной четырехпроводной сети с глухим заземлением нейтрали и ее модификацией (для зданий — это системы *TN-C*, *TN-S*, *TN-C-S*, *TT* [10])

$$I_h = \frac{U_{\Phi}}{R_h}.$$

Сопrotивление изоляции проводов относительно земли принимается равным нулю.

В сетях с изолированной нейтралью приходится считаться с возникновением неотключаемых замыканий на землю. Сами по себе однофазные замыкания в этих сетях опасности поражения не вызывают (если соблюдать требования Правил в отношении заземления). Однако за время, которое может пройти до момента их устранения, увеличивается опасность поражения при прикосновении к токоведущим частям, а также не исключается возможность возникновения второго замыкания на землю в другой фазе той же сети, чему способствует увеличение напряжения неповрежденных фаз по отношению к земле в $\sqrt{3}$ раз. При двойных замыканиях на заземленных частях могут возникнуть опасные напряжения, являющиеся причиной тяжелых повреждений.

Для своевременного обнаружения однофазных замыканий и предотвращения перехода в двухфазное необходимо эффективный контроль изоляции. В сетях с изолированной нейтралью применение зануления не допускается из-за возможности появления недопустимых потенциалов на корпусах электроприемников при эксплуатации.

В сетях напряжением до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью в качестве основной защитной меры применяется зануление корпусов электрооборудования. Наличие заземленной нейтрали дает возможность обеспечить безопасность путем отключения аварийного участка. Это достигается путем соединения корпусов электроприемников с заземленной нейтралью трансформатора. Такое соединение (зануление) создает при всяком замыкании на заземленные части замкнутую металлическую цепь КЗ, отключаемую защитой. В этих сетях нельзя применять заземление электроприемников без соединения их корпусов с нейтралью.

Система зануления может выполнять свои функции только при соблюдении следующих условий:

- необходимо иметь достаточно большое значение тока КЗ для надежного отключения аварийного участка;
- необходимо обеспечить безопасность в течение времени от момента замыкания до срабатывания защиты, а также при обрыве нулевого провода;
- нельзя допускать установку или замену створевших плавких вставок и термореле автоматических выключателей на токи, большие, чем требуется по условиям защиты и пусковым токам;
- защита автоматическими выключателями и предохранителями должна устанавливаться во всех трех фазах.

Следует подчеркнуть, что в сетях до и выше 1 кВ заземления практически не разделяются.

Статистика показывает, что подавляющее число случаев электротравматизма вызывается нарушениями требований Правил техники безопасности, а не недостатками защитных мер. Во всех случаях основными должны быть мероприятия, предупреждающие опасность поражения электрическим током: применение надежного электрооборудования, контроль, поддержание на требуемом уровне изоляции, дисциплина персонала и знание ПТЭ, ПТБ, ПУЭ.

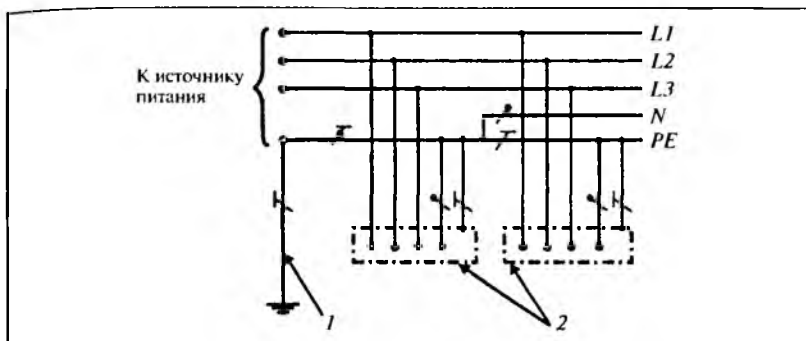


Рис. 4.2. Система *TN-C-S* переменного тока:

I — заземлитель нейтрали источника переменного тока; *2* — открытые проводящие части (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике в части системы)

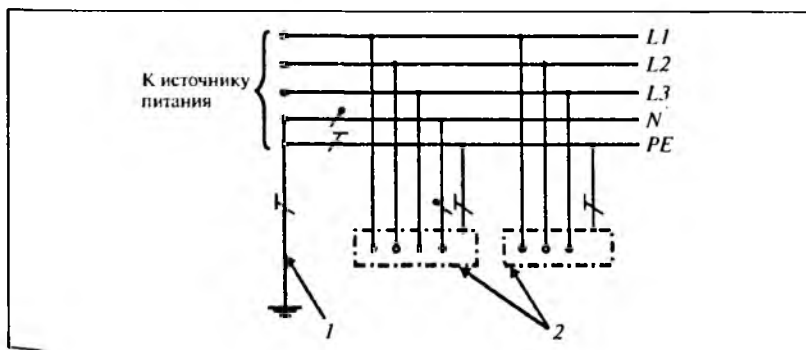


Рис. 4.3. Система *TN-S* переменного тока:

I — заземлитель нейтрали источника переменного тока; *2* — открытые проводящие части (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены)

В качестве основной защиты от *прямого прикосновения* применяют

- изоляцию токоведущих частей;
- ограждения, оболочки, барьеры;
- расположение вне зоны досягаемости.

Дополнительная защита — устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от *косвенного прикосновения* применяют:

- УЗО;
- нулевые защитные проводники в электроустановках зданий с системой заземления *TN* в комплексе с устройствами защиты от сверхтока (предохранителями, автоматическими выключателями).

В ПУЭ 7-го издания [13] требования к выполнению *групповых* сетей сформулированы следующим образом. Питание электроприемников должно выполняться от сети 380/220 В с системой заземления *TN-S* или *TN-C-S* (рис. 4.2 и 4.3). Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (с фазным — *L*, нулевым рабочим — *N*, нулевым защитным — *PE* проводниками).

Не допускается объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий.

Нулевой рабочий *N* и нулевой защитный *PE* проводники не допускается подключать под общий контактный зажим.

Ранее во всем мире применялась система *зануления*, основанная на соединении нетокведущих частей (корпусов) оборудования с землей и заземленной нейтралью источника. В настоящее время зануление действует в ограниченном количестве электроустановок, однако его рассматривают как составную часть комплекса мероприятий под названием “защита с помощью автоматического отключения источника питания”.

В системе *TN-C-S* в вводно-распределительном устройстве электроустановки совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник *PEN* разделен на нулевой защитный *PE* и нулевой рабочий *N* проводники.

Нулевой защитный проводник *PE* соединен со всеми открытыми проводящими частями и может быть *многократно заземлен*, а нулевой рабочий проводник *N* *не должен иметь соединения с землей*.

Наиболее перспективной для России является система *TN-C-S*, позволяющая в комплексе с широким внедрением УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции.

В электроустановках с системами заземления $TN-S$ и $TN-C-S$ электробезопасность потребителя обеспечивается не собственно системами, а УЗО, действующими более эффективно с этими системами заземления и системой уравнивания потенциалов.

Для обеспечения условий электробезопасности в конкретной электроустановке важное значение имеет *система уравнивания потенциалов*.

Правила МЭК предусматривают подсоединение всех подлежащих заземлению проводников к общей шине. Это позволяет избежать протекания различных токов (непредсказуемых циркулирующих) в системе заземления, вызывающих возникновение разности потенциалов на отдельных элементах электроустановки (рис. 4.4 и 4.5).

ПУЭ 7-го издания [13] предписывают устройство основной и дополнительной системы уравнивания потенциалов.

На вводе в здание должна быть выполнена система уравнивания потенциалов путем объединения следующих проводящих частей:

- основного (магистрального) защитного проводника;
- основного (магистрального) заземляющего проводника;
- стальных труб коммуникаций зданий и между зданиями;
- металлических частей строительных конструкций, молниезащиты, системы центрального отопления, вентиляции и кондиционирования.

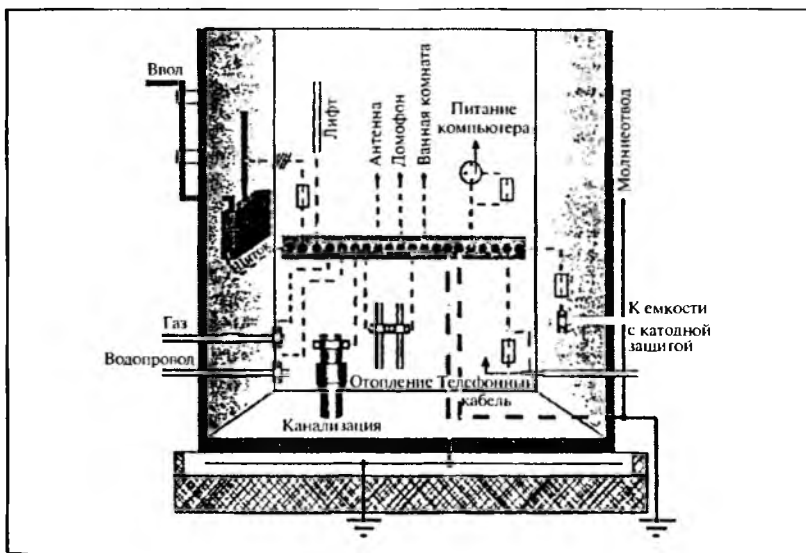


Рис. 4.4. Пример выполнения системы выравнивания потенциалов

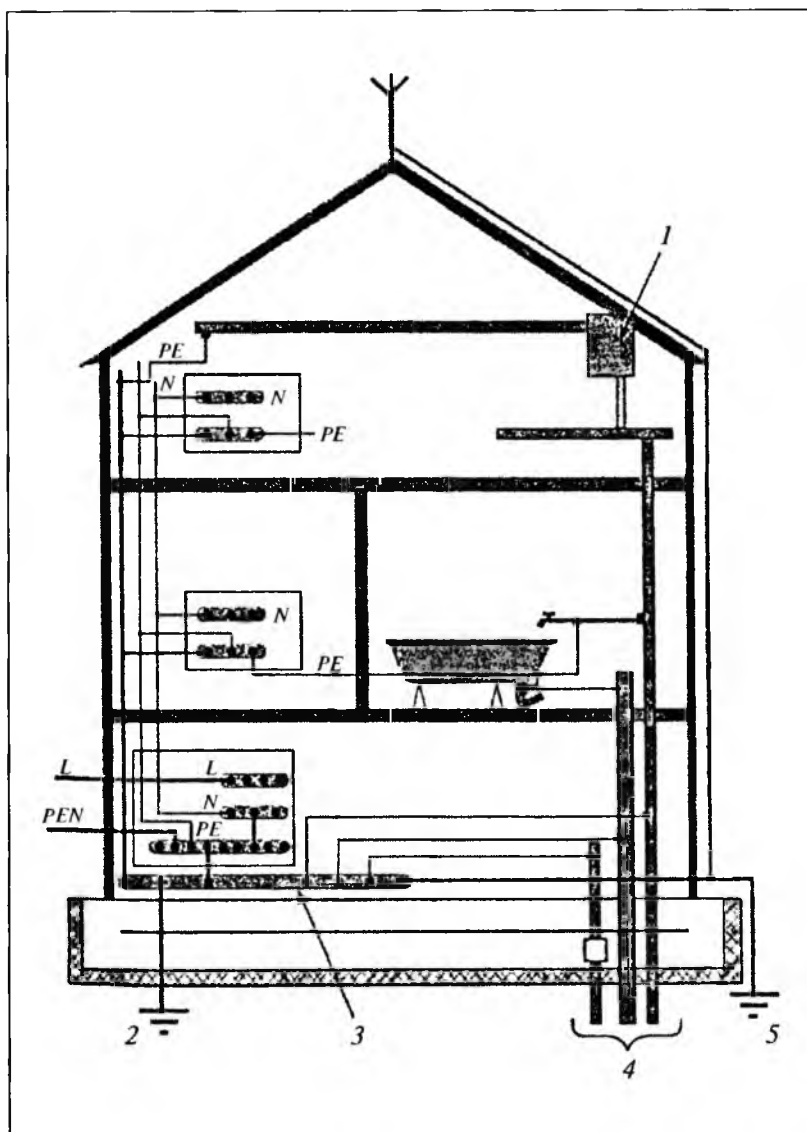


Рис. 4.5. Пример выполнения уравнивания потенциалов в электроустановке здания с системой *TN-C-S*:

1 — водонагреватель; 2 — естественный заземлитель (арматура фундамент здания); 3 — главная заземляющая шина; 4 — металлические трубы водопровода, канализации, газа; 5 — заземлитель молниезащиты

По ходу передачи электроэнергии рекомендуется выполнять дополнительные системы уравнивания потенциалов.

К дополнительной системе уравнивания потенциалов должны быть подключены все доступные прикосновению открытые проводящие части стационарных электроустановок, сторонние проводящие части и нулевые защитные проводники всего электрооборудования (в том числе штепсельных розеток).

Более подробные сведения об основной и дополнительной системах уравнивания потенциалов приведены в [13] и других нормативных документах [16 – 25].

Следует отметить, что в связи с повышением оснащенности современных жилых, общественных и производственных зданий различными электроприборами, развитием электроустановок имеет место ускоренная коррозия трубопроводов систем водоснабжения и отопления. Основная причина этого явления — протекание по ним блуждающих токов.

Применение УЗО в комплексе с правильно выполненной системой уравнивания потенциалов позволяет ограничить и даже исключить протекание по проводящим элементам конструкции здания, в том числе и по трубопроводам токов утечки и блуждающих токов [26 – 28].

4.3. РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Как указывалось выше, для обеспечения безопасности обслуживания электроустановок их заземляют (защитное заземление). В противном случае человек, прикоснувшийся, например, к корпусу двигателя в момент, когда произошло замыкание на корпус одной из фаз статорной обмотки при отсутствии защитного заземления, попадает под линейное напряжение. Для того чтобы правильно выбрать заземляющее устройство, необходимо сделать соответствующие расчеты. Пример такого расчета приведен ниже [9].

Пример. Требуется рассчитать заземление РТП, состоящей из РУ 10 кВ, совмещенного с двухтрансформаторной подстанцией КТП 2 × 630 (10/0,4 кВ). Наибольший ток через заземление при замыкании на землю на стороне 10 кВ составляет 25 А, грунт в месте сооружения — суглинок, климатическая зона 3, естественные заземлители не используют.

Р е ш е н и е. Предполагается сооружение заземлителя с внешней стороны здания РТП с расположением вертикальных электродов по периметру.

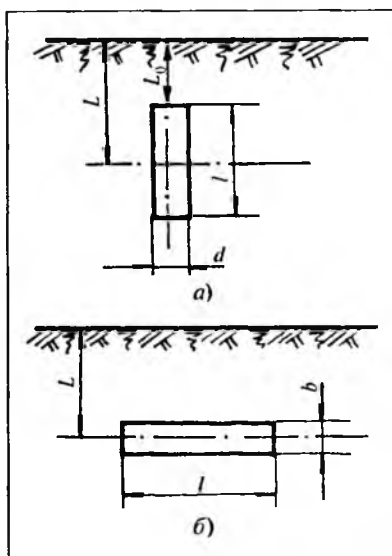


Рис. 4.6. К примеру расчета заземлителя: а — одиночный вертикальный заземлитель; б — горизонтальный протяженный электрод; L_0 — расстояние от уровня земли до верхнего конца электрода; L — расстояние от уровня земли до горизонтальной оси электрода; l — длина электрода; d — диаметр электрода; b — ширина полосы

В качестве вертикальных заземлителей принимаем стальные стержни диаметром 15 мм и длиной 2 м, которые погружают в грунт методом ввертывания. Верхние концы электродов располагают на глубине 0,7 м от поверхности земли. К ним приваривают горизонтальные электроды стержневого типа из той же стали, что и вертикальные электроды (рис. 4.6).

1) В соответствии с ПУЭ сопротивление заземляющего устройства для стороны 10 кВ определяем по формуле

$$R_3 \leq \frac{U_p}{I_p},$$

где $U_p = 125$ В, так как заземляющее устройство используется одновременно для установок до и выше 1 кВ.

С учетом исходных данных R_3 составляет 5 Ом.

Сопротивление заземляющего устройства для электроустановок напряжением до 1 кВ не должно быть больше 4 Ом, поэтому за расчетное сопротивление принимаем $R_3 = 4$ Ом.

2) Предварительно, с учетом площади, занимаемой объектом, намечаем расположение заземлителей — по периметру с расстоянием между вертикальными электродами 4 м.

3) Сопротивление искусственного заземлителя при отсутствии естественных заземлителей принимаем равным допустимому сопротивлению заземляющего устройства $R_{\text{и}} = R_3 = 4 \text{ Ом}$.

4) Определяем расчетные удельные сопротивления грунта для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\rho_{\text{р.г}} = \rho_{\text{уд}} k_{\text{п.г}} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{\text{р.в}} = \rho_{\text{уд}} k_{\text{п.в}} = 100 \cdot 1,4 = 140 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

где $\rho_{\text{уд}}$ — удельное сопротивление грунта (суглинок) $100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $k_{\text{п.в}}$ и $k_{\text{п.г}}$ — повышающие коэффициенты для вертикальных и горизонтальных электродов, принятые для климатической зоны 3.

5) Сопротивление растеканию одного вертикального электрода стержневого типа определяем по формуле

$$R_{\text{о.в.э}} = \frac{\rho_{\text{р.в}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \\ = \frac{140}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \left(\ln \frac{2 \cdot 2}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1,7 + 2}{4 \cdot 1,7 - 2} \right) = 64,92 \text{ Ом}.$$

6) Определяем примерное число вертикальных заземлителей при предварительно принятом коэффициенте использования $k_{\text{и.в}} = 0,64$ (отношение расстояния между электродами к их длине равно 2, ориентировочное число вертикальных электродов в соответствии с планом объекта составляет 15):

$$N = \frac{R_{\text{о.в.э}}}{k_{\text{и.в}} R_{\text{и}}} = \frac{64,92}{0,64 \cdot 4} = 25,4 \approx 26.$$

7) Определяем расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов по формуле

$$R_{\text{р.г.э}} = \frac{\rho_{\text{р.г}}}{k_{\text{и.г}} 2\pi l} \ln \frac{l^2}{dt} = \frac{200}{0,31 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 60} \ln \frac{60^2}{0,016 \cdot 0,708} = 21,66 \text{ Ом}.$$

8) Уточняем необходимое сопротивление вертикальных электродов

$$R_{\text{в.э}} = \frac{R_{\text{р.г.э}} R_{\text{и}}}{R_{\text{р.г.э}} - R_{\text{и}}} = \frac{21,66 \cdot 4}{21,66 - 4} = 4,9 \text{ Ом}.$$

9) Определяем число вертикальных электродов при коэффициенте использования $k_{и.в.у} = 0,61$, принятом при $N = 20$ и $a/l = (p/20)/2 = 1,5$, где $p = 60$ м — периметр контура расположения электродов:

$$N = \frac{R_{0.в.у}}{k_{и.в.у} R_{в.э}} = \frac{64,92}{0,61 \cdot 4,9} = 21,7.$$

Окончательно принимаем к установке 22 вертикальных электрода, расположенных по контуру РУ.

4.4. УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Обычно защита человека от поражения электрическим током при косвенном прикосновении к поврежденной установке осуществляется путем отключения ее предохранителями или автоматическими выключателями. Но эти защиты не реагируют на малые токи утечки, возникающие в начале развития повреждения в сети, а также при обрыве нулевого проводника. В этих случаях единственным средством защиты человека от косвенного прикосновения является УЗО, обеспечивающее быстрое (за долю секунды) отключение установки от сети.

Одним из действенных способов повышения электробезопасности при эксплуатации электроустановок и приборов в жилых и общественных зданиях является применение устройств защитного отключения, управляемых дифференциальным током (УЗО-Д). Это устройство представляет собой коммутационный аппарат, который при достижении (превышении) дифференциальным током заданного значения, при определенных условиях эксплуатации должен вызвать размыкание контактов. УЗО-Д нашли широкое применение в европейских странах, где в эксплуатации находятся около шестисот миллионов УЗО, установленных в жилых и общественных зданиях. Опыт эксплуатации УЗО доказал их высокую эффективность как средства защиты от токов при повреждениях.

Из всех известных электрозащитных средств УЗО является:

- единственным, обеспечивающим защиту человека от поражения электрическим током в случае прямого прикосновения к токоведущим частям;
- способным осуществлять защиту от возгораний и пожаров, возникающих вследствие неисправности электрооборудования или электропроводки и приводящих к КЗ.

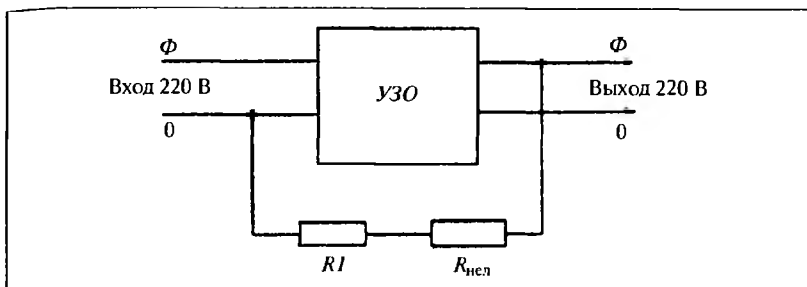


Рис. 4.7. Принципиальная схема включения УЗО для защиты от скачков напряжения в сети:

$R_{нел}$ — сопротивление нелинейное; $R1$ — активное сопротивление; УЗО с отключающим дифференциальным током 30 мА

При малых токах замыкания, снижении уровня изоляции, а также при обрыве нулевого защитного проводника зануление недостаточно эффективно, поэтому в этих условиях УЗО является единст-

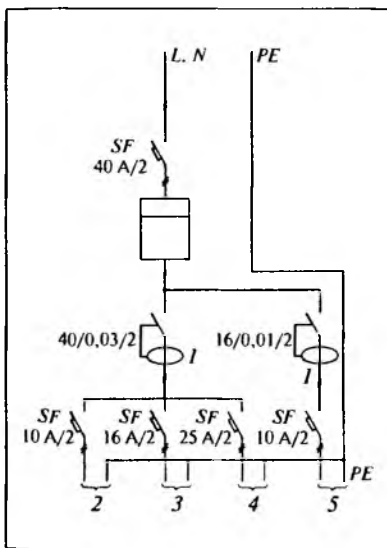


Рис. 4.8. Принципиальная схема электроснабжения квартиры с системой TN-S:

1 — УЗО; 2 — цепь освещения; 3 — розеточная цепь; 4 — электроплита; 5 — сантехкабина

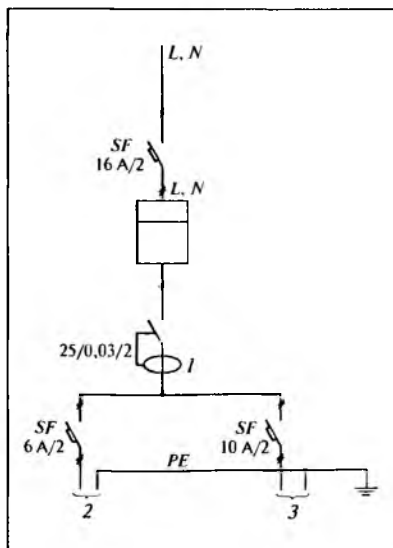


Рис. 4.9. Принципиальная схема электроснабжения мобильного здания с системой заземления TT:

1 — УЗО; 2 — цепь освещения; 3 — розеточная цепь

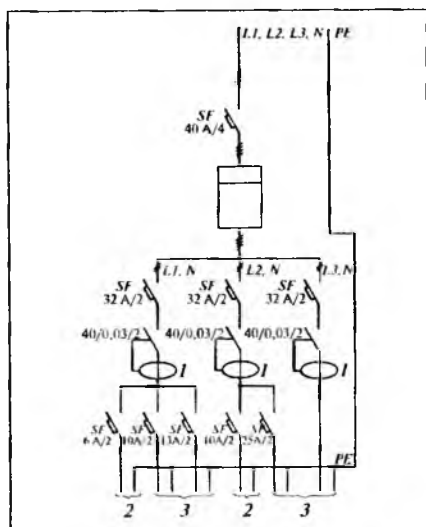


Рис. 4.10. Принципиальная схема электроснабжения здания с трехфазным вводом: 1 — УЗО; 2 — цепь освещения; 3 — розеточные цепи

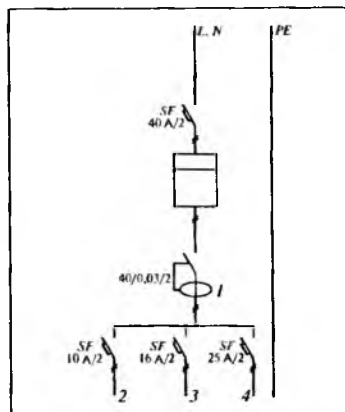


Рис. 4.11. Схема электроснабжения квартиры при отсутствии защитного проводника PE в розеточной цепи и цепи освещения (рекомендуемое временное решение для старого жилого фонда): 1 — УЗО; 2 — цепь освещения; 3 — розеточная цепь; 4 — электроплита

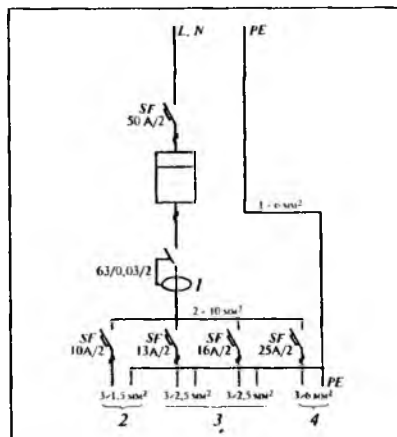


Рис. 4.12. Схема электроснабжения квартиры с электроплитой с рекомендуемыми сечениями медных проводников (TN-S):

1 — УЗО; 2 — цепь освещения; 3 — розеточные цепи; 4 — электроплита

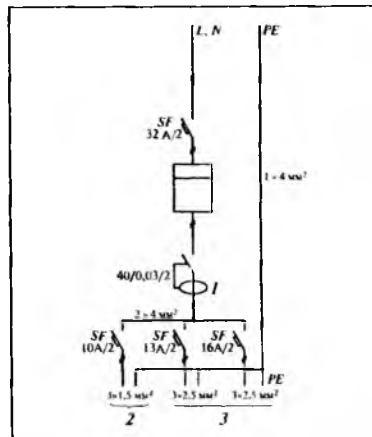


Рис. 4.13. Схема электроснабжения квартиры с газовой плитой с рекомендуемыми сечениями медных проводников (TN-S):

1 — УЗО; 2 — цепь освещения; 3 — розеточные цепи

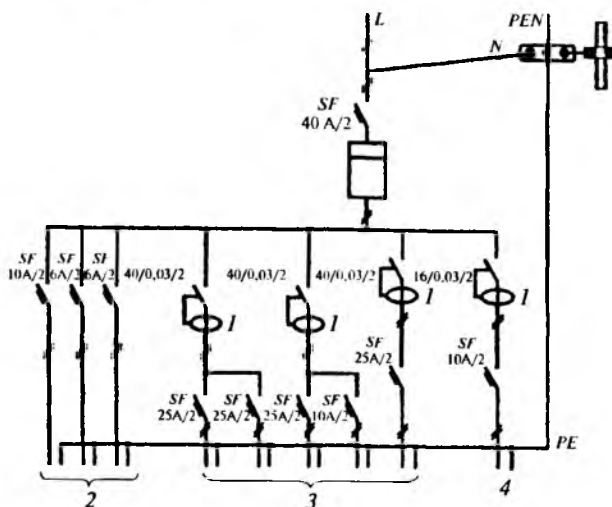
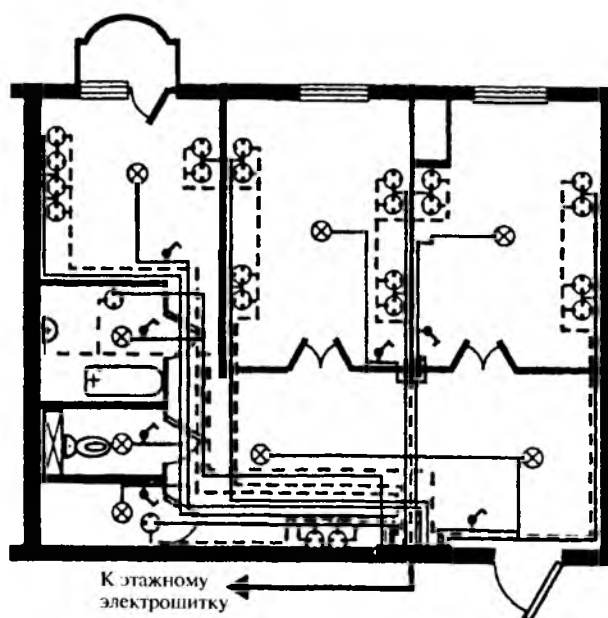


Рис. 4.14. Пример электроснабжения двухкомнатной квартиры повышенной комфортности (TN-C-S):

1 — УЗО; 2 — освещение; 3 — розеточные цепи; 4 — ванная комната

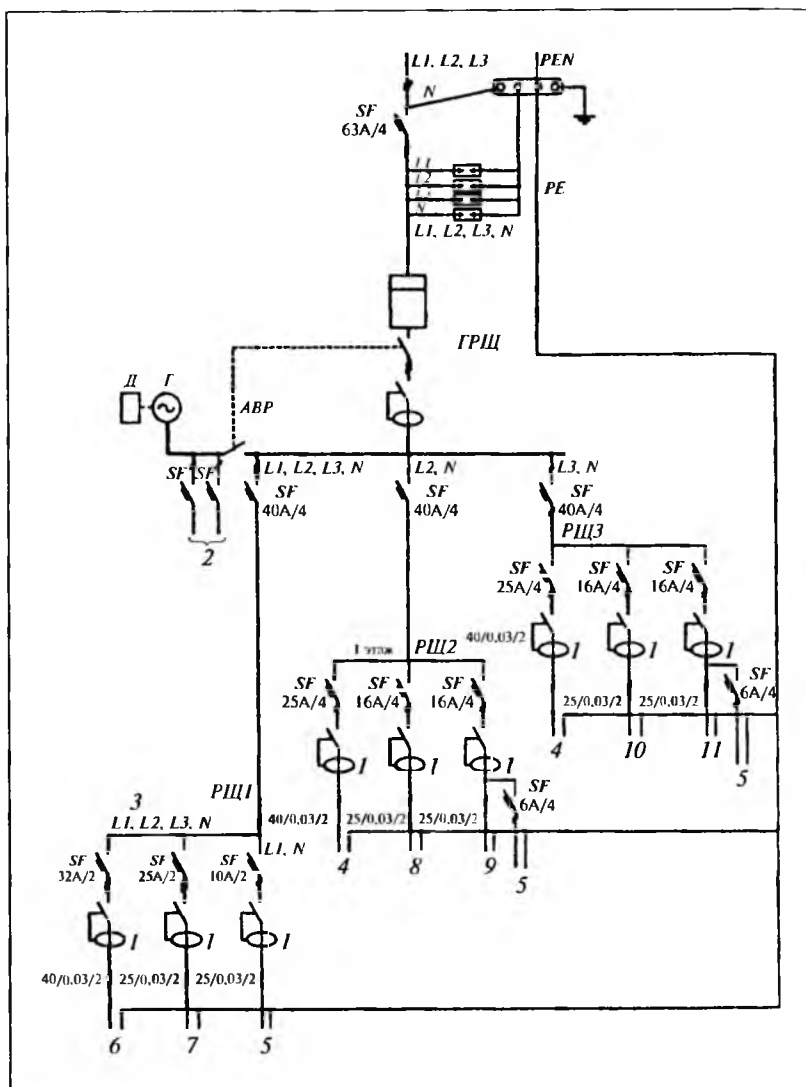


Рис. 4.15. Схема электроснабжения коттеджа с системой *TN-C-S*. При большом количестве групповых цепей рекомендуется применение этажных распределительных щитов — РЩ1, РЩ2, РЩ3, а также применение защиты от грозовых перенапряжений — ОПН:

1 — УЗО; 2 — аварийное освещение, сигнализация; 3 — цокольный этаж; 4 — розетки; 5 — освещение; 6 — гараж; 7 — котел; 8 — кухня; 9 — ванна; 10 — электрокамин; 11 — спальня

венным средством защиты человека от поражения электрическим током [12].

Кроме того, УЗО заблаговременно, до возникновения КЗ, отключает электроустановку от источника питания (УЗО противопожарного назначения с уставкой 30 мА).

В рекламных проспектах некоторых российских фирм, а также зарубежных фирм УЗО со встроенной защитой от сверхтоков часто называют “дифференциальным автоматом” или “дифференциальным выключателем”. Это название ошибочное, оно не соответствует российским стандартам и появилось в результате неправильного перевода иностранного термина.

По данным Министерства промышленности и энергетики России, за последнее десятилетие электротравматизм в быту удвоился. В настоящее время в России частота смертельного электротравматизма в жилых зданиях примерно в 30 — 100 раз превышает ее среднее значение в 20 странах, правила, нормы и стандарты которых соответствуют комплексу стандартов МЭК “Электроустановки зданий”.

В настоящее время идет увеличение нагрузок в электроустановках зданий в связи с широким применением электробытовой техники, а электроустановки зданий стареют вместе с жилым фондом.

Кроме своего основного назначения, указанного выше, УЗО может использоваться для защиты от скачков напряжения в сети (рис. 4.7). Принцип действия состоит в том, что при увеличении напряжения свыше 270 В возникает дифференциальный ток, протекающий через нелинейное сопротивление $R_{\text{нел}}$, что приводит к отключению УЗО.

На рис. 4.8 — 4.15 приведены различные схемы электроустановок зданий с применением УЗО.

4.5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕЛЕКТИВНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ УЗО

По условиям функционирования УЗО подразделяют на следующие типы:

- 1) АС — устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный дифференциальный ток, возникающий внезапно либо медленно возрастающий;
- 2) А — устройство защитного отключения, реагирующее на переменный синусоидальный и пульсирующий постоянный дифференциальные токи, возникающие внезапно либо медленно возрастающие;

3) В — устройство защитного отключения, реагирующее на переменный, постоянный и выпрямленный дифференциальные токи;

4) S — устройство защитного отключения, селективное (с выдержкой времени отключения);

5) G — то же, что и тип S, но с меньшей выдержкой времени.

Источником пульсирующего тока являются, например, стиральные машины с регуляторами скорости, регулируемые источники света, телевизоры, видеомagniетофоны, персональные компьютеры и др.

В жилых зданиях, как правило, должны применяться УЗО типа А, реагирующие не только на переменные, но и на пульсирующие токи повреждений.

Практически все персональные компьютеры, телевизоры, видеомagniетофоны имеют импульсные блоки питания; все последние модели электроинструмента, стиральных и швейных машин, бытовых кухонных электроприборов снабжены тиристорными регуляторами без разделительного трансформатора. Широко применяются различные светильники — торшеры, бра с тиристорными светорегуляторами. Следовательно, вероятность возникновения утечки пульсирующего постоянного тока, а значит, и поражения человека значительно возросла, что явилось причиной для внедрения УЗО типа А.

УЗО устанавливают [12]:

- во ВРУ, расположенных в помещениях без повышенной опасности поражения током, в местах, доступных для обслуживания;
- в групповых цепях электроустановок зданий, где имеет место наибольшая вероятность электропоражения людей при прикосновении к токоведущим или открытым проводящим частям электрооборудования, которые могут из-за повреждения изоляции оказаться под напряжением (розеточные группы, ванные, душевые комнаты, стиральные машины и др.);
- на главном вводе объекта для осуществления противопожарной защиты;
- в многоквартирных жилых домах в групповых, в том числе в квартирных щитках; допускается их установка в этажных распределительных щитках; в индивидуальных домах — во ВРУ и этажных распределительных щитках.

В схемах электроснабжения радиального типа со значительным количеством отходящих групп рекомендуется установка общего на вводе и отдельного УЗО на каждую группу при условии соответствующего выбора параметров УЗО, обеспечивающих селективность их действия.

Для обеспечения селективной работы нескольких УЗО в радиальных схемах электроснабжения необходимо учитывать следующие факторы [12]:

а) в силу очень высокого быстродействия УЗО практически невозможно обеспечить селективность действия УЗО по току утечки при значениях уставок на соседних ступенях защиты, например 10 и 30 мА или 30 и 300 мА;

б) на практике утечка тока в электроустановке вовсе не обязательно плавно увеличивается по мере старения изоляции, появления мелких дефектов и т.п. Возможны пробой изоляции или ее серьезное повреждение, когда ток утечки мгновенно достигает значения, превышающего уставки устройств на обеих ступенях защиты. При этом возможно срабатывание любого из УЗО, установленных последовательно в цепи;

в) селективность работы УЗО может быть обеспечена применением УЗО с задержкой срабатывания (УЗО с индексами “S” и “G”).

УЗО с индексом “S” имеют выдержку времени от 0,13 до 0,5 с, с индексом “G” — меньшую выдержку времени.

Важно учесть, что УЗО, работающие с выдержкой времени, дольше находятся под воздействием экстремальных токов, поэтому к ним предъявляются повышенные требования по условному току короткого замыкания I_{nc} , термической и динамической стойкости, коммутационной способности и т.п.

На рис. 4.16 приведены времятоковые характеристики УЗО без выдержки времени с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n} = 30$ мА и УЗО с выдержкой времени (характеристика “S”) с номинальным отключающим дифференциальным током $I_{\Delta n} = 300$ мА.

Времятоковые характеристики УЗО показывают принцип селективности действия УЗО обычного типа и УЗО типа “S”.

Во Франции широко практикуется применение селективных УЗО как весьма эффективное противопожарное мероприятие. На главном вводе в распределительном щите электроустановки, как правило, устанавливают УЗО противопожарного назначения типа “S” с номинальным отключающим дифференциальным током 300 или 500 мА.

На рис. 4.17 приведены примеры схем с двумя и тремя уровнями селективности.

Как правило, УЗО применяются вместе с автоматическими воздушными выключателями (автоматами) или плавкими предохранителями, селективность действия которых также надо обеспечивать в системах электроснабжения.

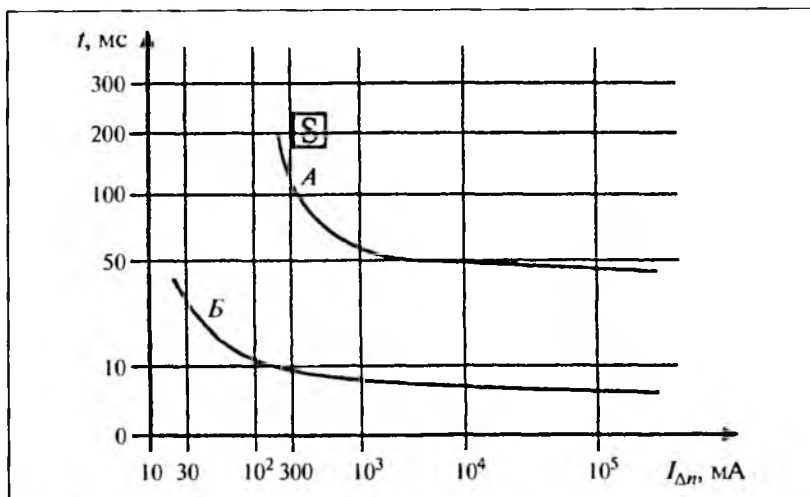


Рис. 4.16. Времятоковые характеристики УЗО:

А — характеристика УЗО типа "S", $I_{\Delta n} = 300$ мА; Б — характеристика УЗО общего применения, $I_{\Delta n} = 30$ мА

Если в сети установлено несколько последовательно включенных предохранителей (рис. 4.18), то при КЗ, например, в точке K_2 плавкая вставка предохранителя $F2$ должна разорвать дугу раньше, чем плавкая вставка предохранителя $F1$. Это возможно в том случае, если защитная характеристика 1 плавкой вставки предохранителя $F1$ расположена выше защитной характеристики 2 плавкой вставки предохранителя $F2$ во всем диапазоне токов, проходящих по защищаемой цепи при перегрузках и при КЗ.

Для получения селективного действия большинства типов предохранителей необходимо исходить из следующего:

- 1) для последовательно установленных одностипных низковольтных предохранителей следует выбирать плавкие вставки с номинальными токами, различающимися на две ступени шкалы;
- 2) для разнотипных предохранителей плавкие вставки выбирают с номинальными токами, различающимися больше чем на две ступени шкалы, для сохранения требуемой чувствительности.

Однако, как показал опыт эксплуатации, такое согласование низковольтных предохранителей не всегда обеспечивает их селективную работу. Это связано с тем, что фактическое время отключения предохранителя может отличаться от полученного по его защитной характеристике.

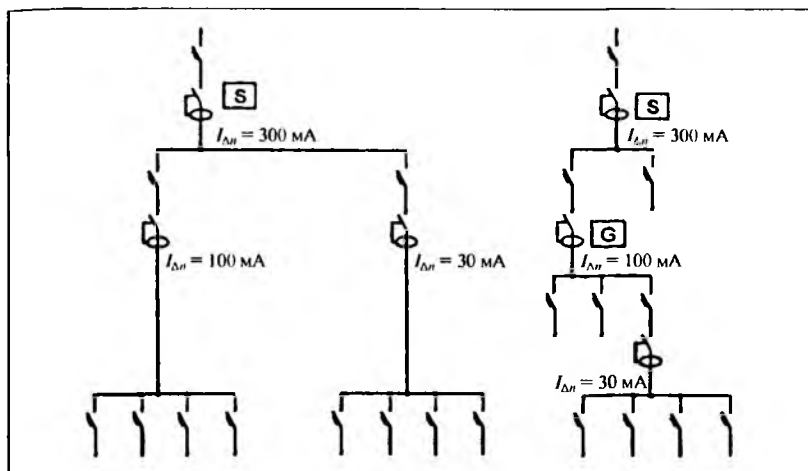


Рис. 4.17. Примеры схем с двумя и тремя уровнями селективности

Селективность обеспечивается при больших кратностях тока, если $t_{пр1} \geq 3t_{пр2}$ (см. рис. 4.18); здесь $t_{пр1}$ относится к $F1$, а $t_{пр2}$ к $F2$.

Селективность обеспечивается также, если согласовывать номинальные токи плавких вставок по следующему выражению [30]:

$$I_{\text{вс.ном1}} \geq 1,26 I_{\text{вс.ном2}}.$$

Для обеспечения селективного отключения последовательно установленных автоматических выключателей защитные характе-

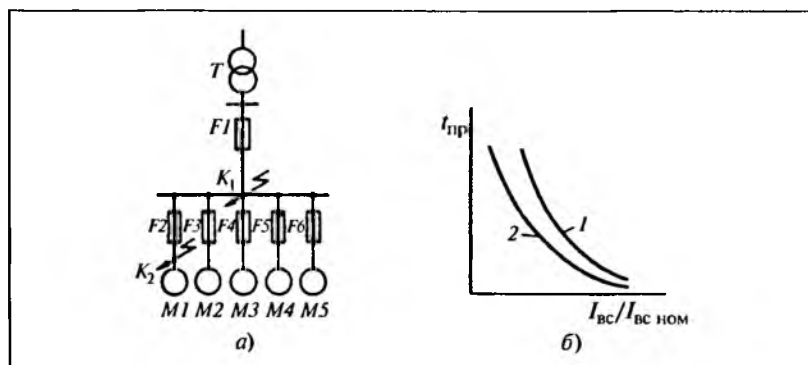


Рис. 4.18. Защита предохранителями радиальной сети с односторонним питанием

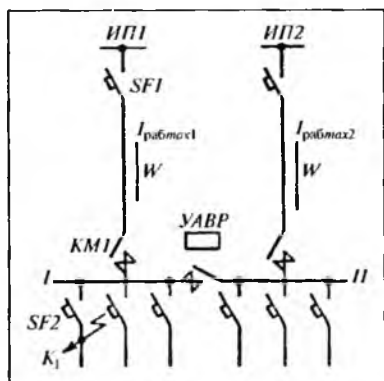


Рис. 4.19. Защита сети расцепителями автоматических выключателей

ристики их расцепителей не должны пересекаться, причем уставки тока у расцепителя выключателя $SF1$, расположенного ближе к источнику питания, должны быть больше, чем у расцепителя автомата $SF2$ (рис. 4.19). При согласовании защитных характеристик среднюю погрешность действия расцепителей принимают равной $\pm 20\%$ независимо от типа автоматического выключателя [31]. В этом случае для любого значения тока перегрузки и тока КЗ селективность обеспечивается при

$$t_{с.з1} \geq t_{с.з2}$$

В сетях напряжением до 1 кВ необходима селективность при совместной работе автоматических выключателей и плавких предохранителей. При этом ближе к источнику питания может находиться как выключатель, так и предохранитель. В первом случае селективного действия всегда можно достичь, используя селективный автоматический выключатель. Селективность обеспечивается и при неселективном выключателе, если ток наибольшей уставки отсечки выше, чем ток КЗ при повреждении за предохранителем. Во втором случае, когда ближе к источнику находится предохранитель, требования к селективности такие же, как и при согласовании между собой защитных характеристик предохранителей.

Следует отметить, что условие $t_{нр1} \geq 3t_{нр2}$ получено для максимальных погрешностей в работе предохранителей $\Delta t_{нр} \geq 0,5t_{нр}$. Однако для обеспечения селективности считается достаточным исходить из средней погрешности $\Delta t_{нр} = \pm 0,25t_{нр}$. Это тем более допустимо при согласовании защитной характеристики предохранителя с защитной характеристикой расцепителя автоматического выключателя. При этом селективность обеспечивается, если $\Delta t_{нр} \geq 1,7t_{с.з}$.

По сравнению с предохранителями автоматические выключатели имеют определенные преимущества: в нормальном режиме и при любых видах КЗ они производят отключение всех трех фаз, тем самым исключаются неполнофазные режимы; они являются аппаратами многократного действия, что позволяет с их помощью выполнить схемы сетевой автоматики (УАПВ, УАВР); расцепители автоматических выключателей являются более совершенными защитными устройствами, чем плавкая вставка предохранителя.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Пример расчета

5.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

На рис 5.1 приведен генеральный план жилого района, а в табл. 5.1 — установленная мощность коммунально-бытовых потребителей. Необходимо определить расчетную и общую нагрузку этих потребителей.

5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В основе расчета используется нагрузка одного потребителя, в качестве которого выступает квартира. Расчетная электрическая на-

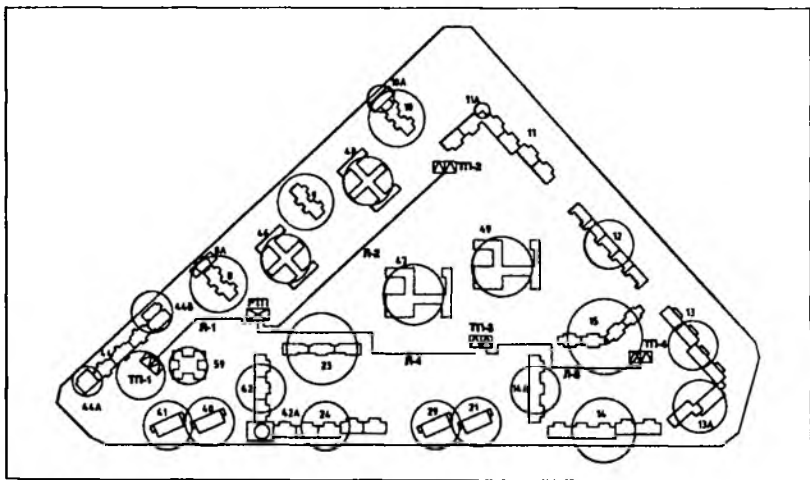


Рис. 5.1. Генеральный план жилого района

Таблица 5.1. Нагрузки коммунально-бытовых потребителей

Номер корпуса	Наименование потребителя	Этажность	Единица измерения	Вместимость F , м ² (площадь)	Удельный показатель	$\cos \varphi / \lg \varphi$	Количество лифтов	$P_{\text{усг}}$, кВт	$k_{\text{сд}}$
44	Жилой дом	9	Квартира	180	0,45	0,92/0,42	6	11	0,55
44А	Гастроном	—	м ² торг.пл.	377	0,11	0,75/0,88	—	—	—
44Б	Промтоварный магазин	—	м ² торг.пл.	1000	0,08	0,85/0,62	—	—	—
41	Жилой дом	16	Квартира	111	0,88	0,92/0,42	2	9; 11	1,0
40	Жилой дом	16	Квартира	111	0,88	0,92/0,42	2	9; 11	1,0
59	Детский сад	—	Место	160	0,40	0,96/0,29	—	—	—
42А	Парикмахерская	—	Кресло	9	1,3	0,97/0,25	—	—	—
42	Жилой дом	9	Квартира	105	0,88	0,92/0,42	3	11	0,75
8	Жилой дом	16	Квартира	125	0,88	0,92/0,42	4	9; 11	0,90
8А	Молочно-раздаточный пункт	—	Объект/м ²	1	10	0,90/0,48	—	—	—
24	Жилой дом	9	Квартира	173	0,45	0,92/0,42	5	11	0,55
23	Жилой дом	16	Квартира	223	0,82	0,92/0,42	6	9; 11	0,75
46	Детский сад	—	Место	280	0,40	0,96/0,29	—	—	—

9	Жилой дом	16	Квартира	125	0,88	0,92/0,42	4	9; 11	0,90
29	Жилой дом	16	Квартира	111	0,88	0,92/0,42	2	9; 11	1,0
47	Школа	—	Место	1176	0,14	0,95/0,33	—	—	—
48	Детский сад	—	Место	280	0,40	0,96/0,29	—	—	—
21	Жилой дом	16	Квартира	111	0,88	0,92/0,42	2	9; 11	1,0
14А	Жилой дом	9	Квартира	103	0,88	0,92/0,42	3	11	0,75
49	Школа	—	Место	1176	0,14	0,95/0,33	—	—	—
10	Жилой дом	16	Квартира	125	0,88	0,92/0,42	4	9; 11	0,90
10А	Гастроном	—	м ² торг. пл.	300	0,11	0,75/0,88	—	—	—
11	Жилой дом	12	Квартира	360	0,88	0,92/0,42	6	11	0,75
11А	Сбербанк	—	Объект	1	10	0,90/0,48	—	—	—
14	Жилой дом	9	Квартира	172	0,88	0,92/0,42	5	11	0,55
15	Жилой дом	17	Квартира	250	0,82	0,92/0,42	8	9; 11	0,65
12	Жилой дом	9	Квартира	180	0,45	0,95/0,42	5	11	0,55
13А	Жилой дом	16	Квартира	118	0,88	0,92/0,42	4	9; 11	0,90
13	Жилой дом	9	Квартира	154	0,45	0,92/0,42	4	11	0,65

грузки одной квартиры жилых домов в зависимости от числа квартир равна:

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} n,$$

где $P_{\text{кв}}$ — расчетная нагрузка дома квартирного типа; n — число квартир; $P_{\text{кв.уд}}$ — удельная нагрузка, соответствующая числу квартир, кВт/кв.

Значения нагрузок являются приведенными — они установлены с учетом коэффициента одновременности в зависимости от числа квартир и являются справочными данными.

Силовую нагрузку общедомовых приемников электрической энергии, включая лифты, определяют отдельно, с учетом соответствующих коэффициентов спроса и мощности. В результате расчетную нагрузку жилого дома, который не имеет встроенных учреждений, определяют как сумму нагрузки квартир и силовой нагрузки общедомовых приемников:

$$P_{\text{ж.д}} = P_{\text{кв}} + k \Sigma P_{\text{с}},$$

где $P_{\text{ж.д}}$ — нагрузка жилого дома; $P_{\text{с}}$ — силовая нагрузка общедомовых установок; k — коэффициент, учитывающий участие мощности силовых установок в максимуме нагрузки квартир, равный 0,9.

В свою очередь, силовая нагрузка для лифтовых установок равна:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{л}} = k_{\text{с.л}} \sum_{i=1}^m P_{\text{уст}i},$$

где $k_{\text{с.л}}$ — расчетный коэффициент спроса для лифтовых установок, определяемый по справочным данным; m — количество лифтов; $P_{\text{уст}i}$ — установленная мощность электродвигателя лифта, кВт.

Полную расчетную нагрузку жилого дома определяют по формуле

$$S_{\text{ж.д}} = P_{\text{кв}} / \cos \varphi_{\text{ж.д}} + 0,9 \Sigma P_{\text{кв}} / \cos \varphi_{\text{с}},$$

где $\cos \varphi_{\text{ж.д}}$ и $\cos \varphi_{\text{с}}$ — коэффициенты мощности, характеризующие нагрузку квартир и общедомовых приемников соответственно.

Кроме домов в жилых районах городов располагаются учреждения и предприятия общественно-коммунального характера, нагрузку которых определяют, как правило, индивидуально в процессе

разработки проектов их внутреннего электрооборудования. Нагрузки определяют с использованием коэффициента спроса.

В результате (например, при наличии в жилом доме встроенного предприятия или учреждения) расчетная нагрузка жилого дома получается равной:

$$\Sigma P_{\text{ж.д}} = P_{\text{ж.д}} + k P_{\text{общ}},$$

где $\Sigma P_{\text{ж.д}}$ — суммарная нагрузка жилого дома и встроенного предприятия в максимуме нагрузки жилого дома; $P_{\text{общ}}$ — нагрузка предприятия.

Суммарные расчетные активные и реактивные нагрузки в целом по жилому району определяют суммированием соответствующих нагрузок объектов (см. табл. 5.1, 5.2).

Пример расчета (дом № 44)

$$P_{\text{кв}} = P_{\text{кв.уд}} n = 0,45 \cdot 180 = 81 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{с}} = k_{\text{с.л}} \sum_{i=1}^m P_{\text{уст}i} = 0,55(6 \cdot 11) \approx 36 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{ж.д}} = P_{\text{кв}} + 0,9 P_{\text{с}} = 81 + 0,9 \cdot 36 = 116,4 \approx 116 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р.ж.д}} = P_{\text{кв}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ж.д}} + 0,9 P_{\text{с}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{с}} = 81 \cdot 0,42 + 0,9 \cdot 36 \cdot 1,3 \approx 76 \text{ квар.}$$

Здесь n — количество квартир; m — количество лифтов;

$$\begin{aligned} S_{\text{ж.д}} &= P_{\text{кв}} / \cos \varphi_{\text{ж.д}} + 0,9 P_{\text{с}} / \cos \varphi_{\text{с}} = \\ &= 81/0,92 + 0,9 \cdot 36/0,6 \approx 142 \text{ кВ} \cdot \text{А}. \end{aligned}$$

Пример расчета (гастроном № 44А)

$$P_{\text{р}} = P_{\text{р.уд}} F = 0,11 \cdot 377 \approx 41 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \operatorname{tg} \varphi = 41 \cdot 0,88 \approx 36 \text{ квар};$$

$$S_{\text{р}} = P_{\text{р}} / \cos \varphi = 41/0,75 \approx 55 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

где $P_{\text{р.уд}}$ — удельный показатель из табл. 5.1; F — вместимость, м^2 торговой площади, из табл. 5.1.

Остальные объекты жилого района рассчитываются аналогично.

Таблица 5.2. Определение расчетных нагрузок потребителей по району в целом

Номер корпуса	Наименование потребителя	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВт · А
44	Жилой дом	116	76	142
44А	Гастроном	41	36	55
44Б	Промтоварный магазин	80	50	94
41	Жилой дом	116	64	136
40	Жилой дом	116	64	136
59	Детский сад	64	19	67
42А	Парикмахерская	12	3	12
42	Жилой дом	115	68	138
8	Жилой дом	142	88	174
8А	Молочно-раздаточный пункт	10	5	11
24	Жилой дом	105	68	130
46	Детский сад	112	32	117
9	Жилой дом	142	88	173
23	Жилой дом	223	129	266
29	Жилой дом	116	64	136
47	Школа	165	54	173
48	Детский сад	112	32	117
21	Жилой дом	116	64	136
14А	Жилой дом	113	67	136
49	Школа	165	54	173
10	Жилой дом	142	88	174
10А	Гастроном	33	29	44
11	Жилой дом	361	191	419
11А	Сбербанк	10	5	11
14	Жилой дом	179	99	210
15	Жилой дом	252	147	301
12	Жилой дом	108	69	133
13А	Жилой дом	136	86	167
13	Жилой дом	95	63	118
	Итого:	3497	1902	3981

5.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ НАГРУЗКИ ЖИЛОГО РАЙОНА В ЦЕЛОМ

Расчетную мощность жилого района определяют по расчетным активным и реактивным нагрузкам потребителей с учетом расчетной нагрузки освещения территории жилого района.

Если электроснабжение жилого района предусматривает только электроснабжение общественных зданий непрямого назначения (жилые дома, предприятия торговли, учебные учреждения, предприятия бытового обслуживания населения и др.), то компенсация реактивной мощности не требуется.

Суммарные расчетные активные и реактивные нагрузки жилого района по результатам расчетов, приведенных в табл. 5.2, равны:

$$\sum_{i=1}^n P_{pi} = 3497 \text{ кВт}; \quad \sum_{i=1}^n Q_{pi} = 1902 \text{ квар.}$$

Суммарная расчетная нагрузка осветительных приемников (территории жилого района) составляет $\sum_{i=1}^n P_{p,oi} = 60 \text{ кВт}$.

Полная расчетная мощность жилого района равна:

$$S_p = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n P_{pi} + \sum_{i=1}^n P_{p,oi} \right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_{pi} \right)^2} = \\ = \sqrt{(3497 + 60)^2 + 1902^2} = 4033 \text{ кВт} \cdot \text{А},$$

где n — количество корпусов.

5.4. КАРТОГРАММА НАГРУЗОК, ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ ПОДСТАНЦИИ

Для определения мест размещения РТП и ТП при проектировании системы электроснабжения на генеральный план жилого района наносится картограмма нагрузок, которая представляет собой размещенные на генеральном плане окружности, причем площади, ограниченные этими окружностями, в выбранном масштабе равны расчетным нагрузкам потребителей. Для каждого потребителя наносится своя окружность, центр которой совпадает с центром нагру-

зок потребителя. Площадь круга в определенном масштабе равна расчетной нагрузке соответствующего потребителя P_i :

$$P_i = \pi r_i^2 m.$$

Из этого выражения определяют радиус окружности:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi m}},$$

где P_i — мощность i -го потребителя; m — масштаб для определения площади круга; $\pi = 3,14$.

Считается, что нагрузка распределена равномерно, если центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей электропотребителя (жилой дом, школу и др.) в плане.

При построении картограммы необходимо знать расчетные нагрузки потребителей (принимают из табл. 5.2). Принимаем масштаб $m = 0,05$ кВт/мм².

Расчетные значения r_i приведены в табл. 5.3.

Для определения места размещения РТП находят центр электрических нагрузок отдельно для активной и реактивной нагрузок (табл. 5.3), так как питание активных и реактивных нагрузок производится от разных источников.

На генеральный план жилого района произвольно наносят оси координат, центры электрических нагрузок определяют следующим образом:

$$X_{0a} = \frac{\sum_i P_{pi} X_i}{\sum_i P_{pi}}; \quad Y_{0a} = \frac{\sum_i P_{pi} Y_i}{\sum_i P_{pi}};$$

$$X_{0p} = \frac{\sum_i Q_{pi} X_i}{\sum_i Q_{pi}}; \quad Y_{0p} = \frac{\sum_i Q_{pi} Y_i}{\sum_i Q_{pi}},$$

где X_{0a} , Y_{0a} (X_{0p} , Y_{0p}) — координаты центра активных (реактивных) нагрузок жилого района; X_i , Y_i — координаты центра нагрузок i -го потребителя; P_{pi} (Q_{pi}) — расчетная активная (реактивная) нагрузка i -го потребителя.

Таблица 5.3. Определение центра электрических нагрузок активной и реактивной мощности

Номер корпуса	P_{pi} , кВт	Q_{pi} , квар	r_i , мм	X_i , м	Y_i , м	$P_{pi} \cdot X_i$, кВт · м	$P_{pi} \cdot Y_i$, кВт · м	$Q_{pi} \cdot X_i$, квар · м	$Q_{pi} \cdot Y_i$, квар · м
44	116	76	27	80	660	9280	76 560	6080	50 160
44А	41	36	16	70	720	2870	29 520	2520	25 920
44Б	80	50	22	144	650	11 520	52 000	7200	32 500
41	116	64	27	22	630	2552	73 080	1408	40 320
40	116	64	27	28	590	3248	68 440	1792	37 760
59	64	19	20	88	614	5632	39 296	1672	11 666
42А	12	3	9	16	540	192	6480	48	1620
42	115	68	27	64	540	7360	62 100	4352	36 720
8	142	88	30	174	570	24 708	81 792	15 312	50 160
8А	10	5	8	194	584	1940	5840	970	2920
24	105	68	26	16	462	1680	48 510	1088	31 416
23	223	129	38	108	476	24 084	106 148	4104	61 404
46	112	32	27	200	510	22 400	57 120	6400	16 320
9	142	88	30	260	480	36 920	68 160	22 880	42 240
29	116	64	27	20	346	2320	40 136	1280	22 144

Номер корпуса	P_{pi} , кВт	Q_{pi} , квар	r_i , мм	X_i , м	Y_i , м	$P_{pi} \cdot X_i$, кВт · м	$P_{pi} \cdot Y_i$, кВт · м	$Q_{pi} \cdot X_i$, квар · м	$Q_{pi} \cdot Y_i$, квар · м
47	165	54	32	162	358	26 730	59 070	8748	19 332
48	112	32	27	284	410	31 808	45 920	9088	13 120
21	116	64	27	24	306	2784	35 496	1536	19 584
14A	113	67	27	60	246	6780	28 596	4020	16 482
49	165	54	32	190	264	31 350	43 500	10 260	14 256
10	142	88	30	350	380	49 700	53 960	30 800	33 440
10A	33	29	14	370	398	12 210	13 134	10 730	11 542
11	361	191	48	304	280	109 744	101 080	58 064	53 480
11A	10	5	8	360	296	3600	2960	1800	1480
14	179	99	34	16	170	2864	30 430	1584	16 830
15	252	147	40	110	174	27 720	43 848	16 170	25 578
12	108	69	26	214	158	23 112	17 064	14 766	10 902
13A	136	86	29	40	60	540	8160	3440	5160
13	95	63	25	104	70	9880	6650	6552	4410
Итого:	3497	1902	—	—	—	500 426	1 305 050	254 664	708 866

В нашем случае:

$$X_{0a} = \frac{500\,426}{3497} = 143 \text{ м}; \quad Y_{0a} = \frac{1\,305\,050}{3497} = 373 \text{ м};$$

$$X_{0p} = \frac{254\,664}{1902} = 134 \text{ м}; \quad Y_{0p} = \frac{708\,866}{1902} = 373 \text{ м}.$$

Координаты X_{0a} и Y_{0a} определяют рациональное место расположения питающей подстанции. Если по каким-либо причинам питающую подстанцию нельзя расположить в центре электрических нагрузок, то окончательно этот вопрос решается, исходя из конкретных условий проектируемого (реконструируемого) объекта.

Таблица П1.1. Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых домов, кВт/квартира

Потребители электроэнергии	Число квартир														
	1 — 3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000	
Квартиры с плитами:															
на природном газе	3	2,3	1,75	1,45	1,3	1,15	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,45	0,43	0,4	
на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и на твердом топливе	4	2,6	2	1,65	1,5	1,35	1,15	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,5	
электрическими (мощностью до 8 кВт)	7	3,5	2,8	2,4	2,15	2	1,8	1,5	1,3	1,15	1	0,9	0,85	0,8	
Домики на участках садоводческих товариществ	2,6	1,5	1,1	0,9	0,75	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,38	0,35	0,33	0,3	
Квартиры с плитами на природном газе и бытовыми кондиционерами воздуха при расчетной температуре, °С:															
от 25 до 29	4,1	2,9	2,2	1,8	1,63	1,45	1,25	0,95	0,8	0,65	0,5	0,36	0,33	0,3	
свыше 29 до 33	4,1	3,05	2,35	2	1,8	1,6	1,4	1,1	0,95	0,75	0,55	0,45	0,4	0,3	
свыше 33 до 37	4,1	3,15	2,5	2,15	1,95	1,75	1,55	1,2	1,05	0,9	0,7	0,55	0,43	0,4	
свыше 37	4,1	3,3	2,7	2,35	2,15	1,95	1,7	1,4	1,25	1,05	0,8	0,65	0,53	0,45	
Квартиры с плитами на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и на твердом топливе с бытовыми кондиционерами воздуха при расчетной температуре, °С:															
от 25 до 29	5,1	3,2	2,45	2	1,8	1,65	1,4	1,15	1	0,85	0,75	0,6	0,55	0,42	
свыше 29 до 33	5,1	3,35	2,6	2,2	2	1,8	1,55	1,3	1,15	0,95	0,8	0,7	0,63	0,46	
свыше 33 до 37	5,1	3,45	2,75	2,35	2,15	1,95	1,7	1,4	1,25	1,1	0,95	0,8	0,7	0,5	
свыше 37	5,1	3,6	2,95	2,55	2,35	2,15	1,85	1,6	1,45	1,25	1,05	0,9	0,75	0,55	

Потребители электроэнергии	Число квартир													
	1 — 3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
Квартиры с электрическими плитами мощностью до 8 кВт и бытовыми кондиционерами воздуха при расчетной температуре, °С:														
от 25 до 29	8,1	4,1	3,25	2,85	2,5	2,3	2,05	1,65	1,4	1,2	1	0,8	0,75	0,7
свыше 29 до 33	8,1	4,25	3,4	3,05	2,65	2,45	2,2	1,8	1,55	1,3	1,05	0,9	0,82	0,75
свыше 33 до 37	8,1	4,35	3,55	3,2	2,8	2,6	2,35	1,9	1,65	1,45	1,2	1	0,9	0,8
свыше 37	8,1	4,5	3,75	3,4	3	2,8	2,5	2,1	1,85	1,6	1,3	1,1	0,95	0,85

Примечания: 1. Все значения величин с предложениями "от" и "до" следует понимать включительно.

2. Удельные расчетные нагрузки для промежуточного числа квартир определяются интерполяцией.

3. Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир общей площадью до 55 м². При общей площади квартир более 55 м² удельную нагрузку следует увеличивать на 1 % на каждый 1 м² дополнительной площади в домах с плитами на природном газе и на 0,5 % в домах с электрическими плитами и плитами на твердом топливе и сжиженном газе. При этом увеличение удельной нагрузки не должно превышать 25 % значений, приведенных в таблице.

4. Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений. Для выбора приборов учета и аппаратов защиты общедомовых потребителей суммарную расчетную нагрузку освещения общедомовых помещений рекомендуется определять по формуле, кВт:

$$P_{\text{р.о.п}} = (P_{\text{р.л.к}} + P_{\text{р.л.х}} + P_{\text{р.к}} + P_{\text{р.в}}) + 0,5 P_{\text{р.пр}},$$

где $P_{\text{р.л.к}}$, $P_{\text{р.л.х}}$, $P_{\text{р.к}}$, $P_{\text{р.в}}$ — расчетные нагрузки соответственно лестничных клеток, лифтовых холлов, коридоров, вестибюля; $P_{\text{р.пр}}$ — расчетная нагрузка освещения мусороуборочных камер, чердаков, технических подполий, подвалов, колясочных и т.п.

5. Для жилых домов с покомнатным расселением семей в квартире удельную расчетную нагрузку следует определять с коэффициентом 1,5 при количестве семей до 3 и с коэффициентом 2 — при количестве семей 4 и более.

6. Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую, осветительную и силовую нагрузку встроенных (пристроенных) помещений общественного назначения, а также применение в квартирах электрического отопления и электроводонагревателей. В домах усадьбного типа удельные расчетные нагрузки не учитывают одновременное присоединение электрифицированных механизмов обработки земли и кормоприготовления для домашнего скота единичной мощностью свыше 1 до 2,2 кВт.

7. Для определения при необходимости утреннего или дневного максимума нагрузок жилых домов без бытовых кондиционеров воздуха следует применять коэффициенты: 0,7 — для жилых домов с электрическими плитами и 0,5 — для жилых домов с плитами на газообразном и твердом топливе.

8. Электрическую нагрузку на шинах 0,4 кВ ТП в период летнего максимума нагрузок жилых домов без бытовых кондиционеров воздуха можно определить, умножив значение нагрузки зимнего максимума на коэффициенты: 0,7 — для квартир с плитами на природном газе; 0,6 — для квартир с плитами на сжиженном газе и твердом топливе и 0,8 — для квартир с электрическими плитами.

9. Удельные расчетные электрические нагрузки, кроме удельных расчетных нагрузок для бытовых кондиционеров воздуха, действительны для всех климатических районов страны.

Таблица П1.2. Коэффициенты спроса лифтовых установок жилых домов $k_{с.л}$

Количество лифтовых установок	Этажность жилого дома	
	До 12	12 и выше
2 – 3	0,8	0,98
4 – 5	0,7	0,8
6 – 7	0,6	0,7
8 – 10	0,5	0,6
11 – 20	0,4	0,5
20 и более	0,35	0,4

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

Таблица П1.3. Коэффициенты спроса $k_{с.о}$ для расчета нагрузок рабочего освещения питающих линий и вводов общественных зданий

Организации, предприятия и учреждения	Установленная мощность рабочего освещения, кВт								
	до 5	10	15	25	50	100	200	400	свы ше 500
Гостиницы, спальные корпуса и административные помещения санаториев, домов отдыха, пансионатов, турбаз, пионерских лагерей	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3	0,3
Предприятия общественного питания, детские ясли-сады, учебно-производственные мастерские профтехучилищ	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5
Организации и учреждения управления, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ, предприятия бытового обслуживания, торговли, парикмахерские	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
Проектные, конструкторские организации, научно-исследовательские институты	1	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65
Актовые залы, конференц-залы (освещение зала и президиума), спортзалы	1	1	1	1	1	1	—	—	—
Клубы и дома культуры	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55	—	—
Кинотеатры	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	—	—
Аптеки и поликлиники	—	—	—	0,8	0,77	0,75	0,7	—	—
Больницы	—	—	—	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3

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

Таблица П1.4. Расчетный коэффициент спроса $k_{ср}$, используемый для расчета нагрузок линий, питающих розетки

Организации, предприятия и учреждения	Групповые сети	Питающие сети	Вводы зданий
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, научно-исследовательские институты, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ, больницы	1	0,2	0,1
Гостиницы, обеденные залы ресторанов, кафе и столовых, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы	1	0,4	0,2
Аптеки, поликлиники	1	0,3	0,2

Таблица П1.5. Коэффициенты спроса $k_{с.с}$ для расчета нагрузки вводов, питающих и распределительных линий к силовым электроприемникам общественных зданий

Силовые электроприемники	Число работающих электроприемников	
	до 3	свыше 5
Технологическое оборудование предприятий общественного питания, пищеблоки в общественных зданиях	По табл. П1.6	По табл. П1.6
Механическое оборудование предприятий общественного питания, пищеблоки общественных зданий другого назначения, предприятия торговли	По поз. 1 табл. П1.7	По поз. 1 табл. П1.7
Посудомоечные машины	По табл. П1.8	—
Здания (помещения) управления, проектных и конструкторских организаций (без пищеблоков), гостиницы (без ресторанов), продовольственные и промтоварные магазины, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения и профессионально-технические училища (без пищеблоков)	По табл. П1.7	По табл. П1.7
Сантехническое и холодильное оборудование, холодильные установки систем кондиционирования воздуха	По поз. 1 табл. П1.7	По поз. 1 табл. П1.7
Пассажирские и грузовые лифты, транспортеры	По табл. П1.2	По табл. П1.2
Вычислительные машины (без технологического кондиционирования)	0,5	0,4

Силовые электроприемники	Число работающих электроприемников	
	до 3	свыше 5
Технологическое кондиционирование вычислительных машин	По поз. 1 табл. П1.7	По поз. 1 табл. П1.7
Металлообрабатывающие и деревообрабатывающие станки в мастерских	0,5	0,2
Множительная техника, фотолаборатории	0,5	0,2
Лабораторное и учебное оборудование общеобразовательных школ, профессионально-технических училищ, средних специальных учебных заведений	0,4	0,15
Учебно-производственные мастерские профессионально-технических училищ, общеобразовательных школ и специальных учебных заведений	0,5	0,2
Технологическое оборудование парикмахерских, ателье, мастерских, комбинатов бытового обслуживания, предприятий торговли, медицинских кабинетов	0,6	0,3
Технологическое оборудование фабрик химчистки и прачечных	0,7	0,5
Руко- и полотенцесушители	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 П1.6. Коэффициенты спроса для технологического оборудования

Количество электроприемников теплового оборудования предприятий общественного питания и пищеблоков, подключенных к данному элементу сети	2	3	5	8	10	15	20	30	От 60 до 100	Свыше 125
Коэффициент спроса	0,9	0,85	0,75	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4	0,3	0,25

Примечания: 1. К технологическому оборудованию следует относить: тепловое (электрические плиты, мармиты, сковороды, жарочные и кондитерские шкафы, котлы, кипятильники, фритюрницы и т.п.); механическое (тестомесильные машины, универсальные приводы, хлеборезки, вибросита, коктейлевзбивалки, мясорубки, картофелечистки, машины для резки овощей и т.п.); мелкое холодильное оборудование (шкафы холодильные, бытовые холодильники, низкотемпературные прилавки и тому подобные устройства единичной мощностью менее 1 кВт); лифты, подъемники и пр. (кассовые аппараты, радиоаппаратура и т.п.).

2. Коэффициенты спроса для линий, питающих отдельно механическое, или холодильное или сантехническое оборудование, а также лифты, подъемники и т.п., принимаются по табл. П1.5.

3. Определение коэффициентов спроса для числа присоединенных электроприемников, не указанного в таблице, производится интерполяцией.

Таблица П1.7. Коэффициент спроса для электродвигателей санитарно-технических устройств

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	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5
2) 84 – 75	—	—	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5
3) 74 – 50	—	—	0,7	0,65	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45
4) 49 – 25	—	—	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
5) 24 и менее	—	—	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4

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

2. В установленную мощность резервные электроприемники не включаются.

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

Таблица П1.8. Коэффициент спроса для посудомоечных машин

Количество посудомоечных машин	1	2	3
Коэффициент спроса $k_{с.с.}$	$\frac{1}{0,65}$	$\frac{0,9}{0,6}$	$\frac{0,85}{0,55}$

Примечание. В числителе приведены $k_{с.с.}$ для посудомоечных машин, работающих от сети холодного водоснабжения, в знаменателе — от горячего водоснабжения:

$$P_{р.с.} = P_{р.г.} + 0,6P_{р.с.г.}$$

где $P_{р.с.г.}$ — расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования или холодильных машин, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по поз. 1 табл. П1.7 и примечанию 2 к табл. П1.6.

Таблица П1.9. Коэффициент k , учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников

Здания	Отношение расчетной нагрузки освещения к силовой, %		
	от 20 до 75	свыше 75 до 140	свыше 140 до 250
Предприятия торговли и общественного питания, гостиницы	0,9 (0,85)	0,85 (0,75)	0,9 (0,85)
Общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, профтехучилища	0,95	0,9	0,95
Детские ясли-сады	0,85	0,8	0,85
Ателье, комбинаты бытового обслуживания, химчистки с прачечными самообслуживания, парикмахерские	0,85	0,75	0,85
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, %:

1	До 15
0,8	20
0,6	50
0,4	100
0,2	Свыше 150

3.1. Коэффициент спроса для промежуточных соотношений определяется интерполяцией.

3.2. В расчетной нагрузке освещения не учитываются нагрузки помещений без естественного освещения.

Таблица П1.10. Коэффициенты несовпадения максимумов электрических нагрузок жилых домов (квартир и силовых электроприемников) и общественных зданий (помещений)

Здания (помещения) с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома с плитами		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотеки	Общеобразовательные школы, профтехучилища	Организации и учреждения управления, проектно-конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские сады и ясли	Политехнические	Ателье и комбинаты бытового обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	электрическими	на твердом и газообразном топливе	столовые	рестораны, кафе				одноэтажные	полуторно-двухэтажные							
Жилые дома:																
с электрическими плитами	—	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
с плитами на твердом и газообразном топливе	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
Общеобразовательные школы, средние учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки, детские сады и ясли	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 плитами		Предприя- тия обще- ственного питания		Сред- ние учеб- ные заве- де- ния, биб- лио- теки	Обще- обра- зова- тель- ные шко- лы, проф- тех- учи- лища	Организации и учрежде- ния управле- ния, проек- тные и конст- рукторские организации, учреждения финанси- рования и кре- дитования	Предприятия торговли		Гос- ти- ни- цы	Парик- махер- ские	Дет- ские сад- ы и ясли	По- ли- кли- ники	Ате- лье и ком- бина- ты быто- вого об- слу- жива- ния	Пред- прия- тия ком- муна- льно- го об- слу- жива- ния	Ки- но- теат- ры
	элек- три- чес- кими	на твер- дом и газо- образ- ном топли- ве	сто- ло- вые	рес- тора- ны, кафе				одно- смен- ные	полу- тора- смен- ные, двух- смен- ные							
Предприятия торговли (односменные и полу- тора-двухсменные)	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
Организации и учрежде- ния управления, проектные и конст- рукторские организации, учреждения финанси- рования и кредитова- ния	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поликлиники	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ателье и комбинаты бытового обслужи- вания, предприятия ко- мунального обслужи- вания	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	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	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	—

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

Таблица П1.11. Удельные расчетные электрические нагрузки общественных зданий

Общественные здания	Единица величины	Удельная нагрузка	Расчетные коэффициенты	
			$\cos \varphi$	$\lg \varphi$
Предприятия общественного питания, полностью электрифицированные с количеством посадочных мест:	кВт/место			
до 400		0,9	0,98	0,2
свыше 500 до 1000		0,75	0,98	0,2
свыше 1100		0,65	0,98	0,2
Частично электрифицированные (с плитами на газообразном топливе) с количеством посадочных мест:	кВт/место			
до 400		0,7	0,95	0,33
свыше 500 до 1000		0,6	0,95	0,33
свыше 1100		0,5	0,95	0,33
Продовольственные магазины:	кВт/м ² торгового зала			
без кондиционирования воздуха		0,2	0,82	0,7
с кондиционированием воздуха		0,22	0,8	0,75
Промтоварные магазины:				
без кондиционирования воздуха		0,12	0,92	0,43
с кондиционированием воздуха		0,14	0,9	0,48
Общеобразовательные школы:	кВт/учащийся			
с электрифицированными столовыми и спортзалами		0,22	0,95	0,38
без электрифицированных столовых со спортзалами		0,15	0,92	0,43
с буфетами без спортзалов		0,15	0,92	0,43
без буфетов и спортзалов		0,13	0,92	0,43
Профессионально-технические училища со столовыми		0,4	0,8 – 0,92	0,75 – 0,43
Детские сады-ясли	кВт/место	0,4	0,97	0,25
Кинотеатры и киноконцертные залы:				
без кондиционирования воздуха		0,1	0,96	0,33
с кондиционированием воздуха		0,12	0,92	0,43
Клубы		0,4	0,92	0,43

Общественные здания	Единица величины	Удельная нагрузка	Расчетные коэффициенты	
			cos φ	tg φ
Парикмахерские	кВт/рабочее место	1,3	0,97	0,25
Здания или помещения учреждений управления, проектных и конструкторских организаций:	кВт/м ² общей площади			
без кондиционирования воздуха		0,036	0,9	0,48
с кондиционированием воздуха		0,045	0,87	0,57
Гостиницы:	кВт/место			
без кондиционирования воздуха (без ресторанов)		0,3	0,9	0,48
с кондиционированием воздуха		0,4	0,85	0,62
Дома отдыха и пансионаты без кондиционирования воздуха		0,3	0,92	0,43
Фабрики химчистки и прачечные самообслуживания	кВт/кг вещей	0,065	0,8	0,75
Пионерские лагеря	кВт/м ² жилых помещений	0,02	0,92	0,43

Примечания: 1. Удельная нагрузка пп. 1 – 6 не зависит от наличия кондиционеров.

2. В удельной нагрузке пп. 15, 16 нагрузка бассейнов и спортзалов не учтена.

3. В удельной нагрузке пп. 21, 22, 25 и 27 нагрузка пищеблоков не учтена. Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать, как для предприятий общественного питания с учетом количества посадочных мест, рекомендованного СНиП для соответствующих зданий.

4. Удельную нагрузку ресторанов при гостиницах пп. 23 и 24 следует принимать, как для предприятий общественного питания открытого типа.

5. Для предприятий общественного питания при промежуточном числе мест удельные нагрузки определяют интерполяцией.

Таблица П1.12. Коэффициенты спроса для определения электрических нагрузок линий силовых сетей $k_{\text{ср}}$, питающих медицинское электрооборудование

Объекты	Эффективное число электроприемников $n_{\text{э}}$							
	3	5	8	10	20	30	50	100 и более
Аптеки	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	—	—
Поликлиники и больницы	0,75	0,6	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25

Таблица П1.13. Расчетные коэффициенты реактивной мощности жилых домов

Потребитель электроэнергии	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Квартиры с электрическими плитами	0,98	0,2
Квартиры с плитами на природном, газообразном или твердом топливе	0,96	0,29
Хозяйственные насосы, вентиляционные и другие санитарно-технические устройства	0,8	0,75
Лифты	0,65	1,17

Таблица П1.14. Коэффициенты спроса $k_{с.с.}$ для расчета нагрузок питающих и распределительных линий и вводов силовых электрических сетей продовольственных и промтоварных магазинов

Доля установленной мощности холодильного и подъемного (ПВ-1) оборудования в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, %	Число присоединенных электроприемников n									
	3	6	8	10	15	20	30	40	60	80
0	0,95	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,6	0,55
10	0,9	0,85	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,45
20	0,85	0,8	0,7	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5	0,5	0,45
30	0,8	0,7	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4
40	0,75	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,35	0,35
50	0,7	0,65	0,5	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35	0,3
60	0,7	0,65	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35	0,3	0,3
70	0,7	0,6	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35	0,35	0,3	0,25
80	0,65	0,55	0,45	0,45	0,4	0,4	0,35	0,3	0,3	0,25
81 – 100	0,6	0,55	0,45	0,45	0,4	0,35	0,3	0,3	0,3	0,25

Примечания: 1. Определение коэффициента спроса для значений процентов установленной мощности холодильного и подъемного оборудования и числа присоединенных электроприемников, не указанных в таблице, производится путем интерполяции.

2. Мощность резервных электроприемников в общую установленную мощность силового электрооборудования не включается.

3. При числе присоединенных электроприемников менее трех допускается принимать коэффициент спроса, равный 1.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1. Категории электроприемников жилых и общественных зданий

Электроприемники	Категория
<i>Жилые дома и общежития высотой более 16 этажей:</i>	
противопожарные устройства (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре), лифты, эвакуационное и аварийной освещение, огни светового ограждения	I
комплекс остальных электроприемников	II
<i>Жилые дома высотой:</i>	
до 16 этажей с электроплитами и электроводонагревателями для горячего водоснабжения, за исключением одно-восьмиквартирных домов	II
свыше 5 до 10 этажей с плитами на газообразном и твердом топливе	II
до 5 с плитами на газообразном и твердом топливе	III
одно-восьмиквартирные с электроплитами и электроводонагревателями для горячего водоснабжения	III
на участках садоводческих товариществ	III
<i>Общежития общей вместимостью, чел.:</i>	
до 50	III
свыше 50	II
<i>Отдельно стоящие и встроенные центральные тепловые пункты (ЦТП), обслуживающие:</i>	
<i>жилые дома и общежития, высотой, этажей:</i>	
свыше 16	I
до 16	II
<i>общественные здания высотой более 16 этажей:</i>	
электроприемники противопожарных устройств (пожарных насосов, устройств подпора воздуха и дымоудаления, установок пожаротушения и оповещения о пожаре), охранной сигнализации и лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
<i>Здания учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов:</i>	
Здания с количеством работающих свыше 2000 чел. независимо от этажности, а также здания государственных учреждений областного, городского и районного значения с количеством работающих свыше 50 чел.	
Электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников зданий высотой до 16 этажей, а также зданий с количеством работающих свыше 50 до 2000 чел.	II
Комплекс электроприемников зданий с количеством работающих до 50 чел. (кроме учреждений областного, городского и районного значения, которые относятся ко II категории)	III

Электроприемники	Категория
<i>Здания лечебно-профилактических учреждений:</i>	
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
<i>Учреждения финансирования, кредитования и государственного кредитования:</i>	
федерального и регионального подчинения:	
Электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения	II
<i>Библиотеки и архивы:</i>	
Электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации зданий с фондом свыше 1000 тыс. ед. хранения	I
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников зданий с фондом, тыс. ед. хранения:	
свыше 100 до 1000	II
до 100	III
<i>Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров:</i>	
Здания с количеством учащихся свыше 1000 чел.:	
Электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников зданий с количеством учащихся, чел.:	
свыше 200 до 1000	II
до 200	III
Комплекс электроприемников:	
Детских яслей-садов и внешкольных учреждений	II
Пионерских лагерей с количеством мест:	
свыше 160	II
до 160	III
<i>Предприятия торговли:</i>	
Электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации и лифтов универсамов, торговых центров и магазинов с торговыми залами общей площадью свыше 2000 м ²	I
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников предприятий с торговыми залами общей площадью, м ² :	
свыше 250 до 2000	II
до 250	III
<i>Предприятия общественного питания:</i>	
Столовые, кафе и рестораны с количеством посадочных мест свыше 500:	
Электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I

Электроприемники	Категория
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников столовых, кафе и ресторанов с количеством посадочных мест:	
свыше 100 до 500	II
до 100	III
Комплекс электроприемников молочно-раздаточных пунктов	III
<i>Предприятия бытового обслуживания:</i>	
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
<i>Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы:</i>	
Здания с количеством мест свыше 1000:	
Электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников зданий с количеством мест:	
свыше 200 до 1000	II
до 200	III
<i>Музеи и выставки:</i>	
Комплекс электроприемников музеев и выставок федерального значения	I
Музеи и выставки регионального, краевого и областного значения:	
Электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
Комплекс остальных электроприемников	II
Комплекс электроприемников музеев и выставок местного значения и краеведческих музеев	III
<i>Конференц-залы и актовые залы, в том числе со стационарными кинопроекторными и эстрадами во всех видах общественных зданий, кроме постоянно используемых для проведения платных зрелищных мероприятий</i>	В соответствии с категориями электроприемников зданий, в которые встроены указанные залы

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

Таблица П2.2. Оптимальное число ВРУ (числитель) и отходящих горизонтальных линий (знаменатель) для питания квартир

Количество этажей в здании	Число секций в здании			
	1	2 – 5	6 – 7	8 и более
<i>Газифицированные здания</i>				
5 – 9	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{1-2}$
<i>Здания с электроплитами</i>				
5 – 8	$\frac{1}{1}$	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2} \frac{(2)}{2(1-2)}$
9 – 12	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2-3} \frac{(2)}{(2)}$
13 – 16	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2-3} \frac{(2)}{(2)}$	$\frac{2}{2} \frac{(1)}{(3)}$
17 – 22	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2} \frac{(2)}{(2)}$	—	—
23 – 25	$\frac{1}{1-2}$	$\frac{1}{2} \frac{(2)}{(1-2)}$	—	—

Примечания: 1. Показатели в скобках соответствуют практически равноэкономичным вариантам сети (с превышением приведенных затрат на сеть не более 5 %).

2. В зданиях высотой до пяти этажей устанавливают одно ВРУ.

3. Число питающих линий, отходящих от ВРУ, может отличаться от указанного в таблице в зависимости от условий надежности и конструктивных особенностей здания.

Таблица П2.3. Схемы стояков в секциях жилых зданий

Количество этажей в здании	Номера схем стояков (рис. 2.8) при количестве секций в доме (числитель) и количестве квартир (знаменатель)		
	1/5 – 8	2 – 4/3 – 4	5 – 10/3 – 4
<i>Газифицированные здания</i>			
5 – 9	1	1	1
<i>Здания с электроплитами</i>			
5 – 8	1	1	1
9 – 12	2(3)	1(4)	1(4)
13 – 16	2(3)	1(4)	1(4)
17 – 22	2(3)	1(4)	1(2)
22 – 25	3	1(2)	1(2)

Примечание. Показатели в скобках соответствуют равноэкономичным вариантам сети (отличие варианта в сторону превышения затрат на сеть не более 5 %). В зданиях высотой 16 этажей и более используют показатели в скобках ввиду их большей надежности.

Таблица П2.4. Расчетный ток групповых линий квартир жилых домов

Жилые дома	Назначение групповых линий	Расчетный ток, А
С плитами на газообразном и твердом топливе	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16/25*
	Питание электробытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт	25
С электроплитами до 5,8 кВт	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16/25*
	Питание электроплиты и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт**	25 – 32
С электроплитами от 5,9 до 8 кВт	Питание ламп общего освещения	16
	Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А	16/25*
	Питание электроплиты и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт**	40
Садоводческих товариществ	Питание ламп общего освещения и штепсельных розеток	16

* В знаменателе указаны расчетные токи групповой линии, к которой подключается бытовой кондиционер мощностью до 1,3 кВт.

** Одновременное включение электроплиты и бытовой машины или прибора на полную мощность исключается.

Список литературы

1. Тульчин И. К., Нудлер Г. И. Электрические сети жилых и общественных зданий. М.: Энергоатомиздат, 1983.
2. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Мастерство, 2001.
3. Суднова В. В. Качество электрической энергии. М.: ЗАО "Энергосервис", 2000.
4. Киреева Э. А., Юнес Т., Айюби М. Автоматизация и экономия электроэнергии в системах промышленного электроснабжения: Справочные материалы и примеры расчетов. М.: Энергоатомиздат, 1998.
5. Козлов В. А. Городские распределительные электрические сети. Л.: Энергия, 1971.
6. Козлов В. А. Электроснабжение городов. Л.: Энергия, 1977.
7. Козлов В. А., Билик Н. С., Файбисович Д. Л. Справочник по проектированию систем электроснабжения городов. Л.: Энергия, 1974.
8. Сибикин Ю. Д. Обслуживание электроустановок промышленных предприятий. М.: Высш. шк., 1989.
9. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1995.
10. Харечко В. Н., Харечко Ю. В. Система заземления. М.: УМИТЦ Мосгорэнергонадзора, 2000.
11. Гуров А. А. Устройства защитного отключения. М.: УМИТЦ Мосгорэнергонадзора, 2001.
12. УЗО — устройства защитного отключения: Учеб.-справ. пособие. М.: ЗАО "Энергосервис", 2003.
13. Правила устройства электроустановок. Изд. 7-е. М.: ЗАО "Энергосервис", 2002.
14. ГОСТ 12.4.155-85. Устройства защитного отключения. Классификация. Общие требования.
15. ГОСТ Р 50807-95 (МЭК 755-83). Устройства защитные, управляемые дифференциальным (остаточным) током.
16. ГОСТ Р 50571.3-94 (МЭК 364-4-41-92). Электроустановки зданий. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током.

17. **ГОСТ Р 50571.8-94 (МЭК 364-4-47-81).** Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Общие требования по применению мер защиты для обеспечения безопасности. Требования по применению мер защиты от поражения электрическим током.
18. **ГОСТ Р 50571.11-96 (МЭК 364-7-701-84).** Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 701. Ванные и душевые помещения.
19. **ГОСТ Р 50571.15-97 (МЭК 364-5-52-93).** Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 52. Электропроводки.
20. **ГОСТ Р 50571.17-2000 (МЭК 60364-4-482-82).** Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 48. Выбор мер защиты в зависимости от внешних условий. Раздел 482. Защита от пожара.
21. **МЭК 364-5-53.** Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Коммутационная электроаппаратура и аппаратура управления.
22. **МЭК 1200-53.** Электроустановки зданий. Глава 53. Выбор и монтаж электрооборудования. Коммутационная электроаппаратура и аппаратура управления. Требования к устройству электроустановок зданий.
23. **Рекомендации по применению и техническому обслуживанию устройств электрозащитного и противопожарного отключения в электрических сетях 380 / 220 В.** М.: ОРГРЭС, 1998.
24. **МГСН 3.01-96.** Московские городские строительные нормы. Жилые здания.
25. **Распоряжение Правительства Москвы № 860-РЭП от 17.09.98.** О повышении надежности электроснабжения жилищного фонда.
26. **Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования:** ВСН 59-88 / Госкомархитектуры. М.: ГУП ЦПП, 1999.
27. **СНиП 2.08.01-89*.** Жилые здания / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2001.
28. **СНиП 2.08.02-89*.** Общественные здания и сооружения / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2000.
29. **Электроснабжение и электрооборудование цехов** / Э. А. Киреева, В. И. Григорьев, В. А. Миронов и др. М.: Энергоатомиздат, 2003.
30. **Андреев В. А.** Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1991.
31. **Рекомендации по обеспечению селективности защиты в сетях напряжением до 1000 В переменного тока.** М.: ЦБНТИ, 1980.

Содержание

Предисловие	3
ГЛАВА ПЕРВАЯ. Общие сведения	
1.1. Основные электроприемники жилых и общественных зданий	5
1.2. Расчетные электрические нагрузки жилых и общественных зданий	6
1.3. Влияние качества электроэнергии на работу электроприемников зданий	13
ГЛАВА ВТОРАЯ. Электроснабжение жилых и общественных зданий	
2.1. Общие положения	15
2.2. Электрические сети жилых зданий	17
2.3. Электрические сети общественных зданий	23
ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Защита в системах электроснабжения жилых и общественных зданий	
3.1. Общие положения	28
3.2. Виды защиты.	29
3.3. Места установки аппаратов защиты	32
3.4. Примеры схем защиты	33
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. Электробезопасность в жилых и общественных зданиях	
4.1. Потенциальные опасности поражения электрическим током	39
4.2. Выбор и обоснование основных и дополнительных защит от поражения электрическим током	43
4.3. Расчет заземляющих устройств	51
4.4. Устройства защитного отключения.	54
4.5. Обеспечение селективности при применении УЗО	59
ГЛАВА ПЯТАЯ. Пример расчета	
5.1. Исходные данные	65
5.2. Определение расчетных нагрузок коммунально-бытовых потребителей	65
5.3. Определение расчетной нагрузки жилого района в целом.	71
5.4. Картограмма нагрузок, определение центра электрических нагрузок и места расположения питающей подстанции	71
<i>Приложение 1</i>	<i>76</i>
<i>Приложение 2</i>	<i>88</i>
Список литературы.	93

Библиотечка электротехника

Приложение к производственно-массовому журналу "Энергетик"

**КИРЕЕВА ЭЛЬВИРА АЛЕКСАНДРОВНА
ЦЫРУК СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

Электроснабжение жилых и общественных зданий

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23

Телефоны: (095) 675-19-06, тел. 675-00-23 доб. 22-47; факс: 234-74-21

Редакторы: Л. Л. Жданова, Н. В. Олышанская

Худож.-техн. редактор Т. Ю. Андреева

Сдано в набор 15.07.2005 г. Подписано в печать 25.08.2005 г.

Формат 60×84¹/₁₆. Печать офсетная.

Печ. л. 6,0. Заказ БЭТ/8(80)-2005

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, такими, как:

- 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.

Индексы журнала “Энергетика за рубежом”

— приложения к журналу “Энергетик”

87261 — для предприятий и организаций;

87260 — для индивидуальных подписчиков.

Об авторах



Эльвира Александровна Киреева — канд. техн. наук, доцент Московского энергетического института (технического университета), опытный специалист по электроснабжению промышленных предприятий, отличник энергетики и электрификации. В течение многих лет Э. А. Киреева успешно сочетает педагогическую работу в институте с работой лектора на курсах повышения квалификации энергетиков промышленных предприятий РФ. Ею написаны в соавторстве множество статей и книг по энергетике, в том числе «Справочная книга электрика».



Сергей Александрович Цырук — заведующий кафедрой электроснабжения промышленных предприятий Московского энергетического института (технического университета), известный специалист в области электроснабжения промышленных предприятий. В течение многих лет С. А. Цырук является руководителем группы энергоаудита, успешно сочетает большую научную деятельность с педагогической работой. Написанные им учебные пособия и книги пользуются неизменной популярностью у студентов и специалистов-энергетиков промышленных предприятий.

Правильный расчет электрических нагрузок
и обоснованный выбор электрооборудования
обеспечат надежную работу
систем электроснабжения жилых
и общественных зданий