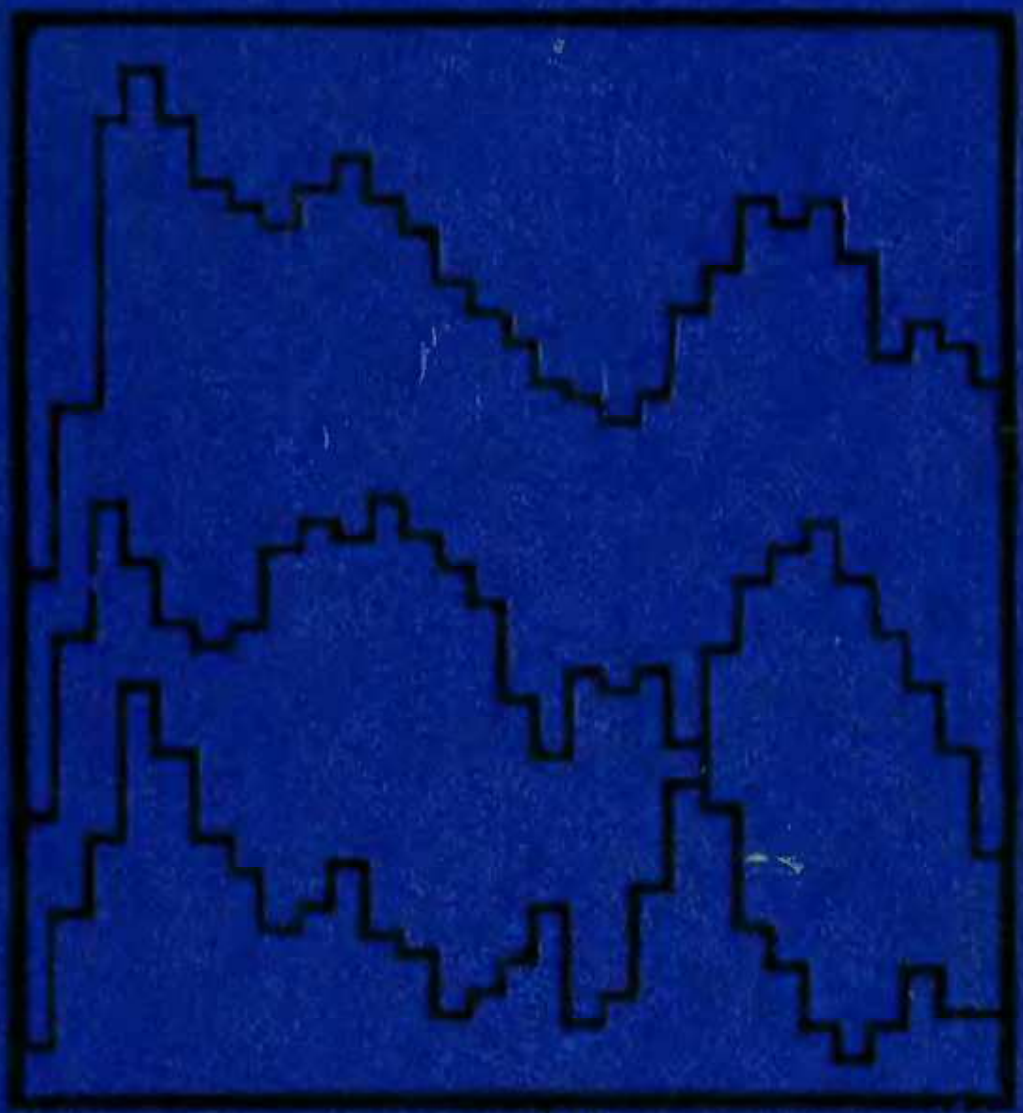
Библиотека СОК

И.К. Тульчин, Г.И. Нудлер

# Электрические сети жилых и общественных зданий



И. К. Тульчин, Г. И. Нудлер

# Электрические сети жилых и общественных зданий

Москва
Энергоатомиздат 1983

ББК 31.294.9
Т82
УДК 621.316.172

**Тульчин И. К., Нудлер Г. И.**

Т82 Электрические сети жилых и общественных зданий. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 304 с., ил.
1 р. 20 к.

Рассматриваются электроприемники жилых и общественных зданий, развитие электрификации быта, методы определения и прогнозирования электрических нагрузок. Приведены методы расчета внутренних осветительных и силовых сетей, принципы построения схем распределения электроэнергии и конструктивное выполнение распредустройств и проводок. Описаны некоторые схемы автоматизации. Рассмотрены вопросы электробезопасности.

Для специалистов-электриков, работающих в области проектирования и эксплуатации электрооборудования жилых и общественных зданий, может быть полезна студентам вузов.

Т $\frac{2302050000\text{-}008}{051(01)\text{-}83}$ 121-83

ББК 31.294.9
6П2.13

Рецензент Е. И. Афанасьева

© Энергоатомиздат, 1983

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное гражданское здание насыщено большим количеством механизированных, электрифицированных и автоматизированных инженерных систем. Развитие электрификации жилых и общественных зданий обусловлено ростом всей энергетики нашей страны. Быстрыми темпами развивается электрификация быта. Все шире применяются бытовые электроприборы, повышающие комфорт в квартирах и освобождающие людей от многих трудоемких домашних хозяйственных работ.

Электроустановки современных зданий представляют собой сложные системы, предъявляющие повышенные требования к надежности электроснабжения, что в свою очередь потребовало автоматизации работы отдельных элементов сетей. В этих условиях принципиально важно, чтобы в проектах электроснабжения и электрооборудования зданий принимались решения, отвечающие требованиям наименьших затрат на их сооружение и удобства эксплуатации и надежности работы.

По вопросам внешних электрических сетей имеется значительное количество литературы и технических пособий, а в учебных программах вузов и техникумов этим вопросам уделяется должное внимание. Вопросы проектирования, монтажа и эксплуатации внутренних сетей жилых и гражданских зданий недостаточно освещены в литературе, несмотря на то, что на выполнение этих сетей расходуется не менее 60 % общих капиталовложений на системы электроснабжения. В предлагаемой книге сделана попытка изложить основные положения по проектированию, монтажу и эксплуатации внутренних электрических сетей жилых и общественных зданий.

В книге отражены многолетний опыт ведущих проектных организаций, занятых проектированием жилых и общественных зданий в Москве, и результаты научно-исследовательских и экспериментальных работ, выполненных за

последние годы и включенных в нормативные документы. Учитывая важность ряда вопросов, являющихся основой при исследованиях и проектировании электрических сетей зданий, в книге рассмотрены электропотребление при различных уровнях электрификации в настоящее время и в перспективе, а также современные методы определения нагрузок, основанные на положениях теории вероятностей и математической статистики. Сделана попытка прогнозирования электрических нагрузок. Несмотря на то что эти методы пока еще не получили широкого распространения в инженерной практике, пользование ими не представляется сложным, и их внедрение, в частности, в практику проектирования электрооборудования зданий вполне целесообразно.

В книге рассматриваются методы построеиия схем внутренних электрических сетей зданий, их расчет, способы выполнения, приведены краткие описания систем автоматики, уделено внимание вопросам диспетчеризации, электробезопасности и эксплуатации электроустановок.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензенту канд. техн. наук Е. И. Афанасьевой и научному редактору Л. А. Циперману за ценные замечания, позволившие в процессе подготовки рукописи к печати внести в нее необходимые поправки и уточнения, а также сотрудникам лаборатории электрооборудования МНИИТЭП А. В. Городничеву и В. М. Подольному за предоставление материалов научно-исследовательских работ, использованных в книге.

Все замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

*Авторы*

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие экономики нашей страны неразрывно связано с электрификацией всех отраслей народного хозяйства. План ГОЭЛРО, разработанный вскоре после Великой Октябрьской социалистической революции советскими учеными и специалистами, был первым перспективным планом развития экономики всей страны на базе электрификации. Историческое значение плана ГОЭЛРО трудно переоценить. В ходе осуществления первого пятилетнего плана индустриализации страны план ГОЭЛРО был выполнен досрочно.

Ниже приводятся некоторые данные, характеризующие рост энергетики в нашей стране до 1935 г. [60].

| | 1913 г. | 1920—1921 гг. | По плану ГОЭЛРО | 1930 г. | 1935 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| Мощность районных электростанций, млн. кВт . . . . . | 0,2 | 0,25 | 1,75 | 1,4 | 4,6* |
| Пронзводство электроэнергии, млрд. кВт·ч . . | 2,0 | 0,5 | 8,8 | 8,4 | 26,3 |

* В том числе 0,5 млн. кВт — промышленные электростанции районного значения.

К 1935 г. Советский Союз занял второе место в Европе и третье место в мире по производству электрической энергии, опередив такие промышленно развитые капиталистические страны, как Англия, Франция, Италия. В дальнейшем рост энергетики как основополагающей отрасли народного хозяйства шел быстрыми темпами. Так в 1940 г. мощность электростанций достигла 11,2 млн. кВт, а производство электроэнергии 48,3 млрд. кВт·ч.

Несмотря на то что в период Великой Отечественной войны произошло сокращение производства электроэнергии, уже в 1946 г. в результате героического труда советских людей производство электроэнергии превысило довоенный уровень и составило 48,6 млрд. кВт·ч, а в 1947 г. Советский Союз занял первое место в Европе и второе в

мире по производству электрической энергии — важнейшему показателю индустриального развития страны.

Все последующие годы социалистического строительства советский народ под руководством Коммунистической партии последовательно проводил ленинскую политику электрификации страны и на ее основе быстрыми темпами шло развитие всех отраслей народного хозяйства и возрастало благосостояние народа. Потребление электроэнергии основными отраслями народного хозяйства, в том числе и на бытовые нужды, характеризуется данными, приведенными в табл. В.1.

Таблица В.1. **Потребление электроэнергии основными отраслями народного хозяйства, в том числе на бытовые нужды**

| | Потребление электроэнергии, млрд. кВт·ч | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1960 г. | 1970 г. | 1975 г. | 1979 г. | 1980 г |
| Общее | 292,3 | 740,9 | 1038,6 | 1238,2 | 1295 |
| В том числе: | | | | | |
| Промышленностью | 188,7 | 438,0 | 587,7 | 669,7 | 696,2 |
| Строительством | 8,9 | 15,0 | 21,3 | 24,9 | 23,3 |
| Транспортом | 17,6 | 54,4 | 74,2 | 96,2 | 102,5 |
| Сельским хозяйством | 9,9 | 38,5 | 73,8 | 102,3 | 109 |
| На бытовые нужды городов и коммунальное хозяйство | 30,5 | 81,1 | 119,1 | 147,5 | 155 |
| На собственные нужды и передачу электроэнергии | 36,7 | 108,7 | 151,3 | 182,8 | 189,7 |

В ходе выполнения пятилетних планов развития народного хозяйства СССР было осуществлено и ведется в настоящее время строительство крупных тепловых электростанций мощностью 4—6 млн. кВт с блоками 300, 500, 800, 1200 МВт, в том числе на базе месторождений углей Экибастузского, Сургутского, Канско-Ачинского. Сооружены мощные гидроузлы, преимущественно в Поволжье, Сибири, на Кавказе и ряде других районов.

В центральных районах получила развитие атомная энергетика, которая будет и дальше развиваться быстрыми темпами, причем мощность реакторов достигает 1000 МВт и более.

Ведутся работы по созданию Единой энергетической системы (ЕЭС) СССР, строительство дальних линий электропередачи переменного и постоянного тока сверхвысоко-

го напряжения. С каждым годом все более расширяются международные энергетические связи. В настоящее время параллельно со станциями ЕЭС СССР работают электростанции объединенных энергетических систем стран—членов СЭВ—ПНР, ВНР, ЧССР, СРР, ГДР; а на востоке — энергосистема МНР. Образовано крупнейшее международное энергообъединение с установленной мощностью электростанций около 300 млн. кВт. [61], в котором параллельно работают электростанции от Улан-Батора до Берлина. Единая энергетическая система производит поставки электроэнергии в Турцию, Финляндию, Норвегию.

XXVI съездом КПСС утверждены «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», которыми предусматривается дальнейший рост энергетики страны. К 1985 г. производство электроэнергии должно возрасти до 1555 млрд. кВт·ч в год.

Важным элементом повышения благосостояния народа является дальнейший рост электрификации быта. Повышение уровня электрификации и совершенствование всей системы электроснабжения в городе и на селе имеют важное значение как для снижения затрат труда на ведение домашнего хозяйства, так и для улучшения санитарно-гигиенического состояния жилищ и оздоровления воздушной среды населенных пунктов.

В СССР в настоящее время насчитывается более 2000 городов и 3600 поселков городского типа, в которых проживает более половины населения страны [62]. По электрическим сетям 0,4—20 кВ распределяется около 40 % всей вырабатываемой электроэнергии, поэтому правильное построение системы распределения энергии, обеспечивающее высокую надежность электроснабжения и уменьшение потерь в электрических сетях, имеет важное значение.

В нашей стране в условиях планового хозяйства развитие электрификации быта подчинено общим народнохозяйственным интересам, и в большинстве районов применение электроэнергии ограничивается экономичными решениями по централизованной теплофикации, газификации на базе природного газа и т. д. Тем не менее по мере совершенствования процессов производства электроэнергии, повышения КПД электростанций, внедрения мощных энергоблоков, развития атомных электростанций создаются предпосылки для дальнейшего развития электрификации. В первую очередь потребление электроэнергии на бытовые

нужды в городах и селах будет расти за счет увеличения количества различных бытовых машин и приборов в домашнем хозяйстве, а также применения электроэнергии для приготовления пищи. В ряде районов страны с дорогим привозным топливом, в курортных зонах (где особенно важно поддержание чистоты воздушного бассейна), в некоторых южных районах, на Крайнем Севере можно ожидать постепенного внедрения различных видов электрокондиционирования воздуха, электроводонагрева и электроотопления.

Широкое внедрение механизации и автоматизации производственных процессов — одна из основ повышения производительности труда в народном хозяйстве. Автоматика находит все большее применение и на коммунальных предприятиях, объектах жилищно-гражданского строительства; ее повсеместное внедрение позволяет сократить расходы электроэнергии, повысить надежность электроснабжения, обеспечивает бесперебойную работу инженерного оборудования зданий.

# Раздел первый

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ БЫТА И ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ

## Глава первая

## ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

### 1.1. Электроприемники жилых зданий

Современные жилые здания насыщены большим количеством различных электроприемников. К ним относятся различные осветительные и бытовые приборы и силовое электрооборудование. Рост энергетики и объема производства электроэнергии в значительной мере способствует расширению номенклатуры и увеличению количества электроприборов, применяемых в быту.

Электроприборы, все в большей степени используемые в квартирах жилых зданий, обеспечивают сокращение затрат труда на ведение домашнего хозяйства и повышение комфорта современного жилища.

Электроприемники жилых зданий могут быть подразделены на две основные группы: электроприемники квартир и электроприемники общедомового назначения. К первым относятся осветительные и бытовые электроприборы. Ко вторым относятся светильники лестничных клеток, технических подпольев, чердаков, вестибюлей, холлов, служебных и других помещений, лифтовые установки, вентиляционные системы, различные противопожарные устройства, элементы диспетчеризации, переговорно-вызывные устройства (домофоны), кодовые замки и т. п.

**Электроприемники квартир.** *Электрическое освещение квартир* осуществляется с помощью светильников общего и местного освещения, как правило, с лампами накаливания. Однако в настоящее время разрабатываются и внедряются бытовые светильники с люминесцентными лампами, применение которых позволит резко повысить освещенность в квартирах без увеличения расхода электроэнергии при значительно большем сроке службы этих ламп. Однако их широкое внедрение требует улучшения цветопередачи таких ламп. Для общего освещения жилых комнат применяются многоламповые светильники различных конструкций с лам-

пами накаливания мощностью 40—100 Вт, для освещения вспомогательных помещений — одноламповые светильники 25—60 Вт, для ванных комнат разработан и внедряется светильник с люминесцентной лампой мощностью 20 Вт.

Бытовые электроприборы по назначению можно условно разделить на следующие характерные группы: нагревательные для приготовления пищи, для обработки и хранения продуктов, хозяйственные (для ухода за бельем и одеждой, уборки помещений, электроинструменты и др.), культурно-бытовые, санитарно-гигиенические, бытовые кон-

Таблица 1.1. **Характеристика стационарных кухонных электроплит**

| Обозначение и тип плиты | Номинальная мощность, кВт | Число конфорок | Конфорки | | Тип переключателя мощности |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | диаметр, мм | мощность, Вт | |
| ЧРШ-3/5,1 «Лысьва-6» | 5,1 | 3 | 145<br>180<br>180 | 800<br>1200<br>1500 | Четырехпозиционный ПМ-4 |
| ЧРШ-3/5,8 «Лысьва-7» | 5,8 | 3 | 145<br>180<br>180 | 1000<br>1500<br>1500 | Четырехпозиционный ПМ-4 |
| ЧРШ-3/5,8 «Лысьва-8» | 5,8 | 3 | 145<br>180<br>180 | 1000<br>1500<br>1500 | Семипозиционный ПМ-7 |
| ЧРШ-3/5,8 «Томь» | 5,8 | 3 | 145<br>180<br>180 | 1000<br>1500<br>1500 | Семипозиционный ПМЭ-10/7УЗ |
| «Электра-1001» | 8,0 | 4 | 145<br>180<br>180<br>220 | 1000<br>1500<br>1500<br>2000 | Семипозиционный ПМЭ-Р1-7 |
| «Ниша-4» фирма «Слобода» СФРЮ | 6,75 | 4 | 80<br>145<br>145<br>220 | 450<br>1000<br>1500<br>2000 | Семипозиционный |
| «Е-405» фирма «Горяние» СФРЮ | 6,3 | 3 | 145<br>180<br>180 | 1000<br>1500<br>2000 | Семипозиционный |
| «Мечта» НРБ | 6,1 | 3 | 145<br>180<br>220 | 800<br>1200<br>1800 | Пятипозиционный |

Примечание. Мощность жарочного шкафа определяется как разность номинальной мощности плиты и суммы мощностей всех конфорок.

диционеры воздуха, водонагреватели, приборы для отопления помещений.

*Нагревательные приборы для приготовления пищи*: электроплиты с программными устройствами и без них, жарочные шкафы, электроплитки, электропечи, тостеры, шашлычницы, скороварки, самовары, чайники, электропечи высокой частоты и т. п. Кухонные электроплиты и жарочные шкафы устанавливаются стационарно, остальные приборы большей частью являются переносными.

Характеристики электроплит отечественного и зарубежного производства [5] приведены в табл. 1.1.

Стационарная напольная электроплита состоит из металлического корпуса с конфорками, установленными на рабочем столе, жарочного шкафа и регулировочной аппаратуры. Конфорки изготавливаются двух видов: из трубчатых нагревательных элементов (ТЭНов) и чугуиные. Отечественные плиты выпускаются с чугунными конфорками. Чугунные конфорки состоят из корпуса с запрессованными в специальную изоляционную массу спиралями из нихрома или других материалов с высоким удельным сопротивлением. Выводные концы спиралей подключаются к винтам, установленным на термостойкой керамической колодке. Температура на поверхности конфорки 350—450 °С.

Трубчатый нагревательный элемент представляет собой специальную трубку, внутри которой (по оси) расположена нагревательная спираль, находящаяся в уплотненной изоляционной массе на основе периглаза. Температура на поверхности ТЭНов может достигать 400—600 °С. Указанные температуры на поверхности конфорок характерны при работе на полную мощность и наличии нормального теплоотвода. При отсутствии на конфорке сосуда, потребляющего тепло, температура на поверхности конфорки возрастает и при длительном включении, что иногда имеет место, когда жильцы используют плиту для обогрева помещения, срок службы конфорки резко сокращается. Работа конфорки на полную мощность необходима только до момента доведения блюда до кипения, дальнейший процесс приготовления пищи требует значительно меньшей мощности, что достигается соответствующей установкой положения переключателя. Для экономии энергии необходимо использовать посуду с толстым дном, плотно прилегающим к поверхности конфорки. В отличие от конфорок, передача тепла которых происходит за счет теплопроводности, тепло в жарочных шкафах передается за счет конвекции и излуче-

ния от нагревательных элементов, располагаемых внизу и в верхней части шкафа.

Коэффициент полезного действия электроплит с чугунными конфорками составляет примерно 65, с ТЭНами 75 %. Пределы регулирования температуры жарочного шкафа от 50 до 300 °С.

За рубежом применяются автоматизированные плиты, в которых устанавливают бесступенчатые регуляторы мощности конфорок и программные устройства для жарочного шкафа. При этом расход электроэнергии сокращается на 15—20 %. Необходимо отметить большое преимущество электроплиты по сравнению с газовой в санитарно-гигиеническом отношении, так как газовые плиты вследствие неполного сгорания газа выделяют в окружающее пространство вредные примеси.

Работами Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова (АКХ) установлено, что оптимальной мощностью электроплиты является 7—7,5 кВт, что обеспечивает при наиболее целесообразном режиме приготовления всех видов пищи наименьший расход электроэнергии. Одним из новых видов нагревательных приборов для приготовления пищи являются индукционные плиты, в которых нагрев сосуда осуществляется за счет вихревых токов, возникающих в сосуде под действием электрического поля высокой частоты. Такие плиты оборудованы специальным встроенным преобразователем частоты и индукционными катушками. Коэффициент полезного действия таких плит достигает 90 %. В шкафах сверхвысокой частоты (СВЧ) нагрев продукта, находящегося внутри шкафа, происходит во всем объеме за счет энергии поля частотой примерно 2500 МГц, что сокращает срок приготовления отдельных блюд в 8—10 раз. СВЧ шкафы используются как дополнение к плите.

*Приборы для обработки и хранения продуктов.* К ним относятся холодильники (компрессионные, абсорбционные, полупроводниковые), морозильники, универсальные кухонные электроприводы, картофелечистки, мясорубки, миксеры, кофемолки, соковыжималки и т. п. Большинство из перечисленных приборов специального описания не требует. Отметим лишь некоторые особенности бытовых холодильников.

Наиболее распространенными (80 %) являются компрессионные холодильники. К недостаткам компрессионных холодильников относится шум при работе электродвигателя.

Абсорбционные холодильники (20 %) свободны от этого недостатка, однако они менее экономичны. Недостатком таких холодильников является их сравнительно малая холодопроизводительность при значительно большем потреблении энергии по сравнению с компрессионными. Полупроводниковые холодильники пока еще распространения не получили.

*Хозяйственные приборы.* К ним относятся: стиральные машины (неавтоматические, полуавтоматические, автоматические), пылесосы, полотеры, утюги, посудомоечные машины, электроинструмент, швейные машины и т. п.

*Культурно-бытовые приборы*: телевизоры, магнитофоны, радиоприемники, радиолы, проигрыватели, кинопроекторы, диапроекторы, электромузыкальные инструменты, электрифицированные игрушки. Отметим, что указанная группа приборов, особенно телевизоры, чувствительны к колебаниям напряжения, в связи с чем широко применяются местные стабилизаторы напряжения, главным образом феррорезонансные. Улучшая работу телевизоров, стабилизаторы ухудшают режим работы сети в целом, снижая коэффициент мощности и увеличивая потери энергии. В настоящее время у населения имеется свыше 25 млн. стабилизаторов и автотрансформаторов, на что расходуется до 600 млн. кВт·ч в год; кроме того, на их производство приходится тратить большое количество электротехнической стали и меди. Таким образом, использование этих устройств экономически невыгодно для народного хозяйства. Более целесообразным следует считать применение специальных устройств для регулирования напряжения в электрических сетях города.

*Санитарно-гигиенические приборы:* вентиляторы, увлажнители воздуха, фены, ионизаторы, надплитные кухонные фильтры, электробритвы, машинки для стрижки волос, щипцы для завивки волос, приборы для массажа, электрогрелки, электроодеяла, ультрафиолетовые и другие облучатели и т. п.

*Бытовые кондиционеры.* За последние годы в нашей стране организовано производство и внедряются в быт комнатные стационарные кондиционеры. Электрические сети жилых зданий, сооружаемых в районах, где среднемесячная температура воздуха в 13 ч летнего дня достигает 25 °С и более, рассчитываются на использование таких кондиционеров для улучшения микроклимата в квартире (см. гл. 3).

Бытовой кондиционер типа БК-1500 компрессионного типа, потребляет мощность 1,3 кВт.

*Электроводонагреватели (ЭВН).* Существует два типа водонагревателей: проточные и емкостные.

Проточные нагреватели нагревают воду непосредственно при ее потреблении. Они характеризуются сравнительно малыми габаритами при большой водопроизводительности. Однако такие ЭВН потребляют большую мощность (15—20 кВт). Недостатком проточных нагревателей является то, что их включение совпадает по времени с максимумом нагрузки энергосистемы.

Емкостные нагреватели по конструктивному исполнению можно подразделить на два типа: быстродействующие нагреватели с относительно небольшой вместимостью бака (5—10 л) и аккумуляционные с большой вместимостью бака, достигающей 300 л и более и имеющие теплоизоляцию бака. Емкостные водонагреватели потребляют меньшую мощность, чем проточные, но длительность нагрева воды значительно возрастает. Так, например, в аккумуляционных нагревателях время нагрева воды до 85 °С достигает 8 ч. Нагреватели вместимостью 100—160 л потребляют мощность не более 3—4 кВт. Малообъемные нагреватели включаются незадолго до потребления воды и могут оказаться включенными в часы максимальных нагрузок энергосистемы.

Аккумуляционные водонагреватели включаются в периоды минимальных нагрузок системы, как правило, в ночное время. Кроме того, включение этих нагревателей в часы провалов графиков энергосистемы, дает возможность не провалов графиков энергосистемы дает возможность не ружной электросети, чего нельзя избежать при установке проточных водонагревателей. Применение аккумуляционного водонагрева экономически выгодно энергоснабжающим организациям. За рубежом в целях стимулирования потребления электроэнергии в часы провала графиков нагрузок применяются сниженные тарифы на электроэнергию на этот период, что дает огромную выгоду и потребителям.

В СССР выпускаются электронагреватели типа УНС (аккумуляционные низкого давления настенные) вместимостью 10, 40, 60 и 100 л, УАП (аккумуляционные атмосферного давления напольные) вместимостью 60 и 100 л и БАС (быстродействующие атмосферного давления настенные) вместимостью 6 и 10 л. Мощность нагревательного элемента водонагревателя УНС 1,2 кВт. Водонагреватели

имеют встроенные автоматические устройства для отключения нагревательного элемента при достижении температуры воды 85 °С.

*Электрическое отопление.* Применение электрического отопления жилых помещений для большинства районов нашей страны, особенно при теплоснабжении от теплоэлектроцентралей, в настоящее время экономически не оправдывается. Однако уже сейчас электрическое отопление находит применение в районах с избытком гидроэлектроэнергии, дорогим привозным топливом, в некоторых южных районах страны, имеющих плюсовые температуры в зимнее время, в курортных зонах.

Благоприятные перспективы развития новых способов получения электроэнергии в будущем определяют целесообразность ее использования для заполнения графиков нагрузки энергосистем[1]. Поэтому необходимо в данной главе рассмотреть в самых общих чертах известные в настоящее время устройства электроотопления [6].

Системы электрического отопления жилых зданий можно подразделить на две группы: полное электроотопление и частичное электроотопление. При полном электроотоплении все необходимое количество тепла поступает в помещение от одного энергоносителя — электричества. При частичном отоплении основное потребление тепла идет из системы централизованного или децентрализованного отопления, а при пиковых нагрузках недостатки тепла покрываются приборами электроотопления. Полное электроотопление может осуществляться централизованно от электрокотлов или децентрализованно индивидуальными отопительными электроприборами.

Электрокотлы могут работать в режиме непосредственного отопления круглосуточно или в аккумуляционном режиме, при котором они подключаются к электросети только в часы провала графиков нагрузки. В последнем случае рядом с котлом устанавливается бак с хорошей теплоизоляцией с теплоаккумулирующей жидкостью (водой). При индивидуальном отоплении приборы устанавливаются, как правило, в каждой комнате квартиры, в отдельных случаях возможно отопление нескольких комнат одним прибором.

[1] Сфера применения электроиагрева и электроотопления будет постепенно расширяться. Как показывают работы Энергосетьпроекта, электрификация систем горячего водоснабжения и теплоснабжения несмотря на некоторый перерасход топлива в целом, позволяет значительно сократить расход высококачественного органического топлива.

По принципу преобразования электрической энергии в тепловую электроотопительные приборы могут быть подразделены на приборы прямого отопления и тепловые насосы. В первых происходит прямое преобразование электроэнергии в тепло, во вторых—отбор тепла у среды с более низкой температурой и передача его среде с более высокой температурой.

Следует различать электроотопительные приборы непосредственного действия, в которых тепло сразу же поступает в помещение, и приборы с аккумулированием тепла, в которых преобразование электроэнергии и накопление тепла происходят в часы минимальных нагрузок электросети, а расход запасенного тепла — в течение длительного времени, в том числе и после отключения прибора. К первым относятся электрорадиаторы, камины, конвекторы, греющие обои и плинтусы, тепловые насосы, ко вторым — аккумуляционные электропечи и греющие кабели, заделанные в строительные конструкции зданий. Кроме того, электроотопительные приборы различаются своим конструктивным исполнением — напольные, настенные, настольные, универсальные и способом теплоотдачи — радиационные, конвективные и универсальные.

Электроотопительные приборы могут быть нерегулируемые и иметь ступенчатые, бесступенчатые и автоматические регуляторы.

На рис. 1.1. схематически показаны конструкция греющего кабеля и разрез перекрытия. Такая система используется в качестве полуаккумуляционного или аккумуляционного отопления в зависимости от конструкции пола. При электрическом обогреве удельная мощность составляет 120—150 Вт/м$^2$ пола. По гигиеническим соображениям температура на поверхности пола не должна превышать 25—27 °С, поэтому на 1 м длины греющего кабеля мощность не должна превышать 20—25 Вт. Допустимая рабочая температура изоляции греющих кабелей (65—105 °С) обеспечивает их эксплуатацию примерно в течение 50 лет. Теплоаккумуляционные электрические печи в зависимости от конструктивного исполнения и характера теплоотдачи бывают трех видов.

В печах первого вида теплоаккумулирующий сердечник выполняют из жаростойкого бетона, магнезита, стеотита и других материалов, между которыми находятся нагревательные элементы. Снаружи размещается теплоизоляционный слой шамота, облицованный кафелем или

пластмассой. Теплоаккумулирующий сердечник разогревается до 300—600 °С, в то время как на поверхности печи температура не превышает 60—70 °С. Теплоотдача происходит за счет излучения и конвекции. Недостатком печей первого вида является отсутствие возможности регулирования теплоотдачи и понижение температуры к вечеру, что затрудняет их использование в жилых домах.

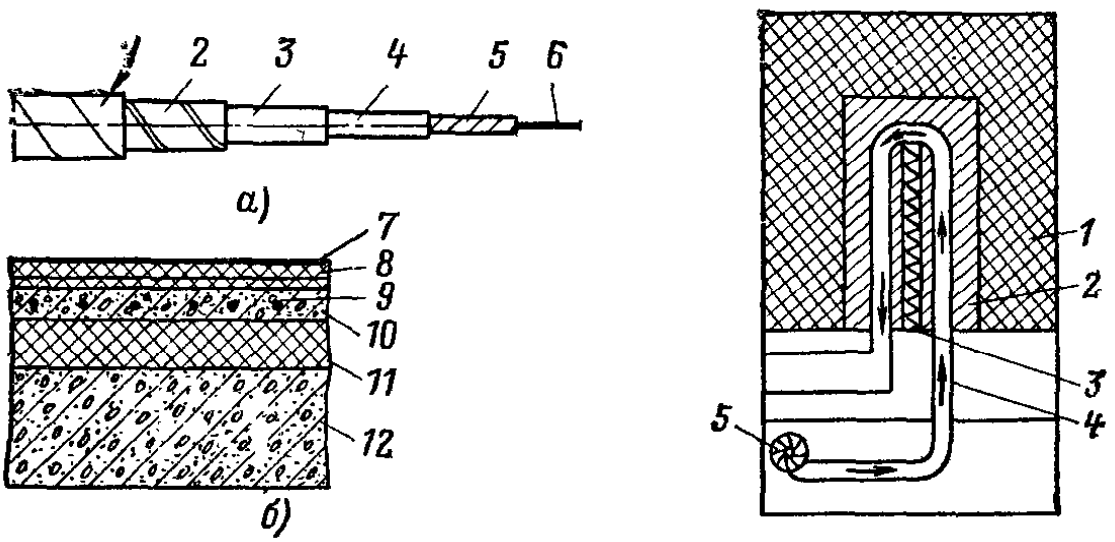



Рис. 1.1. Схема устройства электроотопления с помощью греющего кабеля:

*а* — греющий кабель; *б* — разрез теплого пола; *1* — обмазка из термопласта; *2* — свинцовый чулок; *3* — силиконовая обмазка; *4* — стеклоткань; *5* — фольга; *6* — нагревательная жила; *7* — линолеум; *8* — настил (дерево); *9* — кабель; *10* — цементная стяжка; *11* — пеиобетон; *12* — железобетонное перекрытие

Рис. 1.2. Схема аккумулирующей печи с регулируемой теплоотдачей:

*1* — теплоизоляционный слой; *2* — теплоаккумулирующий сердечник (например, магнезитовый кирпич); *3* — нагреватели; *4* — канал нагретого воздуха; *5* — вентилятор

Печи второго вида имеют в центральной части аккумулирующего сердечника воздушные каналы, снабженные специальными клапанами. Первоначально теплоотдача происходит с поверхности печи, а затем по мере снижения температуры в помещении клапаны могут приоткрываться и дополнительная теплоотдача идет за счет конвекции воздуха через каналы.

Наиболее совершенную конструкцию имеют печи третьего вида, в которых поток тепла через воздушные каналы осуществляется с помощью встроенного вентилятора (рис. 1.2). Теплоотдача с поверхности таких печей меньше, чем в печах первого и второго вида, за счет усиленной теплоизо-

ляции. Управление включением и отключением электродвигателя вентилятора осуществляется терморегулятором.

На рис. 1.3 приведены кривые режима работы аккумуляционной печи третьего вида мощностью 3 кВт. Пунктирная кривая 1 показывает процесс теплоотдачи (разряда) и накопления тепла (заряда) $Q$, % печи в течение суток. Кривая *2* показывает изменения температуры в помещении.

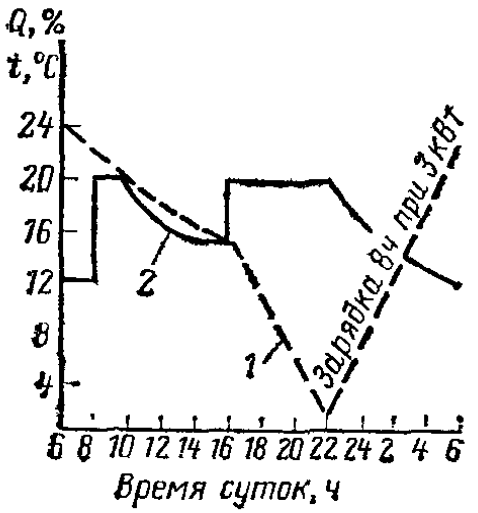



Рис. 1. 3. Кривая режима работы аккумуляционной печи третьего вида

Наиболее стабильная температура выдерживается в период с 16 до 22 ч, затем температура к утру снижается до 10 °С. С 22 до 6 ч идет заряд печи. Утром включается вентилятор и происходит быстрый подъем температуры в помещении до 20 °С. В период отсутствия жильцов с 8 до 16 ч происходит теплоотдача только от наружных поверхностей. Управление такими печами целесообразно осуществлять централизованно с диспетчерских пунктов энергосистем или микрорайонов. Недостатком аккумуляционных печей является их большая масса (до 75—100 кг на 1 кВт мощности), громоздкость и высокая стоимость.

С целью уменьшения габаритов аккумуляционных печей иногда применяются полуаккумуляционные печи. В них тепло накапливается за 2—4 ч, в остальное время (после достижения требуемой температуры) они работают как приборы непосредственного действия. В периоды вечернего и дневного максимумов печи отключаются от сети. Широкого распространения полуаккумуляционные печи не имеют.

*Тепловые насосы.* Особую группу перспективных систем электроотопления составляют так называемые тепловые насосы. Тепловые насосы бывают компрессионные и полупроводниковые.

На рис. 1.4, *а* показана принципиальная схема компрессионного теплового насоса, работающего в режиме отопления. Система, состоящая из компрессора *К*, конденсатора *А* и испарителя *Б* заполнена фреоном или другой жидкостью, кипящей при низких температурах. Испаритель *Б* находится вне отапливаемого помещения, а конденсатор

*А* — внутри. Фреон, испаряясь в испарителе, отбирает тепло у наружного воздуха. С помощью компрессора фреон сжимается и в нагретом виде подается в конденсатор, с поверхности которого отдает тепло в помещение. Жидкий

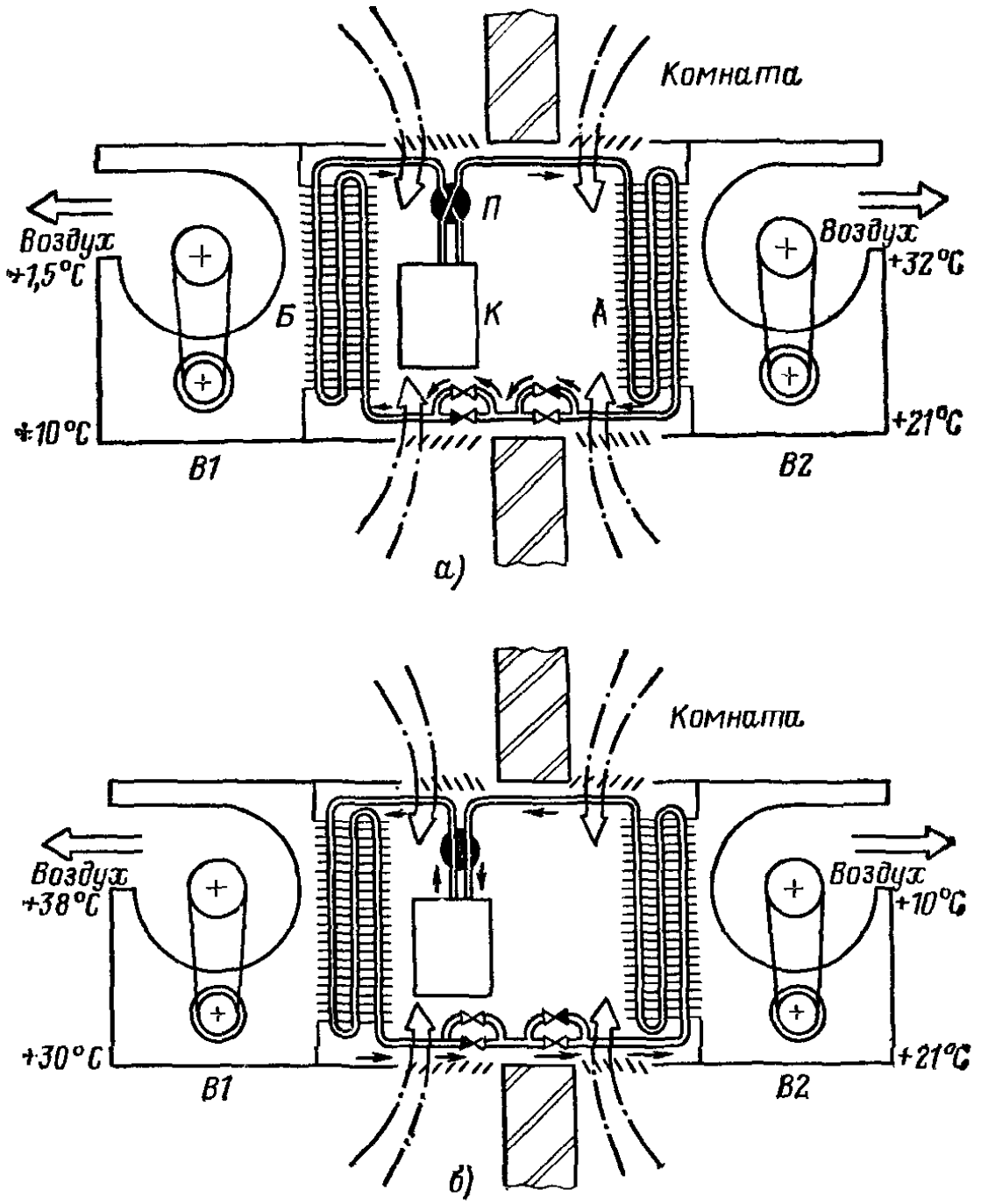



Рис. 1.4. Схема работы теплового насоса воздух — воздух в режимах отопления (*а*) и охлаждения (*б*)

фреон из конденсатора поступает в испаритель, где вновь испаряется, и процесс повторяется. Для циркуляции наружного воздуха в кожухе испарителя служит вентилятор *В1*, а для циркуляции комнатного воздуха в кожухе конденсатора — вентилятор *В2*.

Этот же прибор может работать в режиме охлаждения в летнее время (рис. 1.4, *б*). Для этой цели служит переключающий вентиль *П* с помощью которого изменяется направление потока фреона, в результате чего конденсатор становится испарителем, а испаритель конденсатором, и процесс идет в обратном направлении. Стрелочками на рисунках показано направление протекания фреона.

Тепловой насос может быть построен на основе принципа термоэлектрического генератора, заключающегося в том, что при прохождении постоянного тока через спай двух разнородных металлов в местах спая на одном конце происходит отдача, а на другом — поглощение тепла. Если холодный спай поместить в холодную среду, а горячий — в более теплую, то при прохождении тока холодный спай будет поглощать тепло из окружающей среды (наружного воздуха), а горячий — отдавать тепло в помещение. Вместо разнородных металлов могут быть использованы полупроводники, у которых тепловой эффект возникает на границе слоев с электронной и дырочной проводимостью.

Наиболее важное достоинство теплового насоса состоит в том, что количество передаваемой им энергии может в несколько раз превышать затраты энергии от внешнего источника. Количественно это может быть выражено отопительным коэффициентом

$$K_o = \frac{T_{гор}}{T_{гор} - T_{хол}}, \qquad (1.1)$$

где $T_{гор}$, $T_{хол}$ — температуры источника тепла (наружного воздуха) и воздуха, поступающего в помещение.

Теоретически отопительный коэффициент может достигать значения 30 и более, однако в реальных конструкциях он не превышает 4—5.

Отопительный коэффициент тем выше, чем меньше разность температур наружного и внутреннего воздуха. Поэтому наиболее целесообразно применение тепловых насосов в районах с мягкой зимой и жарким летом (с учетом обратимости их действия). Могут также найти применение в будущем тепловые насосы, снабженные дополнительными электронагревателями, отключаемыми с помощью циркулярного телеуправления в часы максимума энергосистем.

В СССР Энергетическим институтом им. Г. М. Кржижановского разработаны и прошли эксперимеитальную

проверку полупроводниковые тепловые насосы теплопроизводительностью 6, 12, 20 и 30 тыс. кДж/ч и холодопроизводительностью 4, 8, 13, 20 кДж/ч с потребляемой мощностью соответственно 0,6; 1,2; 2; 3 кВт. Внедрение тепловых насосов пока ограничено их высокой стоимостью, а также шумом от работы компрессора и вентиляторов.

**Общедомовые электроприемники.** К общедомовым приемникам относятся:

а) осветительные установки лестничных клеток, технических подпольев и подвалов, чердаков, вестибюлей, холлов, коридоров, мусорокамер, машинных помещений и шахт лифтов, установки праздничной иллюминации, заградительные огни и т. д.

б) силовые установки грузовых и пассажирских лифтов, вентиляционных систем, устройств дымозащиты, в отдельных случаях — насосы противопожарного и хозяйственного водоснабжения;

в) усилители и другая аппаратура систем коллективного приема телевизионных передач, трансформаторы радиотрансляции;

г) машины для механизированной уборки лестниц, коридоров и т. п.;

д) элементы диспетчеризации, кодовые замки, домофоны.

*Электрическое освещение.* Для освещения лестниц, вестибюлей, холлов, коридоров до последиего времени применялись лампы накаливания. В настоящее время внедряется люминесцентное освещение, позволяющее без перерасхода энергии создать более высокие уровни освещенности. Кроме того, люминесцентные лампы имеют существенно большой срок службы и менее чувствительны к колебаниям напряжения.

Для освещения прочих помещений применяются лампы накаливания. В технических подпольях, мусорокамерах, машинных отделениях лифтов, в насосных, на чердаках используются светильники во влагозащищенном исполнении. При прокладке газопроводов в технических подпольях выключатели выносятся наружу.

*Силовые электроприемники.* К ним в первую очередь относятся электродвигатели и другие электроприемники лифтовых установок. В жилых домах в зависимости от этажности устанавливаются один, два или три лифта грузоподъемностью 350, 500 и 1000 кг. Скорости лифтов 0,5 м/с в девятиэтажных домах и 1; 1,4 и 2 м/с при большей этажности.

Пассажирские лифты оборудуются, как правило, двухскоростными асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами серии АС в малошумном исполнении. Для особо крупных и высоких зданий применяются лифты с электроприводом по системе генератор — двигатель на постоянном токе или электродвигатель постоянного тока, подключаемый к сети переменного тока через выпрямители. В систему электропривода лифта входят электромагнитный тормоз и аппаратура управления.

К силовым электроприемникам относятся электродвигатели вентиляторов и насосов, работающие в системах санитарно-технических и противопожарных устройств зданий, и различные электромагниты для открывания клапанов и люков систем дымоудаления зданий высотой более девяти этажей, а также аппаратура связи и сигнализации.

## 1.2. Электроприемники общественных зданий

Согласно СНиП II-Л.2—72 «Общественные здания и сооружения. Нормы проектирования. Общая часть» к общественным относятся здания:

1) организаций и учреждений управления, партийных, комсомольских и других общественных организаций:

2) учреждений финансирования, кредитования и государственного страхования;

3) библиотек, читальных залов, архивов;

4) учреждений просвещения: общеобразовательных и специальных школ, профессионально-технических училищ, высших и средних специальных учебных заведений;

5) детских дошкольных учреждений — яслей и детских садов;

6) предприятий торговли: продовольственных, промтоварных магазинов, универмагов и универсамов, специализированных магазинов, рынков;

7) предприятий общественного питания: столовых, кафе, ресторанов, баров, закусочных и др.;

8) предприятий бытового обслуживания населения: ателье и мастерских по ремонту и индивидуальному пошиву одежды и обуви, ремонту и изготовлению металлоизделий и часов, ремонту радио- и телевизионной аппаратуры, бытовых машин и приборов, транспортных средств, ремонту и изготовлению мебели, кожгалантереи, парикмахерских, бань, прачечных, пунктов проката, фотографий, фаб-

рик химической чистки и крашения одежды, ателье по ремонту и вязке трикотажных изделий, предприятий по ремонту квартир и т. п.;

9) гостиниц, домов колхозников;

10) лечебных учреждений: больниц, общих и специализированных, поликлиник, аптек, медицинских пунктов и т. д.;

11) музеев, выставочных залов;

12) зрелищных предприятий: театров, кино и киноконцертных залов, цирков, домов культуры, клубов;

13) спортивных сооружений.

Перечисленные выше здания и сооружения имеют самые различные назначения, и в них осуществляются разнообразные технологические процессы, при которых используется большое число электроприемников.

Условно все электроприемники общественных зданий могут быть разделены на две большие группы: осветительные и силовые. В основных помещениях общественных зданий в целях экономии электроэнергии и получения высоких уровней освещенности, как правило, используются светильники с люминесцентными лампами в исполнении, соответствующем условиям среды и выполняемой работы. Следует считать перспективным использование в некоторых помещениях современных металлогалогенных ламп.

Во вспомогательных помещениях, складах и кладовых применяются лампы накаливания. В ряде случаев для целей архитектурного и декоративного освещения также применяются светильники в специальном исполнении с лампами накаливания.

В зависимости от выполняемых технологических операций к силовым относятся электроприемники механического оборудования, электротеплового оборудования; холодильных машин, подъемно-транспортного оборудования, санитарно-технических установок, связи, сигнализации и противопожарных устройств, аппаратуры управления и других видов технологического оборудования.

Объем данной книги не позволяет описать большое количество электроприемников, применяемых в общественных зданиях. Как правило, соответствующие данные выдаются электрикам для проектирования технологами. В табл. 1-2 приведены технические характеристики некоторых видов оборудования, наиболее распространенного в массовом строительстве предприятий торговли и общественного питания.

Таблица 1.2. **Технические характеристики электроприемников, устанавливаемых на предприятиях общественного питания и торговли**

| Наименование оборудования | Тип | Габариты, мм | Масса, кг | Мощность, кВт |
|---|---|---|---|---|
| **Механическое оборудование** | | | | |
| Мясорубка | МИМ-105 | 700×355×940 | 150 | 2,2 |
| | М-2 (764) | 840×310×480 | 72 | 1,0 |
| Фаршемешалка | Л5-ФМ2-М-150 | 1625×730×980 | 168 | 3,27 |
| Машина для резки замороженных продуктов | МРЗП | 800×750×1370 | 360 | 2,31 |
| Машина для резки гастрономических товаров | МРГ-300А | 680×480×570 | 50 | 0,54 |
| Машина для тонкого измельчения вареных продуктов | МИВП | 780×410×1180 | 150 | 5,5 |
| Хлеборезка | МРХ-180В | 1200×600×730 | 80 | 0,27 |
| Кофемолка | МИК-60 | 545×365×805 | 60 | 1,5 |
| Машина взбивальная | МВ-35 | 780×534×1080 | 257 | 0,8 |
| Тестомесительная машина | ТМ-63 | 1600×1430×1400 | 945 | 5,1 |
| Картофелечистка | МОК-250 | 630×430×920 | 105 | 0,6 |
| Машина для приготовления картофельного пюре | МКП-60 | 1180×955×1385 | 330 | 9,45 |
| Машина общерезательная универсальная | МРА-400-1000 | 750×510×710 | 90 | 0,8 |
| Привод универсальный | ПУ-0,6 | 1000×500×910 | 100 | 0,8 |
| Электропила | ФЭП | 1280×300×495 | 52 | 1,7 |
| Линия для расфасовки гастрономических товаров в термоусадочную полиэтиленовую пленку | ЛРГТ-700А | 6020×1410×1500 | 1540 | 11,5 |
| **Электрооборудование** | | | | |
| Плита электрическая секционная модулированная с жарочным шкафом | ПЭСМ-4ШБ | 1050×840×860 | 245 | 17,04 |
| | ПЭСМ-2К | 420×840×860 | 95 | 3,8 |
| | ПЭСМ-2НШ | 840×840×860 | 265 | 12,24 |
| Электроплита | ЭП-7 | 1090×836×800 | 218 | 9,8 |
| Электромармит | ЭПМ-5М | 1605×932×1150 | 160 | 3,75 |
| | МСЭ-110 | 1600×850×1050 | 260 | 4,17 |
| Жаровня вращающаяся | ВЖШЭ-675 | 960×760×1300 | 240 | 15,4 |

Продолжение табл. 1.2

| Наименование оборудования | Тип | Габариты, мм | Масса, кг | Мощность, кВт |
|---|---|---|---|---|
| Печь конвеерная жарочная | ПКЖ | 4400×900×1400 | 950 | 58,8 |
| Водонагреватель | НЭ-1В | 670×510×610 | 65 | 9,6 |
| Автоклав со станцией управления | АЭ-1 | 820×980×1245 | 178 | 10,8 |
| Котел пищеварочный секционный, модулированный | КПЭСМ-60М | 1050×900×860 | 248 | 9,45 |
| Сковорода электрическая секционная, модулированная | СЭСМ-0,2<br>СЭСМ-0,5А1 | 1050×840×860<br>1470×915×878 | 185<br>320 | 6,0<br>12,0 |
| Шкаф жарочный | ШЖЭСМ-2 | 830×800×1500 | 340 | 9,6 |
| Кипятильник | КНЭ-100М | 440×370×800 | 35 | 12,0 |
| Сосисковарка | ТЕ-11 | 590×410×280 | — | 4,0 |
| **Посудомоечное оборудование** | | | | |
| Машина для мытья посуды | ММТ-1<br>ММУ-2000<br>ММТУ-1000 | 3580×1050×1375<br>4800×1100×1350<br>3770×1060×1540 | 630<br>1058<br>950 | 33,18<br>40,8<br>40,0 |
| **Холодильное оборудование** | | | | |
| Прилавок витрина | ПВ-Ш | 2058×854×1135 | 380 | 3,17 |
| Витрина холодильная | ВХС-2-4К | 3750×1122×2000 | 610 | 3,2 |
| Прилавок холодильный | ПХС-2-20 | 5500×1230×860 | 850 | 2,3 |
| Холодильная машина | ХМВ 1-6<br>ХМ1-6 | 865×920×860<br>1265×485×747 | 256<br>— | 3,5<br>3,1 |
| Холодильный агрегат | ФАК-1,5-М3 | 755×540×455 | 91 | 1,5 |
| Камера низкотемпературная | НКР-1 | 340×2190×2290 | 890 | 1,68 |
| **Контрольно-кассовые аппараты** | | | | |
| Машина контрольно-кассовая | «Ока»<br>КС-2М | 456×355×435<br>492×412×530 | 36<br>75 | 0,05<br>0,05 |
| Машина электронная контрольно-регистрирующая | П-302А | 405×485×440 | 50 | 0,2 |

Энергоемкими потребителями являются коммунальные предприятия, такие как общественные прачечные и бани, а также фабрики химической чистки одежды.

В прачечных основными потребителями электроэнергии являются стиральные машины, сушильные барабаны и гладильные машины. В банях часто применяются электрифицированные сауны.

В ателье пошива и ремонта обуви и одежды основными потребителями энергии являются швейные машины, гладильные прессы, утюги, а также обувные машины по ремонту и отделке обуви.

Общественные здания, как правило, имеют ряд приточно-вытяжных вентиляционных установок, обеспечивающих нормальные условия работы, а в таких крупных зданиях, как гостиницы, зрелищные предприятия, музеи, универсальные магазины, широко применяются системы воздушного отопления и кондиционирования воздуха. Кроме того, во многих общественных зданиях устанавливаются насосы систем горячего и холодного водоснабжения для хозяйственных и противопожарных нужд.

Большинство механизмов оборудовано асинхронными электродвигателями с короткозамкнутыми роторами без регулирования частоты вращения.

## Глава вторая

# РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ БЫТА В СССР

### 2.1. Методика прогнозирования

Уровень электрификации быта и ее развитие зависит от объема производства электроэнергии, наличия или отсутствия ограничений на пользование электрической энергией для бытовых целей, развития производства бытовых электроприборов, материального благосостояния населения, обеспеченности трудящихся жилой площадью, тарифов на электроэнергию, уровня коммунально-бытового обслуживания населения и некоторых других факторов.

Основными количественными показателями, характеризующими уровень электрификации быта, являются расход электроэнергии на душу населения или на семью в киловатт-часах в год, называемый электропотреблением, и максимальная электрическая нагрузка в киловаттах. Первая

величина имеет важнейшее значение для составления топливно-энергетических балансов, вторая необходима при проектировании как внутренних, так и внешних электрических сетей. Правильное определение электропотребления и электрических нагрузок и прогнозирование этих величин на расчетный период — весьма трудная задача, поскольку их формирование носит случайный характер.

За последние годы создана теоретическая база для расчетов электропотребления и электрических нагрузок в жилых зданиях и их прогнознирования на основе методов прикладной математики, теории вероятностей и математической статистики. Расчеты по указанным методам базируются на широких исследованиях в различных районах страны и проведении необходимых обобщений.

Отметим некоторые методы расчетов, используемые в практике прогнозирования [7, 8, 9]:

*непосредственная экстраполяция.* Прогнозирование по этому методу заключается в переносе событий и состояний недавнего прошлого на будущее (как правило, темпов прироста). Ввиду того что метод не учитывает возможных качественных изменений процесса, его можно использовать при краткосрочном прогнозировании, примерно на 3—5 лет;

*корреляционные* (см. § 2.4);

*прямого счета.* Потребность в электроэнергии определяется как произведение удельного расхода электроэнергии на соответствующий объем (например, полезная площадь квартиры, площадь застройки, количество выпускаемых изделий и т. д.). Для использования метода прямого счета необходима стабильность процесса и отсутствие резкого влияния качественных изменений техники и технологии, применим при краткосрочном прогнозировании;

*компаративные* (подобие, аналогия, сравнение). В практике прогнозирования используется моделирование процесса, при котором изучаемые явления замещаются другим явлением, подобным рассматриваемому. К данному методу относятся различные виды математического и информационного моделирования. В ряде случаев процесс изменения электропотребления может быть охарактеризован функциональной зависимостью, представляющей собой математическую кривую, описываемую уравнениями: линейными, алгебраического многочлена, экспоненты, логарифмическими, степенными и т. д. Определив на основе экспериментальных данных коэффициенты, входящие в

указанные уравнения, можно определить электропотребление на расчетный период;

*прогнозирование электропотребления по динамическому ряду.* По этому методу определяются скорость (темп роста), ускорение (темп прироста), скорость ускорения, по которым выявляются тенденции развития электропотребления. Надо помнить, что скорость — первая производная функции, ускорение — вторая производная и т. д.

*экспертных оценок.* В основе этого метода лежит опыт, накопленный специалистами в процессе решения практических задач. Оценки специалистов могут быть индивидуальными и коллективными. Для этих целей используются различные опросы, анкеты и т. п., которые обрабатываются специальными способами (например, метод Дельфи). Экспертные оценки применяются в практике перспективного планирования на отдаленный период, однако от них нельзя ожидать высокой точности.

Как показывают исследования, проведенные в течение ряда лет, можно считать с достаточной для практики точностью, что процессы формирования электрических нагрузок подчиняются закону нормального распределения (закон Гаусса). Это позволило при охвате сравнительно небольшого количества объектов исследования получать относительно достоверные обобщенные результаты, используемые при проектировании городских внешних сетей и внутренних сетей зданий.

Важность расчетов электрических нагрузок можно подтвердить следующим простым примером. Так, только в Москве ежегодно сооружается не менее 250 городских трансформаторных подстанций. Ошибка в расчете электрических нагрузок в сторону завышения на 10 % приведет к строительству лишних 20—25 подстанций. Таким образом, завышение электрических нагрузок ведет к омертвлению материальных ресурсов, а их занижение вызовет преждевременную реконструкцию электросетей.

В области прогнозирования электрических нагрузок и электропотребления жилых и общественных зданий в СССР большую работу проводят ученые и специалисты АКХ, Московского научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования (МНИИТЭП), Московского энергетического института, Ленинградского политехнического и инженерно-экономического институтов, Энергосетьпроекта и ряда других организаций.

Представляется целесообразным рассмотреть три уровня электрификации быта: для газифицированных квартир — освещение, бытовые электроприборы; для квартир с кухонными электроплитами — освещение, бытовые электроприборы, электропищеприготовление; для квартир с полной электрификацией — освещение, бытовые электроприборы, стационарные кухонные электроплиты, приготовление горячей воды с помощью ЭВН и электроотопление.

Для всех уровней электрификации в ряде районов страны (см. ниже) необходимо учитывать нагрузки от бытовых кондиционеров.

## 2.2. Насыщение квартир бытовыми электроприемниками

Мощное развитие энергетики в СССР и массовый выпуск отечественной промышленностью бытовых электроприборов обеспечили широкую электрификацию жилых квартир, а также высокую степень механизации, электрификации и автоматизации во всех видах общественных зданий. Рост количества бытовых электроприборов у населения [11] может быть охарактеризован данными, приведенными в табл. 2.1.

Приведенные средние данные (по стране в целом) в крупных городах уже сейчас значительно превышены. Наряду с широко используемыми бытовыми электроприборами в ближайшие годы следует ожидать распространения новых приборов, в том числе ряда приборов (автоматизированные посудомоечные и стиральные машины и т. д.) увеличенной единичной мощности. Важной тенденцией развития электрификации квартир является внедрение стационарных электроплит, которые будут устанавливаться в квартирах жилых домов высотой 10 этажей и более.

Как показывают социальные исследования, несмотря на широкое развитие сети общественного обслуживания населения, до 90 % хозяйственных работ (приготовление пищи, стирка, уборка и т. д.), по-видимому, будут выполняться непосредственно в квартирах и в будущем. Следовательно, для экономии затрат труда на эти работы важной задачей остается дальнейшее развитие и внедрение бытовых электроприборов. Согласно исследованиям Киевского зонального научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий [12] затраты времени на выполне-

Таблица 2.1. **Количество бытовых электроприборов у городского населения**

| Электроприборы | Количество приборов на 100 семей | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1960 г. | 1965 г. | 1970 г. | 1975 г. | 1980 г.* |
| Радиоприемники и радиолы | 48 | 61 | 71 | 75 | 80 |
| Телевизоры | 10 | 26 | 56 | 89 | 95 |
| Холодильники | 3,5 | 11 | 32 | 61 | 90 |
| Стиральные машины | 4 | 21 | 52 | 64 | 68 |
| Электроутюги | 43 | 74 | 80 | 85 | 95 |
| Электроплитки переносные | 58 | 80 | 90 | — | — |
| Магнитофоны | 0,5 | 2,6 | 7,4 | — | 15 |
| Электрочайники и кофеварки | 0,6 | 3,4 | 10 | 17,7 | 21 |
| Электропылесосы | 2,8 | 6,8 | 12 | 24 | 43 |
| Посудомоечные машины | — | — | — | 0,04 | 0,3 |
| Универсальные кухонные машины | — | — | — | — | 1 |
| Электросамовары | — | — | — | 7 | 12 |
| Кофемолки | — | — | — | 2,1 | 2,4 |
| Электропечи «Чудо» | — | — | — | 3 | 5 |
| Электромясорубки | — | — | — | 0,2 | 1 |
| Морозильники | — | — | — | 0,06 | 1 |
| Электросушилки для белья | — | — | — | 0,4 | 3 |
| Гладильные машины | — | — | — | 0,2 | 1,5 |
| Увлажнители воздуха | — | — | — | 0,5 | 2,0 |
| Электросушилки для грибов и фруктов | — | — | — | 0,1 | 1,0 |

* На основе расчетов и экспертной оценки авторов.

ние домашних работ могут быть снижены по меньшей мере наполовину за счет широкого внедрения бытовой техники. Это позволит сэкономить сотни миллионов человекочасов для труда и культурного отдыха и других целей.

Характеризуя тенденцию развития электрификации быта, следует подчеркнуть, что пока в городах насыщение бытовыми электроприборами остается выше, чем в сельской местности. Однако в ближайшие годы, по мере роста систем электроснабжения, темпы роста электрификации быта в сельской местности возрастут.

## 2.3. Уровни электропотребления

Выше были рассмотрены общие положения и тенденции развития электрификации быта. Сейчас целесообразно рассмотреть конкретные показатели электропотребления и закономерности их формирования. Динамика развития электрификации быта лучше всего может быть охарактеризована электропотреблением на все коммунально-бытовые нужды на одного жителя в год [11, 13, 14].

| | 1960 г. | 1965 г. | 1970 г. | 1975 г. | 1980 г. |
|---|---|---|---|---|---|
| В городах, кВт·ч/житель | 300 | 415 | 590 | 812 | 977 |
| % к 1960 г. | 100 | 138 | 196 | 270 | 326 |
| В сельской местности, кВт×ч/житель | 31 | 65 | 118 | 246 | 280 |
| % к 1960 г. | 100 | 210 | 370 | 795 | 905 |

Приведенные данные по электропотреблению на одного городского и сельского жителя в 1980 г. определены на основании расчетов АКХ. Они отражают значительный рост удельного электропотребления на коммунально-бытовые нужды и опережающий его рост в сельской местности. Расход электроэнергии на коммунально-бытовые нужды учитывает внутриквартирное потребление, расход на общедомовые нужды, наружное освещение, водопровод и канализацию, торговлю, общественное питание, здравоохранение, административные учреждения, зрелищные предприятия, городской электрифицированный транспорт, учебные заведения и т. д. Собственно внутриквартирное потребление составляет 30—40 % общего потребления энергии на коммунально-бытовые нужды. В развитых капиталистических странах уровень электрификации быта характеризуется следующими данными.

Доля коммунально-бытового электропотребления составляла в 1970—1971 гг. в США — 34, во Франции 27, в Великобритании 39, в Японии 23 % общего потребления электроэнергии. В последующие годы в результате роста цен на топливо и электроэнергию и энергетического кризиса в США и ряде стран Европы произошло снижение коммунально-бытового электропотребления [5]. В СССР удельный вес коммунально-бытового потребления составил в 1979 г. 12 % общего объема производства в городах и около 3,5—4 % в сельской местности.

Внутриквартирное потребление электроэнергии в нашей стране неуклонно растет. В домах с газовыми плита-

ми оно составляло в 1960 г. — 450, в 1965 г. — 600, в 1970 г. — 730, в 1975 г. — 950 кВт·ч в год на семью. В домах с электроплитами электропотребление составило в 1965 г. — 1800, в 1970 г. — 1900, в 1975 г. — 2050 кВт·ч в год на семью.

Рост электропотребления в домах с электроплитами ниже, чем с газовыми, и не превышает 2,0 %.

Приведенные цифры не учитывают расхода электроэнергии на индивидуальный электроводонагрев и электроотопление, которые в нашей стране применяются крайне мало.

Структура распределения электроэнергии внутри квартиры за последние годы значительно изменилась. Если в 1960 г. на электроосвещение расходовалось 85 %, то в настоящее время в домах с газовыми плитами на электроосвещение расходуется 30—35 %, а в домах с электроплитами — примерно 20 % внутриквартирного потребления. По мере повышения световой отдачи осветительных приборов и внедрения люминесцентного освещения, несмотря на рост освещенности в квартирах, удельный вес электроэнергии, затрачиваемой на освещение, будет понижаться.

В зарубежных странах структура внутриквартирного потребления также претерпела определенные изменения, особенно в связи с массовым применением электроплит, а также внедрением электроводонагрева и электроотопления.

Так, по данным [5], в полностью электрифицированных квартирах электроэнергия распределяется следующим образом: на освещение 10, на электроводонагрев 20, на приготовление пищи 10, на электроотопление 50 %, остальная часть расходуется другими бытовыми приборами.

Основным направлением совершенствования бытовых электроприборов за рубежом является увеличение их единичной мощности с целью повышения производительности и максимальная их автоматизация.

В отличие от капиталистических стран, где рост электрификации быта определяется не потребностями трудящихся, а стремлением к получению наибольших прибылей, в СССР этот рост определяется общими задачами планомерного и пропорционального развития народного хозяйства.

## 2.4. Развитие коммунально-бытового электропотребления

Прогнозирование расходов электроэнергии на бытовые нужды основывается на результатах многолетних исследований фактического электропотреблеиия, а также иа оценке влияния иа иего отдельных электроприемников.

Для расчетов целесообразно воспользоваться методом множественной корреляции, который позволяет на основе достаточно большого объема обследований выявить влияиие отдельных электроприемников или их групп на суммарное электропотребление. Остановимся в самых кратких чертах на начальных положениях корреляциониого аиализа.

Корреляция в математической статистике характеризует связь между явлениями, если одно из них входит в число причин, определяющих другие, или если нмеются причины, воздействующие на эти явления.

Корреляцнонный анализ рассматривает степень зависимости случайиых событий и величин. Если две величины $x$ и $y$ связаны функциональиой зависимостью, то каждому значению $x$ соответствует определенное значение $y$. Например, данному значению угла сдвига фаз $\varphi$ соответствует определеииое значение коэффициента мощности $\cos\varphi$. Если же некоторому значению $x$ соответствует статистический ряд возможных значеиий $y$, то такая зависимость называется корреляционной. Например, одно и то же количество квартир может давать различные электрические нагрузки на шины трансформаторной подстаиции.

Чтобы математически описать характер корреляционной зависимости (связи) между явлениями, определяют среднее значение $y$ по $x(y_x)$ и среднее значение $x$ по $y(x_y)$. Эти величины определяются из выражеиий

$$\bar{y}_x = \frac{\sum\limits_y m_{xy}\, y}{m_x} \text{ и } \bar{x}_y = \frac{\sum\limits_x m_{xy}\, x}{m_y},$$

где $m_y = \sum\limits_x m_{xy}$ и $m_x = \sum\limits_y m_{xy}$; $m_y$ — число значений $x$ при неизменном $y$; $m_x$ — число значений $y$ при неизменном $x$; $\Sigma m_x = \Sigma m_y = n$; $n$ — общее число наблюдений.

При математической обработке результатов иаблюдений составляются специальные таблицы и графики, на основе которых выясняется характер зависимости $y$ от $x$ или $x$ от $y$. Такая зависимость может быть близкой к прямолиненйиой или криволинейной. Зависимость $y = f(x)$ называется уравнением регрессии $y$ на $x$. При прямолинейной зависимости двух величин уравнение регрессии может быть представлено в следующем виде: $y = ax + b$.

Величины $a$ и $b$ называются коэффициентами регрессии. Для их определения пользуются методом наименьших квадратов. Метод наименьших квадратов основан на том, что сумма квадратов отклонений средних значений от расчетных по формуле регрессии должна быть наименьшей, т. е. чтобы сумма $\sum_x m_x(y_x-y)^2=\sum_x m_x(y_x-ax-b)^2$ имела наименьшее значение. Для этого определяются частные производные приведенного уравнения и приравниваются нулю. В итоге получаем два уравнения с двумя неизвестными, из которых определяются коэффициенты регрессии $a$ и $b$ и составляется так называемое теоретическое уравнение регрессии.

Если бы связь между $y$ и $x$ была функциональной и притом линейной, то вычисляемые по уравнению значения $y$ совпали бы с фактическими. Но в статистических измерениях функциональная зависимость уже становится корреляционной, поскольку сами параметры меняются. Следовательно, фактические значения $y$ будут отличаться от вычисленных по уравнению. Чем больше вариаций условий, тем больше будут отклонения от вычисленных значений. В связи с этим вводится понятие тесноты корреляционной зависимости.

Теснота корреляционной зависимости определяется величиной

$$r=a\frac{\sigma_x}{\sigma_y}, \tag{2.1}$$

где $\sigma_x$ и $\sigma_y$ — среднеквадратичные отклонения случайных величин $x$ и $y$ от их средних значений $\bar{x}$ и $\bar{y}$.

Величина $r$ называется коэффициентом корреляции, значения которого колеблются от 0 (при отсутствии линейной связи) до 1 при функциональной зависимости. При $r=0{,}2\div0{,}3$ можно считать, что величины находятся в корреляционной связи.

В несколько преобразованном виде формула для коэффициента корреляции имеет вид

$$r=\frac{\sum_0^n(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{n\sigma_x\sigma_y}. \tag{2.2}$$

В практике часто приходится сталкиваться со статистическими связями между несколькими величинами одновременно. В нашем случае это ряд электроприемников со своими характерными режимами работы. Наиболее простой формой связи является линейная, причем уравнение связи, например, между тремя величинами имеет вид

$$z=ax+by+c.$$

Принципиально задача получения уравнения регрессии решается методами, аналогичными приведенным выше. Такие связи носят название множественной линейной корреляции.

Изложеиные выше краткие сведения по корреляционному аиализу приведены в книге для ознакомления читателя лишь с основами методики изучения процесса формирования электрических нагрузок и электропотребления. Корреляциоиный анализ широко применяется в самых различиых отраслях техники. Для детального ознакомления с этими вопросами следует обратиться к специальной литературе [10, 15].

Натуриые обследования и проведенные расчеты, выполненные рядом оргаиизаций с применением корреляционных методов (по ряду приборов данные приведены иа основе расчетов и экспертиой оценки авторов), позволяют привести средние даниые по расходу электроэнергии на квартиру (семью) в крупных городах в настоящее время. Одновременно рассмотрены расходы электроэнергии по различным потребителям на перспективу.

**Освещение квартир.** При прогнозировании расхода электроэнергии на освещение необходимо учитывать прежде всего улучшение качества освещения, экономичность различных источников света и повышение норм жилой площади.

Улучшение качества освещения достигается в первую очередь за счет повышения освещенности. С 1 января 1980 г. введены новые нормы по естественному и искусственному освещению (СНиП II-4—79), устанавливающие значения средней освещенности (для люминесцентных ламп) при совместном действии всех светильников (кроме настольных) в жилых комнатах 100, в кухнях 100 лк. В прихожих нормируется минимальная освещенность 50, в санузлах 50, на площадках и ступенях лестниц 50 лк. Для подключения светильников местного освещения предусматриваются штепсельные розетки.

Экономичность источников света повышается за счет увеличения их световой отдачи, а также внедрения люминесцентного освещения. Повышение нормы жилой площади не вызовет увеличения электропотребления, так как при большей общей площади квартиры, по-видимому, снизятся коэффициент одновременности и число часов использования максимума нагрузки. Надо ожидать также некоторого повышения КПД светильников за счет улучшения их конструкций. В итоге предполагаемый средний расход электроэнергии на освещение повысится незначительно и составит ориентировочно 450—500 кВт·ч в год на квартиру.

**Бытовые электроприборы.** Планируя насыщение квартир различными бытовыми приборами, можно рассчитать ожидаемое потребление электроэнергии на квартиру на расчетный период. При расчете электропотребления *телевизорами и радиоприемниками* необходимо учитывать наряду с ростом насыщения квартир снижение их мощности за счет замены электронных ламп полупроводниковыми приборами. В нашей стране в настоящее время наибольшее распространение имеют компрессионные *холодильники* и в меньшей мере абсорбционные. В перспективе абсорбционные холодильники будут постепенно вытесняться более экономичными полупроводниковыми. Следует иметь в виду, что расход электроэнергии на холодильники в разных районах нашей страны различен. Так, если расход электроэнергии в центральном районе (II) принять за 1, то для I района (Сибирь, Дальний Восток, Северозапад) следует ввести коэффициент 0,8; для III района (Украина, Поволжье, 50 % территории Казахстана, Молдавия, Северный Кавказ) — 1,15; для IV района (Средняя Азия, Закавказье) — 1,3.

*Стирка, сушка, глажение белья.* Определение расхода электроэнергии на стирку белья в индивидуальных стиральных машинах ведется с учетом массы сухого белья, накопленного за год в семье. Вместе с тем необходимо учитывать рост единичной мощности автоматизированных стиральных машин с подогревом воды.

*Прочие бытовые приборы.* К ним относятся пылесосы, полотеры, электрические швейные машины, кофеварки, кухонный привод, мясорубки, соковыжималки, санитарно-гигиенические приборы и т. п. Удельный расход электроэнергии этими приборами оценивается ориентировочно с учетом их единичной мощности, общего количества и числа часов использования.

*Приготовление пищи на электроплитах.* За последние годы накоплен некоторый опыт использования электроплит, особенно в Москве и ряде других городов.

Расходы электроэнергии на приготовление пищи составляют в настоящее время 300—350 кВт·ч на человека в год, что соответствует $7{,}6 \cdot 10^6$ МДж. В перспективе можно ожидать некоторого снижения этого расхода за счет улучшения теплоотдачи и конструкций конфорок, применения специальной посуды, все большего использованиея полуфабрикатов. Вместе с тем по мере роста благосостояния населения улучшится рацион питания, что несколько повысит число часов использования плиты.

*Горячее водоснабжение, электроотопление, кондиционирование воздуха.* До настоящего времени электроводонагрев и электроотопление в нашей стране заметного распространения не получили. Постепенно внедряются комнатные кондиционеры в районах с жарким климатом. Ввиду малого распространения расчеты расхода электроэнергии на водонагрев и электроотопление носят ориентировочный характер. Можно принять, что на одну семью на ванну, душ и хозяйственные нужды расходуется в среднем в сутки 100—160 л воды температурой 65 °С. При этом потребность в электроэнергии составит 2,7—4,3 тыс. кВт·ч в год. Расход электроэнергии для прямого электроотопления без автоматического регулирования при нормальной теплоизоляции зданий составляет 10—12 тыс. кВт·ч на квартиру. При повышенной теплоизоляции и автоматическом регулировании этот расход может быть снижен до 8 тыс. кВт·ч в год. Приведенные данные соответствуют средней климатической зоне. При кондиционировании воздуха и установке одного бытового кондиционера на квартиру расход электроэнергии в среднем составит 1,5—1,6 тыс. кВт·ч в год.

В табл. 2.2 приведено электропотребление на квартиру в год для современного уровня насыщения электроприборами и расчетный период (средние значения).

Данные табл. 2.2 целесообразно сравнивать с расчетами, которые основаны на использовании электропотребления по квартире в целом с учетом определенных ранее и предполагаемых темпов прироста электропотребления. Из материалов АКХ и других организаций следует, что темпы прироста электропотребления в год для газифицированных квартир составляют 3—3,5, а квартир с электроплитами 1,5—2 %. Полученные расчетом значения на перспективу близки к приведенным в табл. 2.2.

Как показывает опыт эксплуатации, удельное электропотребление в домах с централизованным теплоснабжением ниже, чем в домах, где оно отсутствует. В заключение отметим установленную зависимость среднего электропотребления от средней установленной мощности приборов в квартире. Для современного уровня электрификации быта зависимость между средним электропотреблением $W$, кВт·ч, и средней установленной мощностью $P_{уст}$ выражается уравнением

$$W = a + b\overline{P}_{уст}, \qquad (2.3)$$

Таблица 2.2. **Расход электроэнергии на квартиру (семью) в год (средние данные для многоэтажных домов)**

| Наименование | Средний расход электроэнергии на прибор или группу электроприемников, кВт·ч | | Насыщение, % | | Средний расход электроэнергии с учетом насыщения квартир электроприборами, кВт·ч/год | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | в настоящее время | на расчетный период | в настоящее время | на расчетный период | в настоящее время | на расчетный период |
| Освещение | 420 | 500 | 100 | 100 | 420 | 500 |
| Радиоприемники и радиолы (транзисторные 78, ламповые 22 %) | 8 | 10 | 80 | 95 | 6,4 | 9,5 |
| Телевизоры (с учетом цветных) | 120 | 150 | 95 | 100 | 111,5 | 150 |
| Холодильники и морозильники (с учетом увеличения емкостей) | 350 | 420 | 90 | 97 | 315 | 406 |
| Стиральные машины (с учетом внедрения стиральных машин с подогревом воды) | 40 | 75 | 68 | 75 | 27,2 | 56 |
| Электроутюги | 72 | 75 | 95 | 110 | 68,5 | 82,5 |
| Магнитофоны | 60 | 60 | 15 | 25 | 9 | 15 |
| Электрочайники, кофеварки | 150 | 150 | 21 | 25 | 31,5 | 37,5 |
| Электропылесосы | 40 | 60 | 43 | 60 | 17,2 | 36 |
| Прочие и новые приборы (15 %) | | | | | 150 | 200 |
| Итого для газифицированных домов | — | — | — | — | 1156,3 | 1492,5 |
| Кухонная электроплита | — | — | — | — | 1100 | 1000 |
| Итого в домах с электроплитами | — | — | — | — | 2256,3 | 2492,5 |

Примечания: 1. Приведенные данные основаны на материалах АКХ, МНИИТЭП, Всесоюзного научно-исследовательского института по изучению спроса населения на товары народного потребления и конъюнктуры торговли.

2. Средний расход электроэнергии на прибор определен с учетом различной мощности приборов одного и того же вида и их удельного веса в данной группе.

3. Полученные данные являются средними и могут быть значительно превышены отдельными семьями (примерно в 2 раза).

где $a$ можно принимать для газификационных квартир равным 617, а для квартир с электроплитами 1395; $b$ — для газифицированных квартир 159, а для квартир с электроплитами 280; $P_{уст}$ — средняя установленная мощность электроприемников в квартире (мощность электроплиты не учитывается), кВт. Определяется как сумма произведений мощности приборов на относительное насыщение электроприборами.

# Раздел второй
# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

## Глава третья
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

### 3.1. Постановка вопроса

Электрические нагрузки жилых квартир являются случайными, зависят от уклада жизни различных семей, набора электроприемников, материального достатка семьи и многих других факторов. Нагрузки жилых зданий существенно меняются в течение суток и в зависимости от времени года.

Начиная с 1961 г. принято нормировать электрические нагрузки в киловаттах на квартиру (семью), причем по мере увеличения количества квартир, присоединенных к данному элементу сети, удельные нагрузки снижаются. Такой подход хорошо отражает сущность процесса формирования электрических нагрузок и в известной мере соответствует методике расчета нагрузок в промышленности, где коэффициент спроса зависит от числа электроприемников и оправдал себя в проектной практике.

В данной работе для удобства изложения тоже будет применяться термин коэффициент спроса, являющийся отношением наибольшей расчетной нагрузки в данной точке сети к установленной мощности электроприемников. Однако надо помнить, что понятие установленной мощности по отношению к квартире является условным.

Утвержденные расчетные удельные нагрузки на квартиру приняты для периода зимнего максимума, т. е. для периода наибольших нагрузок в жилых зданиях, и определены на расчетный срок примерно 15 лет (для внутренних

сетей) и 8—10 лет для внешних сетей и трансформаторных подстанций. В значениях удельных нагрузок учтена и неизбежная случайная асимметрия нагрузок отдельных фаз (см. § 3.4), что особенно важно для жилых домов с электроплитами, где ток в нулевом проводе может достигать 50 % тока в фазе. Расчетные нагрузки для лифтовых установок определяются на основе коэффициентов спроса, зависящих от числа присоединеных лифтов и этажности зданий, установленных на основании специальных исследований.

Электрические нагрузки от различных встроенных и пристроенных к жилым домам торговых, коммунально-бытовых и тому подобных предприятий определяются на основании гл. 4, где также приведены коэффициенты участия этих потребителей в максимуме нагрузки электрической сети города.

## 3.2. Исследование и формирование электрических нагрузок жилых зданий

Выше уже упоминалось, что включенне электроприемников в квартире носит случайный характер и зависнт от ряда факторов. Все это в совокупности должно учитываться при определенни расчетной иагрузки, имеющей важнейшее значение для выбора параметров электрической сетн. За расчетную нагрузку согласно ПУЭ принимается *получасовой максимум*, который является наибольшим из средних получасовых нагрузок рассматриваемого элемента сетн (ввод в квартиру, стояк, питающая линия, шины подстанцнн н т. д.).

Для групповых сетей квартир более обоснованным было бы применение, например, 15-минутного максимума (при небольших сечениях проводов постоинная времени нагрева мала), но, имея в виду малую вероитность появления 15-мннутного максимума и некоторую условность принимаемых темпов естественного роста иагрузок, в расчетах сетей принимают еднный нормируемый получасовой максимум. Это позволяет выбирать сечения проводов и кабелей по таблицам, приведенным в ПУЭ, без каких-либо пересчетов. Ниже рассматриваются в схематическом виде вопросы формирования электрических нагрузок и методы обработки результатов натурных измерений [16].

*Средняя вероятность*[1] *включения электроприемников в данный момент времени за период* $T$ может быть выражена формулой

$$\bar{p} = \bar{S}/S_{\text{уст}} = W/(P_{\text{уст}} T), \qquad (3.1)$$

[1] Вероятностью называется мера объективной возможности данного события. Событием в теории вероятностей называетси всякое явление, которое произошло, но могло и не произойти.

где $\bar{S}$ — средняя за период $T$ потребляемая полная мощность, кВ·А; $S_{уст}$ — установленная мощность электроприемников, кВ·А; $P_{уст}$ — установленная активная мощность, кВт; $W$ — электроэнергия, потребляемая из сети за период $T$, кВт·ч.

При включении группы электропрнемников независимо друг от друга средние вероятности включения суммируются и определяются из выражения

$$\bar{p} = \Sigma\bar{S}_i/\Sigma S_{уст} = \Sigma S_{уст}\, p_{ri}/\Sigma S_{уст} = W_\Sigma/T\Sigma P_{уст}. \qquad (3.2)$$

Если, однако, режимы работы электроприемников зависят друг от друга, то средния вероятность включення группы будет меньше средней вероятности включения группы независимых электроприемников и средняя нагрузка этой группы будет меньше суммы средних нагрузок отдельных электроприемников. В таких случаях определяется средневзвешенная вероятность (по мощности)

$$\bar{p}_r = \bar{S}_\Sigma/\Sigma S_{уст} = \Sigma S_i K_{ci}/\Sigma S_{уст} = \Sigma S_{уст}\,\bar{p}_{ri} K_{ci}/\Sigma S_{уст} =$$

$$= \bar{S}_{max}/S_{уст} \approx \bar{P}_{max}/P_{уст}, \qquad (3.3)$$

где $\bar{S}_{max}$ и $\bar{P}_{max}$ — средние максимумы нагрузки группы электроприемников; $K_{ci}$ — коэффициент спроса $i$-го электроприемника.

При измереииях общих иагрузок в даниой точке сети взанмная зависимость режимов работы электроприемников учнтывается автоматически.

**Пример 3.1.** Определить среднюю вероятность включения группы электроприемников в квартире и средний максимум их нагрузки при независимом и зависимом режимах их работы при следующих исходных данных:

| Электроприборы | $\bar{p}_{уст}$, Вт | $K_{ci}$ | $\bar{P}_r$ |
|---|---|---|---|
| Освещение . . . . . | 450 | 0,7 | 0,6 |
| Радиоприемник . . . . | 75 | 0 | 0,5 |
| Телевизор . . . . . | 160 | 1 | 0,6 |
| Холодильник . . . . . | 140 | 1 | 0,2 |
| Стиральная машина . . | 350 | 0 | 0,1 |
| Утюг . . . . . | 1000 | 0 | 0,2 |
| Пылесос . . . . . | 400 | 0 | 0,1 |
| Прочие приборы . . . | 700 | 0,3 | 0,15 |
| Итого . . . . . | 3275 | | |

Решение. 1. Определяем среднюю вероятность и средний максимум нагрузки, предполагая, что электроприемники работают независимо друг от друга.

Воспользуемся выражением (3.2)

$$\bar{p}_r = \frac{450 \cdot 0{,}6 + 75 \cdot 0{,}5 + 160 \cdot 0{,}6 + 140 \cdot 0{,}2 + 350 \cdot 0{,}1 +}{3275} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{+ 1000 \cdot 0{,}2 + 400 \cdot 0{,}1 + 700 \cdot 0{,}15}{3275} = 812/3275 = 0{,}25.$$

Таким образом, средний максимум нагрузки составляет 812 Вт, а средняя вероятность включения группы приборов 0,25.

2. Выполним аналогичный расчет в условиях, когда при телевизионной передаче не включается ряд приборов ($K_{ci}=0$). Согласно выражению (3.3)

$$\bar{p}_r = \frac{450 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}7 + 160 \cdot 0{,}6 + 140 \cdot 0{,}2 + 700 \cdot 0{,}15 \cdot 0{,}3}{3275} =$$

$$= 344/8275 = 0{,}11.$$

Следовательно, в этом случае средний максимум нагрузки составляет 344 Вт, а средняя вероятность включения 0,11.

Рядом автором показано, что формирование электрических нагрузок группы электроприемников с достаточной точностью подчиняется **биномиальному закону распределения.** Вероятность того, что из общего числа электроприемников $n$ одновременно включено $m$, определяется из выражения

$$\bar{p}_{r(m,n)\Sigma} = \sum_{0}^{m} \frac{n!}{m!\,(n-m)!} K_c^m (1 - K_c)^{n-m}, \qquad (3.4)$$

где $K_c$ — средний коэффициент спроса (средняя вероятность включения электроприемников за данный отрезок времени) [1].

Приведенная формула основана на так называемой схеме независимых испытаний и предполагает, что электроприемники включаются независимо друг от друга.

**Пример 3.2.** Определить, сколько электроприемников из десяти будет включено одновременно при средней вероятности включения $K_c=0{,}3$.

Решение. Вычислив значения $\bar{p}_{r(m,n)}$ по формуле (3.4) при различных $m$, получаем

| $m$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{p}_{r\,(m,\,n)}$ | 0,03 | 0,12 | 0,24 | 0,24 | 0,3 | 0,07 | — | — | — | — | — |
| $\bar{p}_{r\,(m,\,n)\,\Sigma}$ | 0,03 | 0,15 | 0,39 | 0,63 | 0,93 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Примечание. $\bar{p}_{r\,(m,\,n)\,\Sigma}$ — накопленные частоты распределения.

[1] Данный коэффициент является аналогом коэффициента использования, применяемого при определении нагрузок в промышленности.

Из приведенных данных следует, что одновременная работа более четырех электроприемников возможна с вероятностью 1—0,93=0,07, т. е. не более 0,07·24=1,7 ч в сутки. Работа же более пяти электроприемников вообще невозможна.

При общем числе электроприемников $n \geqslant 25/\bar{K}_c$ можно вести расчеты $p_{r(m,n)}$ на основе нормального закона распределения (закона Гаусса), к которому стремится биномиальный закон при большом $n$. Выражение для $p_{r(m,n)}$ может быть написано следующим образом:

$$p_{r(m,n)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi n \bar{K}_c (1-\bar{K}_c)}} \int_0^m e^{-\frac{(m-n\bar{K}_c)^2}{2n\bar{K}_c(1-\bar{K}_c)}} dm \approx$$

$$\approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_\alpha} e^{-\frac{t_\alpha^2}{2}} dt, \qquad (3.5)$$

где $t_\alpha$ — нормированное отклонение.

Эта формула табулирована (значения вероятностей приводятся в справочниках), что позволяет резко сократить трудоемкость вычислений. Из выражения для нормального закона распределения вытекает достаточно простая формула для числа электроприемников $m$ из общего числа n, которые могут быть включены одновременно:

$$m = n\bar{K}_c + t_\alpha \sqrt{n\bar{K}_c(1-\bar{K}_c)}. \qquad (3.6)$$

Так, например, из 100 электроприемников при среднем коэффициенте спроса $K_c=0,1$ и нормированном отклонении $t_\alpha=2$* в расчет следует принимать возможность одновременного включения

$$m = 100\cdot 0,1 + 2\sqrt{100\cdot 0,1\,(1-0,1)} = 16 \text{ электроприемников}.$$

Следовательно, с вероятностью 0,95 наибольший коэффициент спроса составляет $K_c = m/n = 16/100 = 0,16$.

Кривая нормального распределения (рис. 3.1, *а*) имеет симметричную колоколообразную форму, причем на оси абсцисс отложены нагрузки, а на оси ординат — вероятности их появления. Чем больше разброс нагрузок, тем кривая становится более пологой. Чем больше средняя вероятность или частота появления средней нагрузки, тем круче кривая распределения. Иногда вместо колоколообразной кривой распределения, строится интегральная кривая распределения (кумулята)

---

* Согласно таблице интегралов вероятностей [16] при $t_\alpha=2$ $p_{r(m,n)}=0,95$.

(рис. 3.1, *б*). В этом случае на оси абсцисс откладываются нагрузки, а на оси ординат накопленные частоты распределения.

Практически на основе натурных измерений строятся не плавные, а ступенчатые графики распределения (гистограммы), характеризующие изменение значения в определенном интервале (рис. 3.2). Такой график

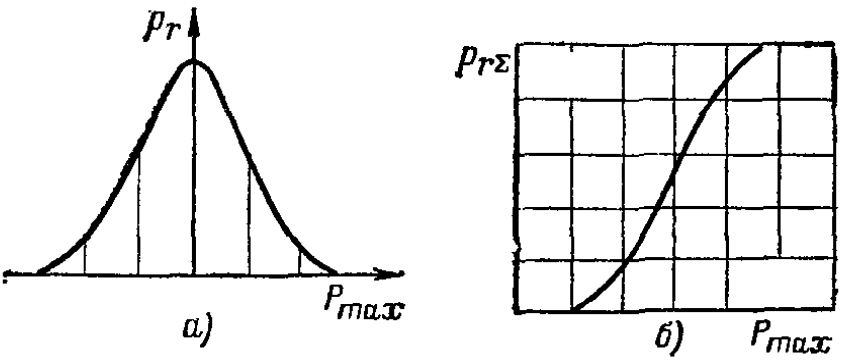



Рис. 3.1. Кривая нормального распределения (*а*) и интегральная кривая распределения (*б*)

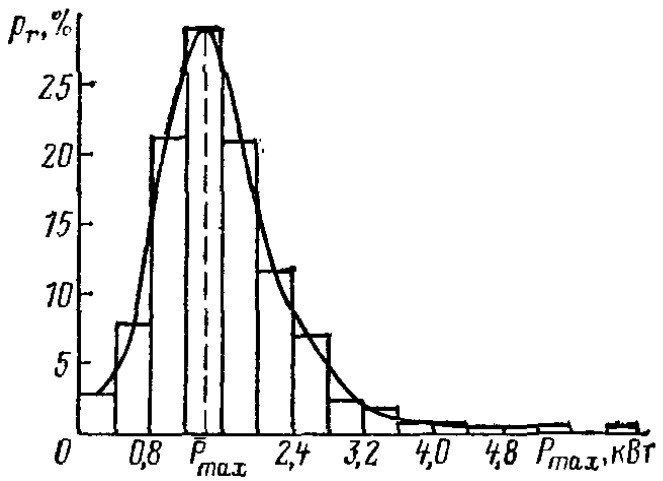



Рис. 3.2. Гистограмма распределения максимумов нагрузки на вводе в квартиру с электроплитой

тоже является дифференциальным. Соединив средние точки абсцисс, получим кривую нормального закона распределения.

Важной величиной для оценки результатов измерений является среднеквадратичное отклонение, иногда называемое стандартным отклонением или стандартом, определяемое из нижеследующих выражений: для полной (кВ·А) и активной (кВт) мощности

$$\sigma_S = \sqrt{\frac{\Sigma (S - \overline{S})^2}{n-1}}; \quad \sigma_P = \sqrt{\frac{\Sigma (P - \overline{P})^2}{n-1}}, \qquad (3.7)$$

где $n$ — число измерений; $P$ — измеренная нагрузка, кВт; $\overline{P}$ — средняя нагрузка, кВт; $S$ — полная мощность кВ·А; $\overline{S}$ — средняя полная мощность, кВ·А.

Из приведенных выражений ясно, что среднеквадратичное отклонение хаарктеризует отклоненне отдельных значений нагрузки от среднего его значения.

При натурных измереииях приходится иметь дело с ограниченным количеством измерений рассматриваемых величин. Для оценки достоверности получаемых результатов определяют ошибки среднего $O_{\overline{P}}$ и среднеквадратичного отклонения $O_{\sigma_P}$ кВт:

$$O_{\overline{P}} = t_\alpha \sigma_P / \sqrt{n}; \tag{3.8}$$

$$O_{\sigma_P} = t_\alpha \sigma_P / \sqrt{2n}. \tag{3.9}$$

Следовательно, действительные средние значения будут находиться в пределах, кВт

$$P_д = \overline{P}_{max} \pm O_P,$$

а действитсльные значения стандарта, кВт

$$\sigma_д = \sigma_P \pm O_\sigma.$$

Для определения максимальной нагрузки, кВт, с заданной вероятностью, т. е. при заданном нормированном отклонении, пользуются выражеиием

$$P_{max} = \overline{P}_{max} + t_\alpha \sigma_P. \tag{3.10}$$

Следует подчеркнуть прямую связь между нормированным $t_\alpha$ и среднеквадратичным отклонением

$$t_\alpha = \frac{P_{max} - \overline{P}_{max}}{\sigma_P}, \tag{3.11}$$

Нормированное отклонение показывает, на сколько среднеквадратичиых отклоненнй изменяется максимум нагрузки по сравнению со своим средним значением. Для внутренних сетей жилых домов с малыми сеченнями проводов и относнтельно малой постоянной времени принимают $t_\alpha=3$ (вероятность 99,7 %), а для наружных сетей $t_\alpha = 1{,}65 \div 2$ (вероятность примерно 95 %).

Из формулы (3.6) после простейших преобразованнй получаем следующие выражения для коэффициента спроса и максимальной (наибольшей) нагрузки, кВт:

$$K_c = \overline{K}_c + t_\alpha \sqrt{\frac{\overline{K}_c (1 - \overline{K}_c)}{n}};$$

$$P_{max} = \overline{P}_{max} + t_\alpha \sigma_P = P_{уст} \left( \overline{K}_c + t_\alpha \sqrt{\frac{\overline{K}_c (1 - \overline{K}_c)}{n}} \right). \tag{3.12}$$

Максимум нагрузки и коэффициент спроса в значительной мере зависят от числа электроприемников: чем больше $n$, тем ближе расчетный максимум $P_{max}$ к своему среднему значению $\overline{P}_{max}$. Величины $\overline{P}_{max}$ и $P_{max}$ могут быть определены для любой точки электрической сети, питающей квартиры.

Изложенная методика применяется и для оценки установленных мощностей в квартире полной $S_{уст,кв}$ и активной $P_{уст,кв}$, которые тоже являются случайными величинами.

Как показали исследования АКХ и МНИИТЭП в 1978—1979 гг., установленная мощность в квартирах колеблется от 0,1 до 4,11 кВт в домах с газовыми плитами и от 0,18 до 5,42 кВт в домах с электроплитами (без учета установленной мощности электроплиты). Установленная мощность бытовых электроприборов колеблется соответственно от 0,1 до 3,38 и от 0,1 до 4,6 кВт соответственно. Установленная мощность освещения в квартирах изменяется от 0,04 до 1,4 кВт.

Центральным научно-исследовательским и проектным институтом типового и экспериментального проектирования жилища установлен оптимальный набор электроприборов на перспективу, исходя из которого условно установленная мощность электроприемников в квартире достигнет при газовой плите 10—14, а при электроплите 17—22 кВт.

На основе проведенного корреляционного анализа выведены следующие зависимости, позволяющие с достаточной для практических целей точностью определить наибольшую нагрузку, кВт, в зависимости от числа присоединенных квартир (для современного уровня нагрузки при $n>30$).

Для жилых зданий с газовыми плитами при миогоэтажной застройке

$$P_{max}=0,183+2,53/\sqrt{n}; \qquad (3.13)$$

для жилых зданий с электроплитами при многоэтажной застройке

$$P_{max}=0,401+5,08/\sqrt{n}. \qquad (3.14)$$

## 3.3. Нормирование электрических нагрузок и их прогнозирование

Выше отмечалась важность правильного определения расчетных нагрузок как решающего фактора для выбора мощности и числа трансформаторных подстанций, сечений проводов и кабелей, аппаратуры, электрооборудования и, следовательно, для выявления размеров капитальных вложений в сеть. Исходными данными, естественно, служат фактические показатели, определенные на основе измерений в большом числе квартир и обработанные по методике, изложенной выше. Однако эти нагрузки постоянно растут,

главным образом за счет увеличения числа и мощности электроприборов, приобретаемых населением. Это вызывает необходимость иметь в сети некоторые запасы с тем, чтобы сеть была в состоянии пропустить увеличивающуюся нагрузку к концу расчетного периода.

Для расчетов электрических сетей жилых зданий необходимо знать не только фактические нагрузки, но и перспективные с учетом роста насыщения квартир бытовыми приборами, появления в производстве и продаже новых приборов, увеличения достатка семей и т. п.

Рассмотрим наиболее распространенные пути определения удельных нагрузок, основанные на вероятностной оценке. Первый из них заключается в следующем. Известно, что набор электроприборов у различных семей неодинаков. Это позволяет при большом количестве измерений в течение относительно длительного времени получить корреляционные зависимости максимальных нагрузок от числа и мощности приборов различного назначения.

Средние максимумы, кВт, находятся из выражений

$$\overline{P}_{max}=\overline{K}_{c1}P_1+\overline{K}_{c2}P_2+...+\overline{K}_{cn}P_n, \qquad (3.15)$$

где $P_1$, $P_2$, ..., $P_n$ — мощности приборов, присоединенных к данной фазе, кВт; $\overline{K}_{c1}$, $\overline{K}_{c2}$, ..., $\overline{K}_{cn}$ — коэффициенты корреляции (средние коэффициенты спроса или средние вероятности включения этих приборов во время максимума).

Можно принимать значения $\overline{K}_c$: 0,6 для освещения; 0,5 для радиоприемников; 0,6 для телевизоров; 0,2 (с учетом ПВ) для холодильников; 0,1 для стиральных машин; 0,1 для пылесосов; 0,2 для утюгов; 0,15 для прочих приборов.

Задаваясь намечаемым уровнем насыщения квартир электроприборами, можно определить средние максимумы нагрузки на квартиру. Установлено, что средние значения коэффициента спроса (с учетом насыщения квартир электроприборами) составят для домов с газовыми плитами на квартиру примерно 0,15, а для домов с электроплитами — примерно 0,12. Следует, однако, помнить, что средние данные нагрузок могут быть значительно превышены в отдельных квартирах. Для оценки наибольшего расчетного максимума необходимо выяснить значение вариации нагрузки.

**Вариации нагрузки** представляют собой отношение среднеквадратичных отклонений (стандарта) к среднему максимуму нагрузки, $\gamma=\sigma_P/P_{max}$. Теоретически при большом числе квартир ($n\to\infty$) $P_{max}=\overline{P}_{max}$. Однако в условиях

города возможно влияние одновременно действующих факторов (встречи нового года, телепередачи и т. д.). В результате даже при $n \to \infty$ нагрузки несколько варьируют и $\sigma_P$ не равно нулю.

Исследованиями установлено, что для жилищно-коммунальных потребителей при весьма большом их количестве $\gamma \approx 0{,}1$. В этом случае вариацию можно представить в виде двучлена

$$\gamma = 0{,}1 + \sigma_P / \overline{P}_{max} = 0{,}1 + \sqrt{\frac{1 - \overline{K}_c}{n\overline{K}_c}}. \qquad (3.16)$$

Учитывая, что $\overline{K}_c$ для отдельных электроприемников и квартиры в целом изменяется сравнительно мало, можно определить вариацию и в конечном итоге среднеквадратичное отклонение и максимальную нагрузку (при заданном $t_\alpha$) для любого числа присоединенных квартир.

Так, например, при числе квартир, равном 100, $\overline{K}_c = 0{,}12$ (дом с электроплитами), средней удельной мощности $\overline{P}_{max,уд} = 1$ кВт/квартиру и числе электроприемников в квартире 15

$$\gamma = 0{,}1 + \sqrt{\frac{1 - 0{,}12}{100 \cdot 15 \cdot 0{,}12}} = 0{,}173.$$

Среднеквадратичное отклонение

$$\sigma_P = \overline{P}_{max,уд} (\gamma - 0{,}1) = 1\ (0{,}173 - 0{,}1) \approx 0{,}073 \text{ кВт}.$$

Удельная расчетная нагрузка

$$P_{max,\ уд} = \overline{P}_{max,уд} + 2\sigma_P = 1 + 2 \cdot 0{,}073 = 1{,}146 \text{ кВт/квартира}.$$

Второй, более простой и поэтому широко распространенный путь определения и прогнозирования удельных нагрузок (расчетных максимумов) заключается в том, что на основе измерений в различных точках сети (на вводе в квартиру, питающих линиях, вводе в дом, шинах ТП и т. п.) определяются $\overline{P}_{max}$, $\sigma_P$ и $P_{max}$. Накопленные в течение ряда лет экспериментальные данные могут служить (с поправками на основе оценки развития производства приборов и т. д.) основанием для выявления темпов роста нагрузок.

Ожидаемый в конце расчетного периода максимум нагрузки определяется из уравнения

$$P_t = P_0 A^t, \qquad (3.17)$$

где $P_0$ и $P_t$ — расчетные нагрузки в начальный и $t$-й год эксплуатации; $A$ — коэффициент естественного роста нагрузок.

| | | |
|---|---|---|
| Число квартир . . . . . | До 100 | 100 и более |
| Коэффициент естественного роста нагрузок: | | |
| для газнфицированных домов . . . . . | 1,03—1,035 | 1,01—1,015 |
| для домов с электроплитами . . . . . | 1,015—1,02 | 1,01—1,015 |

Определение расчетных электрических нагрузок этими и некоторыми другими методами, как правило, не дает полностью совпадающих результатов, что объясняется все еще недостаточной изученностью режимов работы отдельных электроприемников в квартирах и отсутствием точных значений средних вероятностей их включения.

### 3.4. Оценка асимметрии нагрузок

Асимметрия токов и напряжений в электрических сетях до 1000 В обусловлена неравномерной нагрузкой фаз электрической сети (систематическая асимметрия) и вероятностным характером работы бытовых однофазных электроприемников и электроосвещения (случайная асимметрия). Несимметрия напряжения и токов приводит к дополнительным потерям мощности и электроэнергии в сети, сокращению сроков службы электрооборудования, проводников и трансформаторов и даже к перегрузке отдельных фаз.

Для оценки уровня асимметрии напряжения введено понятие коэффициента несимметрии напряжения $\varepsilon_U$

$$\varepsilon_U = U_2/U_{л,ном}, \qquad (3.18)$$

где $U_2$ — напряжение обратной последовательности, В; $U_{л,ном}$ — номинальное линейное напряжение, В.

Коэффициент несимметрии напряжения не должен превышать 2 %.

Некоторыми авторами рекомендуется также учитывать *коэффициент неуравновешенности* $\varepsilon_0$, равный

$$\varepsilon_0 = U_0/U_{ф,ном}, \qquad (3.19)$$

где $U_0$ — напряжение нулевой последовательности, В; $U_{ф,ном}$ — номинальное фазное напряжение, В.

Коэффициент неуравновешенности также не должен превышать 2 %.

Для определения вышеуказанных коэффициентов в действующих сетях необходимо замерить (в течение нескольких дней в зимнее и летнее время в часы максимума и миниму-

ма нагрузки по специальной методике) фазные и линейные напряжения.

На основании полученных данных определяются напряжения обратной и нулевой последовательностей [17, 18]:

$$X = (U_{AB} - U_{AC} + U_{BC})/2U_{AB};$$

$$Y = \sqrt{U_{BC}^2 - X^2};$$

$$U_2' = -U_{AB}/2 + Y/\sqrt{3};$$

$$U_2'' = (-U_{AB} + 2X)/2\sqrt{3}.$$

Напряжение обратной последовательности

$$U_2 = \sqrt{(U_2')^2 + (U_2'')^2}. \qquad (3.20)$$

Соответственно определяются

$$X_0 = (U_{AB}^2 - U_A^2 + U_B^2)/2U_{AB}; \qquad Y_0 = \sqrt{U_B^2 - X_0^2};$$

$$U_0' = (U_{AB} + X)/3 - X_0; \qquad U_0'' = Y/3 - Y_0.$$

Напряжение нулевой последовательности

$$U_0 = \sqrt{(U_0')^2 + (U_0'')^2}. \qquad (3.21)$$

Здесь $X$, $Y$, $X_0$, $Y_0$ — вспомогательные величины; $U_2'$, $U_2''$, $U_0'$, $U_0''$ — действительные (с одним штрихом) и мнимые (с двумя штрихами) значения напряжений обратной и нулевой последовательностей, В. Зная $U_2$ и $U_0$, по формулам (3.18) и (3.19) определяют коэффициенты несимметрии напряжения и неуравновешенности.

Коэффициент несимметрии нагрузок по току, %, определяется из выражения

$$\varepsilon_I = \frac{I_{max} - I_{ср}}{I_{ср}} 100, \qquad (3.22)$$

где $I_{max}$ — значение тока в максимально загруженной фазе, А; $I_{ср}$ — среднее арифметическое значение тока всех трех фаз, А,

$$I_{ср} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}.$$

Исследованиями установлено, что при коэффициенте несимметрии напряжения 4 % срок службы трехфазных асинхронных электродвигателей сокращается в 2 раза по

сравнению со сроком службы в режиме симметричного питания, а при коэффициенте несимметрии по току 10 % и более срок службы изоляции трансформаторов снижается на 16 %.

Обработка графиков нагрузки отдельных фаз и суммариых показала, что во внутренних электрических сетях домов с газовыми плитами коэффициент несимметрии по средним 30-минутным значениям в часы максимума нагрузки может достигать 20 %, а в домах с электроплитами (на вводах) даже 30 % и более. По мере приближения к шинам ТП асимметрия резко снижается.

Из изложенного следует, что неучтенная асимметрия может привести к существенным ошибкам при выборе сечений проводов и кабелей, причем даже при тщательном и точном распределении нагрузок по фазам в сетях городского типа нельзя избежать случайной асимметрии, о которой говорилось выше.

При проектировании асимметрию учитывают путем соответствующего увеличения нормируемых электрических нагрузок (кВт/квартира), т. е. ведут расчет по наиболее нагруженной фазе,

$$P_{max} = 3P_{max,ф}. \qquad (3.23)$$

### 3.5. Расчеты электрических нагрузок

Изложенные выше теоретические предпосылки и многолетние натурные исследования послужили основанием для создания утвержденной Госграждапстроем СССР «Инструкции по проектированию электрооборудования жилых зданий» СН 544—82. Основные положения этого документа в части определения электрических нагрузок жилых зданий приведены ниже.

Для определения электрических нагрузок, кВт, всех элементов сети (питающие линии, вводы в здания, шины низшего напряжения трансформаторных подстанций), квартиры, одного или группы жилых домов можно пользоваться формулой

$$P_{кв} = (P_{кв,уд} + P_{уд,к})\, n_{кв}, \qquad (3.24)$$

где $P_{кв,уд}$ — удельная расчетная нагрузка потребителей электроэнергии квартир посемейного заселения (табл. 3.1) в зависимости от характеристики и количества квартир, присоединенных к линии (трансформаторной подстанции), кВт; $n_{кв}$ — количество квартир, присоединенных к линии (трансформаторной подстанции); $P_{уд,к}$ — удельная расчет-

Таблица 3.1. **Удельные расчетные нагрузки на одну квартиру жилого дома**

| Потребители электроэнергии | Удельные расчетные нагрузки, кВт/квартира, при количестве квартир | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1—3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 | 40 | 60 | 100 | 200 | 400 | 600 | 1000 |
| Квартиры с плитами на природном газе | 4,5 | 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 |
| Квартиры с плитами на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и твердом топливе | 5 | 2,6 | 2 | 1,65 | 1,48 | 1,35 | 1,15 | 1 | 0,9 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,55 |
| Квартиры с электрическими плитами мощностью до 5,8 кВт | 6 | 3,2 | 2,7 | 2,4 | 2,15 | 2 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,15 | 1 | 0,9 | 0,85 | 0,8 |
| Квартиры с электрическими плитами мощностью от 5,9 до 8 кВт | 7 | 4 | 3 | 2,5 | 2,15 | 2 | 1,8 | 1,5 | 1,3 | 1,15 | 1 | 0,9 | 0,85 | 0,8 |
| Дома на участках садоводческих товариществ | 3 | 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 |
| Бытовые кондиционеры воздуха | 1,1 | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,83 | 0,8 | 0,7 | 0,58 | 0,45 | 0,3 | 0,25 | 0,2 | 0 | 0 |

Примечания: 1. Определение расчетной нагрузки для количеств квартир, не указанных в таблице, производится путем интерполяции.

2. Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений.

3. Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир с общей площадью до 55 м². При общей площади квартир, превышающей указанную, удельную нагрузку следует увеличить на 1 % на каждый квадратный метр 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. В обоих случаях увеличение удельной нагрузки не должно превышать 25 % значений, приведенных в таблице. Удельная нагрузка от кондиционеров принимается независимо от площади квартир.

4. Для жилых домов с покомнатным расселением семей в квартире удельную расчетную нагрузку следует умножать на коэффициент 1,5 при числе семей в квартире до 3 и на 2 при числе семей 4 и более.

5. Для общежития квартирного типа к удельным расчетным нагрузкам, приведенным в таблице, следует вводить коэффициент 2.

6. Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую нагрузку и осветительную и силовую нагрузку встроенных помещений общественного назначения. В удельных нагрузках не учтено также применение в квартирах электрических водонагревателей и отопления.

7. Для определения при необходимости утреннего или дневного максимума нагрузок необходимо вводить коэффициенты: 0,7— для жилых домов с электрическими плитами; 0,5—для жилых домов с плитами на газообразном и твердом топливе.

8. Удельные расчетные нагрузки действительны для любого климатического района страны.

9. Возможность применения населением бытовых кондиционеров воздуха в квартирах следует предусматривать в проектах жилых домов для строительства на юге страны в районах, указанных в главе СНиП по проектированию жилых зданий. При этом удельные электрические нагрузки учитывают использование только одного бытового кондиционера воздуха в квартире мощностью до 1,3 кВт. В домах с электроплитами при количестве квартир более 400 дополнительную нагрузку от бытовых кондиционеров учитывать не следует.

ная нагрузка бытовых кондиционеров воздуха, определенная для тех же параметров, что и $P_{кв,уд}$.

Расчетные нагрузки питающих линий, вводов и на шинах РУ 0,4 кВ ТП от общего освещения общежитий коридорного типа определяются с учетом коэффициента спроса 0,6—0,8.

Расчетная нагрузка, кВт, питающих линий, вводов и на шинах РУ 0,4 кВ ТП в зависимости от количества присоединенных штепсельных розеток общежитий коридорного типа определяется по формуле

$$P_{р,ш} = P_{уд,ш} n_{ш} K_{о,ш}, \qquad (3.25)$$

где $P_{уд,ш}$ — удельная мощность одной штепсельной розетки, принимаемая при количестве розеток до 100—0,1 кВт, более 100—0,06 кВт; $n_{ш}$ — количество штепсельных розеток, присоединенных к питающей линии (вводу, ТП); $K_{о,ш}$ — коэффициент одновременности для сети штепсельных розеток, определенный в зависимости от количества присоединенных штепсельных розеток.

| Количество розеток | До 10 | 11—30 | 31—60 | 61—100 |
|---|---|---|---|---|
| Коэффициент одновременности | 1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 |

*Продолжение*

| Количество розеток | 101—200 | 201—400 | 401—600 | 601—1000 |
|---|---|---|---|---|
| Коэффициент одновременности | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,35 |

Расчетная нагрузка, кВт, групповых, питающих линий, вводов и на шинах ТП от бытовых стационарных электрических плит общежитий коридорного типа определяется по формуле

$$P_{р,пл} = P_{пл} n_{пл} K_{с,пл}, \qquad (3.26)$$

где $P_{пл}$ — установленная мощность электроплиты, кВт; $n_{пл}$ — количество электроплит; $K_{с,пл}$ — коэффициент спроса, определяемый в зависимости от количества присоединенных плит

| Количество плит, присоединенных к линии, вводу, ТП, $n_{пл}$ | 1 | 3 | 6 | 12 | 40 | 100 | 200 и более |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Коэффициент спроса $K_{с,пл}$ | 1 | 0,9 | 0,7 | 0,45 | 0,3 | 0,2 | 0,15 |

Примечания: 1. Определение расчетной нагрузки для ие указанного колнчества плит производится путем интерполяцнн.

2. При подключеинн электроплнты к трем фазам сети коэффнцнент спроса для расчета лннин, питающей одну плиту, следует прнннмать равным 1,2 с учетом неравномерностн распределения нагрузки по фазам.

Расчетная нагрузка групповых питающих линий, вводов и на шинах ТП в случае подключения к ним общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электрических плит в общежитиях коридорного типа определяется как сумма расчетных нагрузок, умноженная на 0,75.

Расчетная нагрузка питающих линий лифтовых установок, кВт, определяется по формуле

$$P_{р,л} = K_{с,л} \sum_{1}^{n_л} (P_{пi} \sqrt{ПВ_i} + P_{дi}) \approx K_{с,л} \sum_{1}^{n} P_{пi}, \qquad (3.27)$$

где $K_{с,л}$ — коэффициент спроса, определенный по табл. 3.2 в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий, в которых они установлены; $n_л$ — количество лифтовых установок, подключенных к линии; $P_{пi}$ — установленная мощность электродвигателя $i$-й лифтовой установки по паспорту, кВт; $ПВ_i$ — продолжительность включения электродвигателя $i$-й лифтовой установки, принимаемая по паспорту, отн. ед.; $P_{дi}$ — дополнительная нагрузка от электромагнитного тормоза, аппаратов управления и освещения $i$-й лифтовой установки, кВт.

Таблица 3.2. **Коэффициент спроса $K_{с,л}$ лифтовых установок для здания различной этажности**

| Число лифтовых установок | Коэффициент спроса | | Число лифтовых установок | Коэффициент спроса | |
|---|---|---|---|---|---|
| | для домов до 12 этажей | для домов свыше 12 этажей | | для домов до 12 этажей | для домов свыше 12 этажей |
| 2—3 | 0,8 | 0,9 | 8—10 | 0,5 | 0,6 |
| 4—5 | 0,7 | 0,8 | 15—20 | 0,4 | 0,5 |
| 6—7 | 0,6 | 0,7 | 20 и более | 0,35 | 0,4 |

Расчетные нагрузки питающих линий электродвигателей насосов водоснабжения, вентиляторов и других санитарно-технических устройств определяются по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса 0,7.

Мощность резервных электродвигателей и электроприемников противопожарных устройств при расчете электрических нагрузок вводов в здание не учитывается, за исключением тех случаев, когда она определяет выбор аппаратов защиты и сечений питающих линий.

Расчетная нагрузка жилого дома (квартир и силовых электроприемников), кВт, определяется по формуле

$$P_{р,ж,д} = P_{жил} + 0{,}9P_{с}, \qquad (3.28)$$

где $P_{жил}$ — расчетная нагрузка потребителей электроэнергии квартир или жилых помещений общежитий, кВт; $P_с$ — расчетная нагрузка силовых потребителей жилых домов или общежитий, кВт.

При расчете элементов сети в аварийном режиме они должны выбираться с учетом допустимых перегрузок, регламентируемых ПУЭ.

Расчетные коэффициенты мощности питающих сетей жилых зданий следует принимать по табл. 3.3.

Таблица 3.3. **Расчетные коэффициенты мощности** cos φ

| Питающие лнннн потребителей | Расчетные коэффициенты мощности |
|---|---|
| Квартиры с электрнческнми плитами | 0,98 |
| То же, с кондиционерами | 0,93 |
| Квартиры с газовыми плитами иа природном и сжиженном газе и твердом топливе | 0,96 |
| То же с кондиционерами | 0,92 |
| Общее электроосвещение в общежитиях | 0,95 |
| Насосы водоснабжения, вентиляционные установки и другие санитарно-технические устройства | 0,85 |
| Лифтовые установки | 0,6 |

Компенсации реактивной мощности потребителей жилых зданий и предназначенных для них центральных тепловых пунктов и насосных не требуется (см. также гл. 8).

**Пример 3.3.** Определить наибольшую расчетную нагрузку вводов в жилой 12-этажный дом. Дом имеет 172 квартиры с плитами на природном газе (100 квартир общей площадью до 55 мм² и остальные общей площадью 60 м²), 8 лифтовых установок мощностью по 7 кВт (при ПВ-1).

Здание имеет два взаимно резервируемых кабельных ввода; к первому подключены квартиры, ко второму — лифты.

Решение. 1. Определяем расчетную нагрузку ввода *1* с учетом повышающего коэффициента для квартир общей площадью более 55 м². Расчетную удельную нагрузку принимаем по табл. 3.1 (с интерполяцией):

$$P_{кв} = 0{,}53 \cdot 100 + 0{,}53 \cdot 1{,}05 \cdot 72 = 0{,}53\,(100 + 1{,}05 \cdot 72) = 93 \text{ кВт}.$$

2. Определяем расчетную нагрузку от лифтов (ввод 2). Коэффициент спроса принимаем по табл. 3.2:

$$P_{р,л} = 7 \cdot 8 \cdot 0{,}5 = 28 \text{ кВт}.$$

**Пример 3.4.** Определнть расчетную нагрузку линии, питающей 64 квартиры с электроплитами мощностью 8 кВт и бытовыми кондиционерами воздуха. Общая площадь каждой квартнры 70 м².

Р е ш е н и е. Определяем расчетную иагрузку питающей лиини с учетом повышающего коэффнцнента для квартир общей площадью более 55 м² (1,075) и удельной нагрузки от кондиционеров. Расчетные удельные нагрузки принимаем по табл. 3.1 (поскольку число квартир мало отличается от таблицы, интерполяцию производить не требуется):

$$P_{кв} = (1{,}3 \cdot 1{,}075 + 0{,}45)\,64 = 118{,}2 \text{ кВт},$$

Удельная нагрузка кондиционера от площади квартиры не зависит.

Выбор параметров групповых линий квартир целесообразно производить по расчетному току. Групповые линии квартир, как правило, выполняются однофазными; число таких линий и расчетные токи указаны в табл. 3.4.

## 3.6. Зависимость между расчетной нагрузкой, электропотреблением и годовым числом часов использования максимума нагрузки

*Помимо рассмотренных методов определения электри*ческих нагрузок известный интерес представляет получение зависимости между электропотреблением и годовым числом часов использования максимума нагрузки $T_{max}$, которое может в некоторых случаях служить критерием для оценки расчетной нагрузки, кВт,

$$P_{max} = W/T_{max}. \qquad (3.29)$$

Число часов использования максимума не остается постоянным и связано с удельным годовым электропотреблением. С ростом электропотребления число часов использования максимума нагрузки возрастает вначале быстро, а затем замедленно. При этом $T_{max}$ в различных точках сети неодинаково. На вводе в квартиру эта величина значительно меньше, чем на вводе в дом, и т. д.

Именно поэтому нельзя распространять темпы прироста электропотребления на темпы прироста нагрузок, последние всегда значительно меньше. В [19] даны эмпирические формулы для определения $T_{max}$, ч. в зависимости от числа присоединенных квартир к данному элементу сети

$$T_{max} = \frac{750\sqrt{n}}{0{,}3\sqrt{n} + 1}, \qquad (3.30)$$

Таблица 3.4. Групповые линии квартир жилых домов

| Здания | Назначение групповых линий | Расчетный ток, А |
|---|---|---|
| Жилые дома с плитами на газообразном и твердом топливе | Питание ламп общего освещения | 16 |
| | Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А | 16/25* |
| | Питание электрических бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт | 25 |
| Жилые дома с электроплитами до 5,8 кВт | Питание ламп общего освещения | 16 |
| | Питание штепсельных розеток на ток 6 и 10 А | 16/25* |
| | Питание электрической плиты и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт** | 25—32 |
| Жилые дома 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 электрической плиты и бытовых машин и приборов мощностью до 4 кВт** | 40 |
| Жилые дома 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.

для домов с газовыми плитами при $n \to \infty$ $T_{max} = 2500$ ч;

$$T_{max} = \frac{2300\sqrt{n}}{0{,}4\sqrt{n} + 4{,}3}, \qquad (3.31)$$

для домов с электроплитами при $n \to \infty$ $T_{max} = 5400$ ч.

Отметим, что рассмотренные методы, как правило, базировались на статистических данных. Однако при высоких темпах развития производства приборов в перспективе возможно появление приборов, по которым эксплуатационных данных нет.

Пользуясь изложенной методикой, вполне возможно оценить нагрузку от этих приборов. Так, например, представляет интерес оценить нагрузку от новой электроплиты мощностью 8 кВт, освоенной промышленностью.

**Пример 3.5.** Определить расчетную нагрузку на вводе в квартиру от электроплиты мощностью 8 кВт.

Р е ш е н и е. 1. Оценим среднюю вероятность включения электроплиты. При этом следует учитывать, что количество приготовляемой пищи не зависит от мощности электроплиты и является величиной почти постоянной. Тогда расход электроэнергии плиты мощностью 8 кВт не должен существенно отличаться от данных, приведенных в табл. 2.2, поэтому принимаем $W=1000$ кВт·ч/квартира. Примем также, что по условиям быта включение плиты возможно не более 8 ч в сутки. Тогда

$$\bar{p}_r = W/(P_{\text{уст}}\, T) = \frac{1000}{8\cdot 360\cdot 8} = 0{,}043.$$

2. Принимая, что плита состоит из пяти электроприемников (четыре конфорки и жарочный шкаф), на основании выражения (3.4) для биноминального закона определим, какое число из этих электроприемников может быть включено одновременно. Результаты расчетов сводятся к следующему:

| $m$ . . . . . | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $\bar{p}_r(m, n)\,\Sigma$ . . . . . | 0,813 | 0,98 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Таким образом, можно предполагать, что одновременно включается не более двух электроприемников. Следовательно, коэффициент спроса электроплиты на вводе в квартиру составит не более

$$K_{\text{с}} = \frac{2}{5} = 0{,}4,$$

и расчетная нагрузка будет равна

$$P_{max} = P_{\text{уст}}\, K_{\text{с}} = 8\cdot 0{,}4 = 3{,}2 \text{ кВт}.$$

## Глава четвертая

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

## 4.1. Общие положения

Электрические нагрузки любого общественного здания слагаются из нагрузок электрического освещения и силового электрооборудования. Установленная мощность ламп электрического освещения определяется на основании светотехнических расчетов, которые в настоящей книге не рассматриваются. Мощность силовых электроприемников принимается на основании технологических и санитарно-технических разделов проекта. Однако режимы работы этих видов оборудования на стадии разработки проекта электрооборудования выявить точно не представляется возможным.

Между тем правильный выбор коэффициентов, характеризующих загрузку, одновременность работы, несовпадение максимумов нагрузки различных потребителей, имеет важнейшее значение для выбора схемы сети, аппаратов защиты, сечений проводов и кабелей.

За последние годы проведены исследовательские работы по изучению электрических нагрузок различных общественных зданий, которые позволили создать научно-обоснованную методику, обеспечивающую правильное определение всех параметров электрических сетей.

Эти работы проводились МНИИТЭП, АКХ и рядом других организаций. В 1974 г. была утверждена Госгражданстроем СССР «Инструкция по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства» ВСН 19—74/Госгражданстрой[1], разработанная ЦНИИЭП инженерного оборудования Госгражданстроя, Ленинградским отделением ГПИ Тяжпромэлектропроект Минмонтажспецстроя СССР и МНИИТЭП ГлавАПУ г. Москвы. При составлении инструкции использованы материалы исследований и разработок АКК им. К. Д. Памфилова Минжилкомхоза РСФСР, института «Ленпроект» Ленгорисполкома, ЦНИИЭП торгово-бытовых зданий и туристских комплексов Госгражданстроя и НИИ Мосстроя Мосгорисполкома.

В 1976 г. МНИИТЭП совместно с МКС Мосэнерго разработали «Рекомендации по определению расчетных электрических нагрузок поликлиник, аптек и больниц, сооружаемых в Москве», утвержденные ГлавАПУ г. Москвы. В 1979 г. подготовлены, согласованы Мосэнерго и утверждены ГлавАПУ «Рекомендации по проектированию электрооборудования административных зданий и гостиниц, строящихся в Москве», где имеется специальный раздел по определению электрических нагрузок.

Как показывают расчеты, основаиные на проведенных исследовательских работах, внедрение новых методов определения электрических нагрузок обеспечивает значительный экономический эффект. Так, ежегодная экономия трансформаторной мощности только по Москве составляет не менее 25 тыс. кВ·А.

Излагаемая ниже методика расчета электрических нагрузок основных видов общественных зданий базируется на многолетних натурных измерениях и последующей обработке полученных данных методами теории вероятно-

[1] В настоящее время утверждена новая редакция указанного документа (СН 543—82).

стей и математической статистики. По мере накопления материалов коэффициенты, указанные в приведенных ниже таблицах, могут уточняться.

При расчете электрических сетей необходимо учитывать коэффициент спроса, представляющий собой отношение расчетной потребляемой мощности (нагрузки) $P_{max}$ (получасовой максимум) к установленной мощности $P_{уст}$ работающих электроприемников,

$$K_c = P_{max}/P_{уст}. \qquad (4.1)$$

В установленную мощность не включается мощность резервных электроприемников, пожарных насосов и т. п., за исключением тех случаев, когда эта мощность определяет сечения проводов и кабелей и выбор аппаратов защиты.

## 4.2. Нагрузки осветительных сетей

Коэффициент спроса для расчета групповых линий рабочего, эвакуационного и аварийного освещения зданий, штепсельных розеток, а также освещения витрин и рекламы следует принимать равным единице. Для расчета на-

Таблица 4.1. **Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочего освещения питающих линий и вводов общественных зданий**

| Предприятия и организации | Коэффициенты спроса $K_{с,о}$ при установленной мощности электрического освещения, кВт | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | до 25 | 26—50 | 51—100 | 101—200 | 201—500 | 500 и более |
| Гостиницы, учебно-производственные помещения, спальные корпуса и административные помещения пионерских лагерей | 0,6 | 0,5 | 0,45 | 0,4 | 0,35 | 0,3 |
| Предприятия общественного питания, детсады, ясли | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,5 |
| Общеобразовательные школы, профтехучилища, средние специальные учебные заведения, организации и учреждения управления | 085 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,6 |
| Предприятия торговли, проектные и конструкторские организации, парикмахерские | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 |
| Предприятия бытового обслуживания | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,6 |
| Аптеки и поликлиники | 0,8 | 0,77 | 0,75 | 0,7 | — | — |
| Больницы | 07, | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,35 | 0,3 |

грузок питающих линий и вводов рабочего освещения можно принимать коэффициенты спроса по табл. 4.1. Расчетная нагрузка при этом определяется по формуле (4.1).

Расчетные электрические нагрузки линий, питающих сети штепсельных розеток, определяются по формуле

$$P_{max,ш} = P_{уст,ш} n_ш K_{с,ш}, \qquad (4.2)$$

где $P_{уст,ш}$ — установленная мощность электроприемников, подключаемых к одной штепсельной розетке. Может быть принята 0,05 кВт для учреждений управления, проектных и конструкторских организаций и 0,06 кВт — для предприятий общественного питания, жилых помещений гостиниц. Если в номерах гостиниц отсутствует общее освещение (потолочное, закарнизное и т. п.), нагрузки штепсельной сети, предназначенной для питания переносных светильников,

Таблица 4.2. **Коэффициент спроса для расчета нагрузок сети штепсельных розеток**

| Здания и помещения | Коэффициент спроса $K_{с.ш}$ | |
|---|---|---|
| | Питающая сеть | Ввод в здание |
| Организации управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования, кредитования, государственного страхования | 0,2 | 0,1 |
| Гостиницы, обеденные залы, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы | 0,4 | 0,2 |
| Общеобразовательные школы, профтехучилища, средние специальные учебные заведения, детские ясли и сады | 0,2 | 0,1 |
| Аптеки, поликлиники | 0,3 | 0,2 |
| Больницы | 0,2 | 0,1 |

следует определять, как для общего освещения; $n_ш$ — количество штепсельных розеток; $K_{с,ш}$ — коэффициент спроса, принимаемый по табл. 4.2.

При совместном питании общими линиями (вводами) светильников общего освещения и штепсельных розеток (местного освещения) в *аптеках, поликлиниках и больницах суммарная* — расчетная мощность, кВт, определяется по формуле

$$P_{max\Sigma} = (P_{уст,о} + 0{,}1P_{уст,ш}) K_{с,о} + P_{уст,э,а}, \qquad (4.3)$$

где $P_{уст,о}$ — установленная мощность общего освещения, кВт; $P_{уст,ш}$ — общая установленная мощность штепсельных розеток местного освещения (мощность одной розетки может быть принята 0,06 кВт); $K_{с,о}$ — коэффициент спроса для сети рабочего освещения, принимается по табл. 4.1; $P_{уст,э,а}$ — расчетная (установленная) мощность сети эвакуационного и аварийного освещения.

Для всех других общественных зданий суммарная расчетная мощность $P_{max\Sigma}$ освещения определяется по формуле

$$P_{max\Sigma} = P_{уст,о}K_{с,о} + P_{уст,ш}K_{с,ш} + P_{уст,э,а}, \qquad (4.4)$$

где $P_{уст,о}$ — установленная мощность общего рабочего освещения, кВт.

## 4.3. Нагрузки силовых сетей

**Предприятия общественного питания.** Коэффициент спроса для расчета электрических нагрузок питающих и распределительных линий и вводов силовой сети предприя-

Таблица 4.3. **Коэффициенты спроса для расчета нагрузок питающих и распределительных линий и вводов силовых электрических сетей предприятий общественного питания**

| Удельный вес установленной мощности теплового оборудования (без автоматики) в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, % | Коэффициент спроса $K_{с.с}$ при эффективном числе электроприемников $n_э$ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 3 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 60 |
| 0—10 | 0,8 | 0,75 | 0,65 | 0,55 | 0,45 | 0,4 | 0,3 | 0,25 | 0,2 |
| 11—30 | 0,85 | 0,8 | 0,65 | 0,6 | 0,5 | 0,45 | 0,35 | 0,3 | 0,25 |
| 31—60 | 0,9 | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,55 | 0,5 | 0,4 | 0,35 | 0,3 |
| 61—90 | 0,95 | 0,9 | 0,8 | 0,75 | 0,65 | 0,6 | 0,5 | 0,45 | 0,35 |
| 91—100 | 0,95 | 0,95 | 0,85 | 0,8 | 0,75 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,4 |

Примечания: 1. К тепловому оборудованию следует относить: электрические плиты, электрические мармиты, электрические сковороды, электрические жарочные и кондитерские шкафы, электрические котлы и кипятильники (без автоматики) и т. п.

2. Определение коэффициента спроса для значений установленной мощности теплового оборудования и эффективного числа электроприемников, не указанных в таблице, производится путем интерполяции.

3. Мощность резервных электроприемников в общую установленную мощность не включается.

4. Расчетную нагрузку линии, к которой подключен один электроприемник, определяют с коэффициентом спроса, равным 1, а для электроплиты — 1,2, учитывающим неравномерную нагрузку по фазам.

тий общественного питания принимается по табл. 4.3 в зависимости от эффективного числа электроприемников и удельного веса установленной мощности теплового неавтоматизированного технологического оборудования в общей установленной мощности всего силового технологического и санитарно-технического оборудования. Как и для сети освещения, расчетная нагрузка линий силовой сети определяется по формуле (4.1).

*Эффективное число электроприемников* — есть эквивалентное число приемников $n_э$, однородных по режиму работы, одинаковой мощности, имеющих тот же расчетный максимум нагрузки, что и $n$ электроприемников, различных по мощности и разнохарактерных по режиму работы, присоединенных к данному элементу сети.

Эффективное число электроприемников определяется по следующим формулам: :

при общем числе электроприемников $n \leqslant 10$

$$n_э = \left(\sum_1^n P_{ном,i}\right)^2 \Big/ \sum_1^n P_{номi}^2; \qquad (4.5)$$

при общем числе электроприемников $n > 10$

$$n_э = \frac{2\sum_1^n P_{номi}}{P_{ном,max}}, \qquad (4.6)$$

где $n$ — общее число электроприемников, присоединенных к данному элементу сети; $P_{ном\,i}$ — номинальная (установленная) мощность $i$-го электроприемника, кВт; $P_{ном,max}$ — номинальная (установленная) мощность наибольшего электроприемника данной группы, кВт.

**Предприятия торговли.** Коэффициент спроса для расчета нагрузок питающих и распределительных линий и вводов в здания силовых электрических сетей продовольственных и промтоварных магазинов в зависимости от числа присоединенных электроприемников и процента установленной мощности холодильного и подъемного оборудования в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, следует принимать по табл. 4.4.

**Гостиницы и организации управления.** Коэффициенты спроса для определения нагрузок в силовых сетях (питающих линиях и вводах) гостиниц и зданий организаций управления в зависимости от числа электроприемников и

Таблица 4.4. **Коэффициент спроса для расчета нагрузок питающих и распределительных линий и вводов силовых электрических сетей продовольственных и промтоварных магазинов**

| Удельный вес установленной ощности холодильного и подъ-емного (ПВ-1) оборудования общей установленной мощности илового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, % | Коэффициент спроса $K_{с.с}$ при числе 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 ъемного оборудования и числа присоединенных электроприемников, не указанных в таблице, производится путем интерполяции.
2. Мощность резервных электроприемников в общую установленную мощность силового электрооборудования не включа-я.
3. При числе присоединенных электроприемников менее 3 допускается принимать коэффициент спроса, равный 1.

процента (удельного веса) установленной мощности санитарно-технического оборудования (вентиляторы, кондиционеры, насосы, и т. п.) в общей установленной мощности силового электрооборудования, подключенного к данному элементу сети, можно принимать по табл. 4.5.

Таблица 4.5. **Коэффициенты спроса для расчета питающих линий и вводов силовых сетей организаций управления (без пищеблоков) и гостиниц (без ресторанов)**

| Удельный вес установленной мощности санитарно-технического оборудования в общей установленной мощности силового электрооборудования, % | Коэффициент спроса $K_{с.с}$ при числе электроприемников | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 |
| 100—85 | 0,8 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,65 | 0,6 | 0,55 | 0,55 | 0,5 |
| 84—75 | 0,75 | 0,7 | 0,65 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,55 | 0,55 | 0,5 |
| 74—50 | 0,7 | 0,65 | 0,65 | 0,6 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,5 | 0,45 |
| 49—25 | 0,65 | 0,6 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,45 | 0,45 |
| 24 и менее | 0,6 | 0,6 | 0,55 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,45 | 0,45 | 0,4 |

Примечание. Электрические нагрузки пищеблоков и ресторанов определяются по табл. 4.3.

**Школы, учебные заведения, предприятия бытового обслуживания.** Коэффициенты спроса $K_{с,с}$ для определения электрических нагрузок силовых сетей, питающих технологическое оборудование указанных выше зданий, принимаются равными:

| Предприятия и организации | $n=2\div3$ | $n>3$ |
|---|---|---|
| Лабораторное и учебное оборудование общеобразовательных школ, профессионально-технические училища, техникумы . . . . . | 0,5 | 0,1 |
| Металлообрабатывающие и другие станки в мастерских . . . . . | 0,5 | 0,2 |
| Парикмахерские, ателье, комбинаты бытового обслуживания (технологическое оборудование) . . . . . | 0,6 | 0,4 |
| Прачечные, химчистки (технологическое оборудование) . . . . . | 0,7 | 0,5 |
| Множительная техника . . | 0,5 | 0,3 |

**Аптеки, поликлиники, больницы.** Коэффициенты спроса для определения нагрузок силовых сетей, питающих медицинское оборудование лечебных учреждений, рекомендуется определять в зависимости от эффективного числа электроприемников. Однако $n_э$ определяется не по упрощенной формуле (4.6), а другим способом по графикам, представленным на рис. 4.1 и 4.2, которые дают более точные результаты.

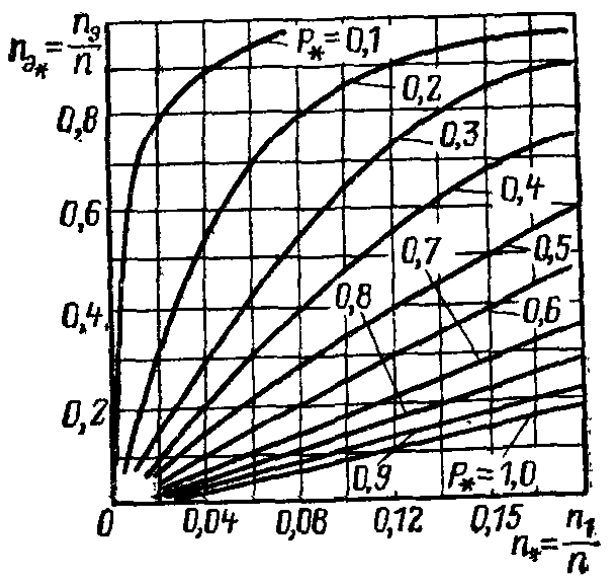



Рис. 4.1. Графики для определения эффективного числа электроприемников при $n_*$ до 0.2

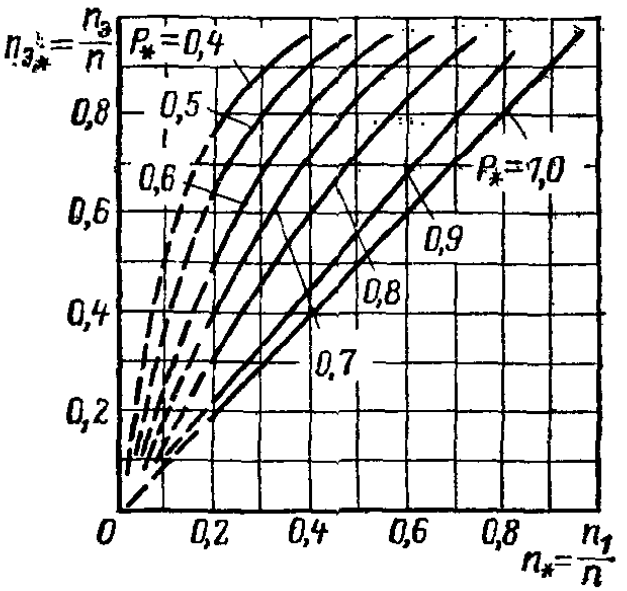



Рис. 4.2. Графики для определения эффективного числа электроприемников при $n_*=0,2\div1,0$

Для этой цели определяется относительное количество электроприемников данной группы $n_*$, мощность каждого из которых не менее половины мощности наибольшего электроприемника,

$$n_* = n_1/n, \tag{4.7}$$

где $n$ — общее количество электроприемников, присоединенных к данному элементу сети; $n_1$ — количество электроприемников, мощность которых не менее половины мощности наибольшего электроприемника.

Затем определяется относительная мощность указанных электроприемников

$$P_* = P_{n1}/P_{уст}, \tag{4.8}$$

где $P_{уст}$ — установленная мощность всех электроприемников, кВт; $P_{n1}$ — суммарная установленная мощность электроприемников, мощность которых не менее половины мощности наибольшего электроприемника, кВт.

По графикам рис. 4.1 или 4.2 определяется относительное эффективное число электроприемников $n_{э*}$

$$n_{э*} = n_э/n \tag{4.9}$$

Из выражения (4.9) определяется абсолютное значение эффективного числа электроприемников

$$n_э = n_{э*}\, n. \tag{4.10}$$

Коэффициенты спроса для определения электрических нагрузок в силовых сетях лечебных учреждений принимается по табл. 4.6

При определении расчетных электрических нагрузок силовых медицинских электроприемников необходимо учитывать, что в медицинских учреждениях (в кабинетах врачей и палатах) устанавливается большое количество силовых щитов и штепсельных розеток, к которым могут подключаться переносные медицинские аппараты и приборы, однако действительное количество их в данном отделении или на данном этаже значительно меньше, чем число розе-

Таблица 4.6. **Коэффициенты спроса для определения электрических нагрузок линий силовых сетей $K_{с,с}$, питающих медицинское электрооборудование**

| Объекты | Коэффициент спроса $K_{с,\,с}$ при эффективном числе электроприемников $n_э$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 |

ток, щитков, предусмотренных проектом по заданиям технологов. В связи с этим в формулу для определения расчетной мощности, кВт

$$P_{max,с} = P'_{уст,с}\, K_{с,с} \tag{4.11}$$

вводится $P'_{уст}$ — условная установленная мощность, кВт, определяемая из эмпирической формулы

$$P'_{уст,с} = 0{,}1P_{уст,р,а} + 0{,}3\,(P_{уст,ш,р} + P_{уст,с,щ} + P_{уст,м,п}), \tag{4.12}$$

где $P_{уст,\,р,\,а}$ — установленная мощность рентгеновских аппаратов (по паспорту), кВт; $P_{уст,\,ш,\,р}$ — установленная мощность силовых штепсельных розеток, кВт; $P_{уст,\,с,\,щ}$ —

установленная мощность медицинских силовых щитков, кВт; $P_{уст, м, п}$ — установленная мощность прочих медицинских электроприемников (автоклавы, дистилляторы и другие медицинские аппараты), кВт.

Таблица 4.7. **Коэффициенты мощности**

| Здание или оборудование | Коэффициент мощности |
|---|---|
| **Осветительные сети** | |
| Осветительные сетн с люминесцентными лампами | 0,95 |
| То же с лампами накаливания | 1 |
| То же с лампами типа ДРЛ, ДРИ: | |
| с компенсированным ПРА | 0,9 |
| с некомпенсированным ПРА | 0,57 |
| **Силовые сети** | |
| Предприятия общественного пнтания с электрифицированными пищеблоками | 0,98 |
| То же с газовымн плитами | 0,95 |
| Продовольственные и промтоварные магазины | 0,85 |
| Детские ясли и сады с электрифицированным пищеблоком | 0,95 |
| То же без пищеблока | 0,9 |
| Общеобразовательные школы с электрифицированным пищеблоком | 0,95 |
| То же без пищеблоков | 0,9 |
| Ателье, комбинаты бытового обслуживания | 0,85 |
| Пнтающие линии к тепловому оборудованию | 0,98 |
| То же к холодильному оборудованию | 0,65 |
| То же к лифтам и другому подъемному оборудованию | 0,6 |
| То же к насосам, вентиляторам и кондиционерам | 0,85 |
| То же к металлообрабатывающим и деревообрабатывающим станкам | 0,6 |
| Парикмахерские | 0,97 |
| Гостиницы (вводы) без ресторанов | 0,85 |
| То же с ресторанами | 0,9 |
| Учреждения управления, финансирования, проектные и конструкторские организации | 0,85 |
| Медицинское оборудоваиие | 0,95 |
| Вводы в лечебные здания | 0,9 |
| Вычислительные машины (без технологического кондиционирования) | 0,65 |

Примечания: 1. Примеиение светнльников с люминесцентными лампами с некомпенсированными ПРА в общественных зданиях не допускается.

2. При совместном питанни газоразрядных ламп и ламп накаливання принимается средневзвешеиный коэффициеит мощности.

3. Допускается для некоторых типов люмннесцентных светильников коэффициент мощности в пределах 0,92—0,85.

**Санитарно-техническое оборудование.** К санитарно-техническому оборудованию любых общественных зданий относятся насосы водоснабжения и канализации, вентиляторы, кондиционеры и т. п. Коэффициенты спроса для определения электрических нагрузок в элементах силовых сетей, к которым подключены санитарно-технические электроприемники, приведены ниже:

| Количество работающих сантехнических установок | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|
| $K_{с.с}$ | 1 | 1 / 0,8 | 0,9 / 0,75 | 0,8 / 0,7 | 0,7 |

*Продолжение*

| Количество работающих сантехнических установок | 15 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 и более |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_{с.с}$ | 0,65 | 0,65 | 0,6 | 0,55 | 0,55 | 0,5 |

Примечание. В знаменателе приведены коэффициенты спроса для электродвигателей единичной мощностью более 30 кВт с учетом их средней загрузки на 80 %.

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок линий, питающих полотенцесушители, принимаются равными 0,2, на вводах — 0,1. Установленная мощность уборочных машин принимается 4,5 кВт на этаж при длине коридора до 50 м и 9 кВт — при большей длине. Коэффициент спроса для расчета питающих линий к этим машинам можно принимать равным 0,2, на вводах — 0,1.

**Лифтовые установки.** Установленные мощности лифтовых установок общественных зданий, приведенные к ПВ = 1 определяются по формуле (3.27).

Расчетные нагрузки определяются с учетом коэффициентов спроса, приведенных ниже:

| Количество лифтовых установок | 1 | 2—3 | 4—5 | 6—7 | 8—10 | 11—20 | 20 и более |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_с$ для зданий высотой до 12 этажей | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| То же для зданий высотой 12 этажей и более | 1 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |

**Киноустановки.** Во многих общественных зданиях имеются залы с киноустановками, предназначенными для демонстрации художественных, документальных, научно-технических и учебных фильмов.

В качестве расчетной нагрузки от кинотехнологического оборудования принимается установленная мощность одного наибольшего кинопроекционного аппарата с его выпрямительной установкой и мощностью звукоусилительной аппаратуры. При определении суммарной расчетной мощности линий, питающих конференцзал, кинозал, и т. п., принимается большая из расчетных нагрузок — освещения зала и эстрады или кинотехнологии; имеется в виду, что одновременное включение этих потребителей исключается. Коэффициент спроса для сети освещения конференцзалов и кинозалов, а также эстрады принимается равным 1.

При подключении к одному силовому вводу потребителей различного технологического назначения (например, типография и ателье по ремонту обуви и т. п.) необходимо учесть несовпадение максимумов отдельных групп силовых электроприемников путем умножения расчетных силовых нагрузок этих групп на коэффициент 0,85.

В зданиях, оборудованных системами кондиционирования воздуха с холодильными машинами (имеющими максимум в летнее время), их расчетную мощность следует умножать на коэффициент 0,4 и прибавлять к расчетным нагрузкам остального силового электрооборудования.

**Коэффициент мощности.** Коэффициент мощности в силовых и осветительных сетях общественных зданий следует принимать по табл. 4.7.

## 4.4. Коэффициенты, учитывающие несовпадение максимумов силовых и осветительных нагрузок и общих нагрузок зданий, подключаемых к одному ТП

Экспериментальные исследования показывают, что практически во всех общественных зданиях максимумы силовых и осветительных нагрузок не совпадают, поэтому при совместном питании этих электроприемников общими питающими линиями или от одного трансформатора расчетная активная нагрузка, кВт, определяется по формуле

$$P_{max} = K_{н,м}(P_{max,с} + P_{max,о} + 0{,}4P_{max,х}), \quad (4.13)$$

где $K_{н,м}$ — коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов силовых ($P_{max,с}$) и осветительных ($P_{max,о}$) нагрузок, принимается по табл. 4.8; $P_{max,х}$ — максимальная нагрузка холодильных машин.

При подключении нескольких зданий (помещений) различного назначения к одной трансформаторной подстанции или питающей линии, например жилых и общественных зданий, следует учесть несовпадение максимумов нагрузок этих зданий.

Суммарная максимальная нагрузка определяется из выражения

$$P_{max\Sigma} = P_{зд,max} + K_1 P_{зд1} + K_2 P_{зд2} + \ldots + K_n P_{здn}, \quad (4.14)$$

где $P_{зд,max}$ — наибольшая из нагрузок зданий (помещений), присоединенных к данной линии (трансформаторной подстанции), кВт; $P_{зд1}$, $P_{зд2}$, ..., $P_{здn}$ — расчетные нагрузки всех зданий, кроме здания, имеющего наибольшую на-

Таблица 4.8. **Коэффициенты $K_{н,м}$, учитывающие несовпадение расчетных максимумов силовых и осветительных нагрузок**

| Здания | Коэффициент $K_{и,м}$ при отношении расчетной осветительной нагрузки к силовой, % | | |
|---|---|---|---|
| | 20—75 | 76—140 | 141—250 |
| Предприятия торговли и общественного питания, гостиницы | 0,9/0,85 | 0,85/0,75 | 0,9/0,85 |
| Общеобразовательные школы, средние специальные учебные заведения, профтехучилища | 0,95 | 0,9 | 0,95 |
| *Детские сады и ясли* | *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 менее 20 и более 250 % коэффициент $K_{н,м}$ следует принимать равным 1.

2. В знаменателе приведен коэффициент $K_{и,м}$ для зданий и помещений с кондиционированием воздуха.

Таблица 4.9. **Коэффициенты, участия в максимуме электрических нагрузок жилых домов (квартир и силовых электроприемников) и общественных зданий (помещений)**

| Здания (помещения) с наибольшей расчетной нагрузкой | Коэффициенты участия в максимуме | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Жилые дома | | Предприятия общественного питания | | Средние учебные заведения, библиотеки | Общеобразовательные школы, профессионально-технические училища | Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования | Предприятия торговли | | Гостиницы | Парикмахерские | Детские сады и ясли | Поликлиники | Ателье и комбинаты бытового обслуживания | Предприятия коммунального обслуживания | Кинотеатры |
| | с электрическими плитами | с плитами на твердом и газообразном топливе | столовые | рестораны, кафе | | | | односменные | полуторасменные, двухсменные | | | | | | | |
| 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, |
| 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, |
| 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, |
| Общеобразовательные школы, средние | 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, |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки, детские сады и ясли | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Предприятия торговли (односменные и полутора-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 учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования | 0,5 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 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 обслуживания, предприятия бытового обслуживания. | 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 | — |

Таблица 4.10. **Усредненные удельные расчетные электрические нагрузки общественных зданий (без электроотопления)**

| Здания | Единица измерений | Удельная нагрузка |
|---|---|---|
| Предприятия общественного питания полностью электрифицированные с количеством посадочных мест до 400 | кВт/место | 0,9* |
| То же с количеством посадочных мест более 500 | » | 0,75* |
| То же, частично электрифицированные (с плитами на газообразном топливе), с количеством посадочных мест до 400 | » | 0,7* |
| То же с количеством посадочных мест более 500 | » | 0,6* |
| Продовольственные магазины без кондиционирования воздуха | кВт/м² торгового зала | 0,11 |
| То же с кондиционированием воздуха | То же | 0,14 |
| Промтоварные магазины без кондиционирования воздуха | » | 0,08 |
| То же с кондиционированием воздуха | » | 0,11 |
| Универсамы без кондиционирования воздуха | » | 0,1 |
| То же с кондиционированием воздуха | » | 0,13 |
| Общеобразовательные школы с электрифицированными столовыми | кВт/1 учащегося | 0,14 |
| То же без столовых | То же | 0,11 |
| Детские ясли и сады с пищеблоками | кВт/место | 0,4 |
| То же без пищеблоков | » | 0,1 |
| Парикмахерские | кВт/рабочее место | 1,3 |
| Здания или помещения учреждений управления, проектных и конструкторских организаций с кондиционированием воздуха | Вт/м² общей площади | 45 |
| То же, но без кондиционирования воздуха | То же | 36 |
| Гостиницы с кондиционированием воздуха (без ресторанов) | кВт/место | 0,4** |
| То же без кондиционирования воздуха | » | 0,3** |
| Профессионально-технические училища со столовыми с количеством учащихся до 1000 | кВт/1 учащегося | 0,4 |
| То же с количеством учащихся более 1000 | То же | 0,25 |
| Фабрики химчистки и прачечные самообслуживания | Вт/кг вещей в смену | 65 |
| Пионерские лагеря (без пищеблоков) | Вт/м² жилых помещений | 20*** |

* Удельная нагрузка не зависит от наличия кондиционирования воздуха.

** Удельную нагрузку ресторанов при гостиницах следует принимать, как для предприятий общественного питания.

*** Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать, как для предприятий общественного питания, с учетом числа мест, равного ⅓ отдыхающих в лагерях.

грузку, подключенных к данной линии или подстанции, кВт; $K_1$, $K_2$, ..., $K_n$ — коэффициенты участия в максимуме электрических нагрузок жилых домов (квартир и силовых электроприемников) и общественных зданий (помещений), принимаемые по табл. 4.9.

Нагрузка нескольких жилых домов с одинаковыми кухонными плитами в квартирах принимается за один объект в зависимости от общего количества квартир и силовых электроприемников, присоединенных к линии (ТП).

Для ориентировочных расчетов электрических нагрузок общественных зданий можно пользоваться табл. 4.10.

**Пример 4.1.** Определить расчетную электрическую нагрузку кафе с установленной мощностью освещения 25,8 кВт и силовых электроприемников 181,07 кВт (33 электроприемника), в том числе:

| Электроприемник | Количество | Мощность одного электроприемника, кВт | Общая установленная мощность, кВт |
|---|---|---|---|
| Посудомоечная машина | 1 | 33,18 | 33,18 |
| Кипятильник | 1 | 12,0 | 12 |
| Шкаф жарочный | 1 | 9,6 | 9,6 |
| Котел пищеварочный | 2 | 7,0 | 14 |
| Прилавок для вторых блюд | 2 | 6,65 | 13,3 |
| Кофеварка | 1 | 4,5 | 4,5 |
| Фреоновый агрегат | 1 | 2,8 | 2,8 |
| Насос | 2 | 2,2 | 4,4 |
| Холодильная камера | 1 | 1 | 1 |
| Универсальный привод | 2 | 0,8 | 1,6 |
| Холодильный шкаф | 3 | 0,6 | 1,8 |
| Прилавок горячих напитков | 2 | 0,6 | 1,2 |
| Прилавок-витрина для холодных закусок | 2 | 0,6 | 1,2 |
| Хлеборезка | 1 | 0,27 | 0,27 |
| Электроплита | 4 | 17 | 68 |
| Кассовый аппарат | 2 | 0,06 | 0,12 |
| Вентилятор | 1 | 7,5 | 7,5 |
| То же | 1 | 3 | 3 |
| То же | 1 | 0,4 | 0,4 |
| Пылесос | 2 | 0,6 | 1,2 |

Решение. 1. Определяем эффективное число электроприемников по формуле (4.6)

$$n_э = \frac{2 \cdot 181,07}{33,18} = 11.$$

2. Определяем удельный вес установленной мощности теплового оборудования (без автоматики) в общей установленной мощности силового электрооборудования (посудомоечная машина, жарочный шкаф, кофеварка, прилавки горячих напитков и для вторых блюд, электроплиты)

$$\frac{129,8 \cdot 100}{181,07} = 68\%.$$

3. Расчетный коэффициент спроса для силовых электроприемников принимаем по табл. 4.3: $K_{с.с} = 0,74$.

4. Расчетная нагрузка силового электрооборудования будет равна

$$P_{max,с} = 181,07 \cdot 0,74 = 134 \text{ кВт}.$$

5. Принимаем коэффициент спроса для освещения по табл. 4.1: $K_{с.о} = 0,8$.

6. Расчетная нагрузка сети электроосвещения

$$P_{max,о} = 25,8 \cdot 0,8 = 20,6 \text{ кВт}.$$

7. Определяем отношение расчетной осветительной нагрузки к силовой

$$\frac{20,6 \cdot 100}{134} = 15,4\%.$$

8. Поскольку удельный вес электрического освещения составляет менее 20 %, по табл. 4.8 принимаем коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов силовых и осветительных нагрузок, $K_{н.м} = 1$.

9. Определяем общую расчетную нагрузку при совместном питании силовых и осветительных электроприемников по формуле (4.13)

$$P_{max} = 134 + 20,6 = 154,6 \text{ кВт}.$$

## Глава пятая

# ГРАФИКИ НАГРУЗОК

Потребление электроэнергии не остается постоянным, а изменяется в зависимости от характера производства, вида и типа электроприемников, времени года, часов суток. Следовательно, изменяется и режим работы электростанций и трансформаторных подстанций.

Изменение нагрузок характеризуется графиками, показывающими изменение потребяемой мощности в зависимости от времени суток. Форма суточного графика нагрузки и его характеристика (заполнение), а также максимум нагрузки потребителей городского типа изменяются в широких пределах. Поэтому для исследований строятся ус-

редненные из ряда графиков по средним получасовым нагрузкам. С помощью этих графиков можно анализировать работу электростанций, подстанций, элементов сети или групп потребителей за определенное время, выбрать необходимый режим работы агрегатов, степень использования оборудования и возможность более целесообразного распределения нагрузок между источниками питания.

Для электрических сетей городов характерны летний и зимний суточные графики нагрузок.

Оба графика имеют два ярко выраженных максимума в утренние и вечерние часы, причем вечерний максимум нагрузки выше утреннего. Летний график нагрузки отличается от зимнего тем, что нагрузки летнего периода ниже зимних и вечерний максимум летом наступает позднее. Имея суточные графики для зимы и лета, можно построить годовой график нагрузки станции (энергосистемы). Такой график называется графиком по продолжительности.

На основании суточных графиков нагрузки определяют мощность электростанции или подстанции и необходимость включения отдельных агрегатов. Графики по продолжительности используют для составления балансов расхода электроэнергии, определения расхода топлива и т. п.

Графики нагрузок жилых зданий также имеют ярко выраженные максимумы в утренние и вечерние часы и различаются в зависимости от времени года. Однако в южных районах страны, где в перспективе будут широко применяться бытовые кондиционеры, нагрузки летнего периода могут оказаться значительно выше. Это же относится и к некоторым общественным зданиям, например продовольственным магазинам, у которых в результате работы холодильного оборудования и кондиционеров летний максимум может превышать зимний.

На рис. 5.1 приведен усредненный зимний суточный график нагрузок жилого дома с газовыми плитами, а на рис. 5.2 — жилого дома с электрическими плитами в квартирах. На осях ординат даны нагрузки в процентах максимальной, а на оси абсцисс указаны часы суток.

Для элементов сетей, питающих квартиры с газовыми плитами, усредненные графики строятся для всех дней недели, включая выходные дни, так как большого различия в графиках нагрузки по дням недели в этих сетях нет. Для элементов сетей, питающих квартиры с электрическими плитами, строятся устредненные графики отдельно для

рабочих и выходных дней. Характерной особенностью графиков нагрузки выходного дня является наличие утреннего, дневного и вечернего максимумов, причем утренний максимум практически равен вечернему.

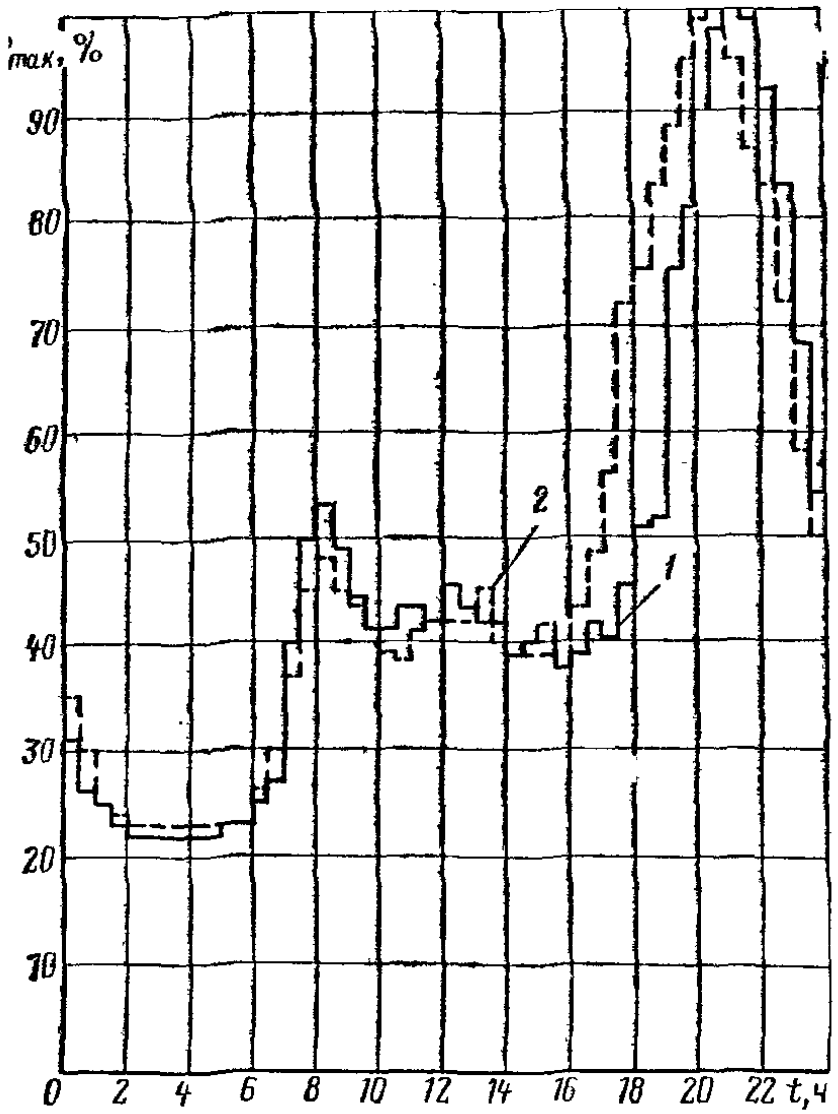



Рис. 5.1. Усредненные зимние суточные графики, % $P_{max}$ электрической нагрузки на вводе в жилые здания с газовыми плитами при многоэтажной застройке при числе присоединенных квартир 410 (*1*) и 505 (*2*)

Средние 30-минутные нагрузки определяют по показаниям счетчика делением электроэнергии, потребляемой за 30 мин, на промежуток времени. Для построения усредненного графика суммируют средние нагрузки, зафиксированные в один и тот же интервал времени, например 14 ч 00 мин — 14 ч 30 мин, 14 ч 30 мин — 15 ч 00 мин и т. д., за все дни недели, а затем полученное значение делят на 7. Как видно из графика на рис. 5.1, в домах с газовыми плитами зимний максимум нагрузки наступает примерно в 20 и продолжается до 21 ч.

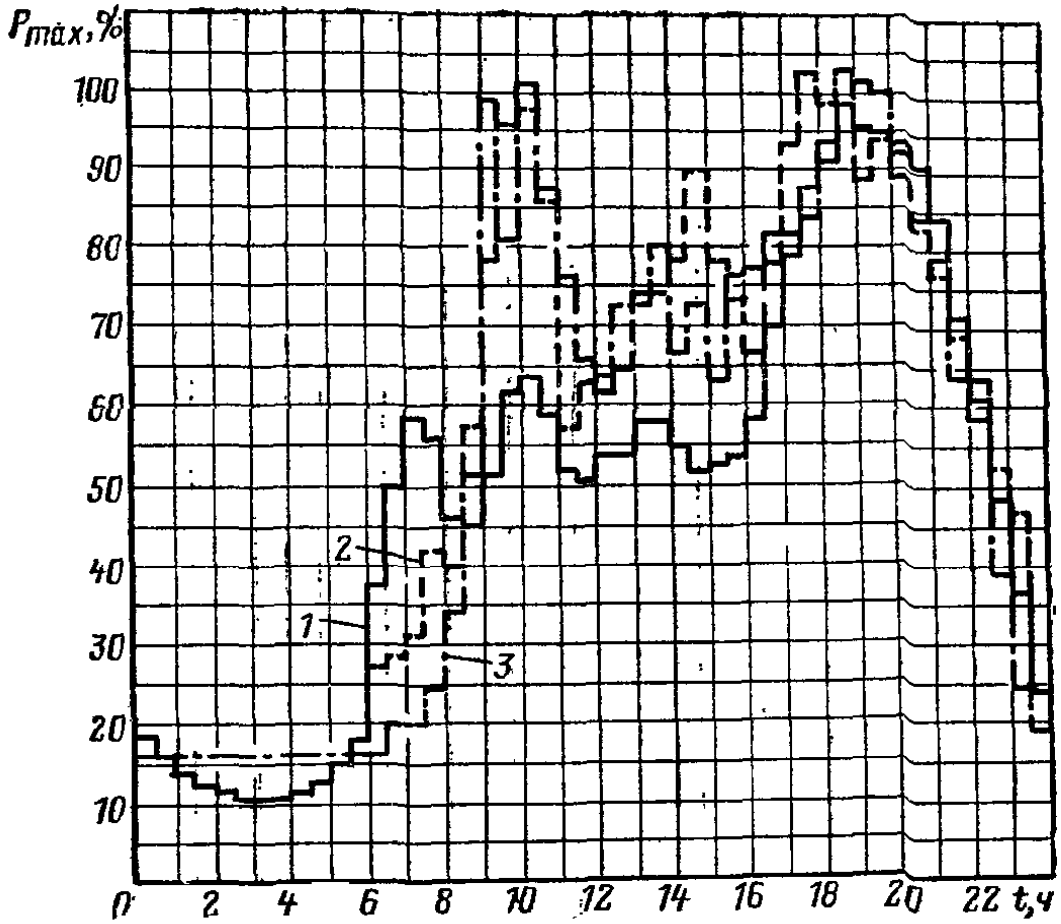



Рис. 5.2. Усредненные суточные графики нагрузки, % $P_{max}$ на вводе в 108-квартирный дом с электрическими плитами:
*1* — рабочий день; *2* — суббота; *3* — воскресенье

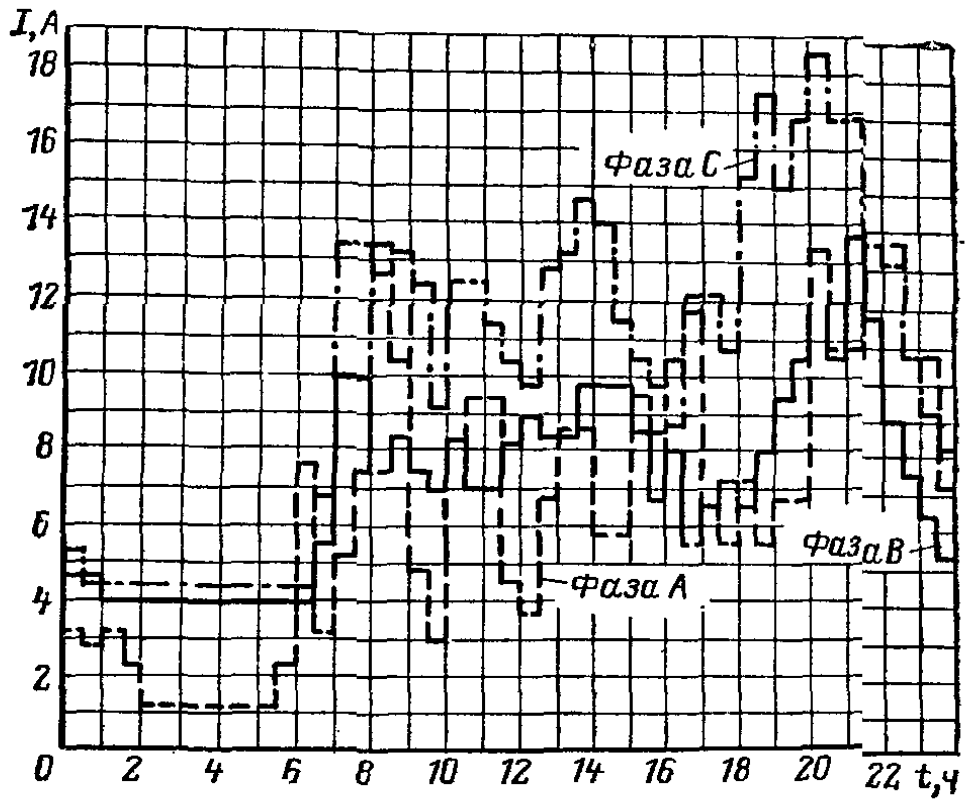



Рис. 5.3. Усредненные суточные графики нагрузки по фазам стояка в доме с электрическими плитами

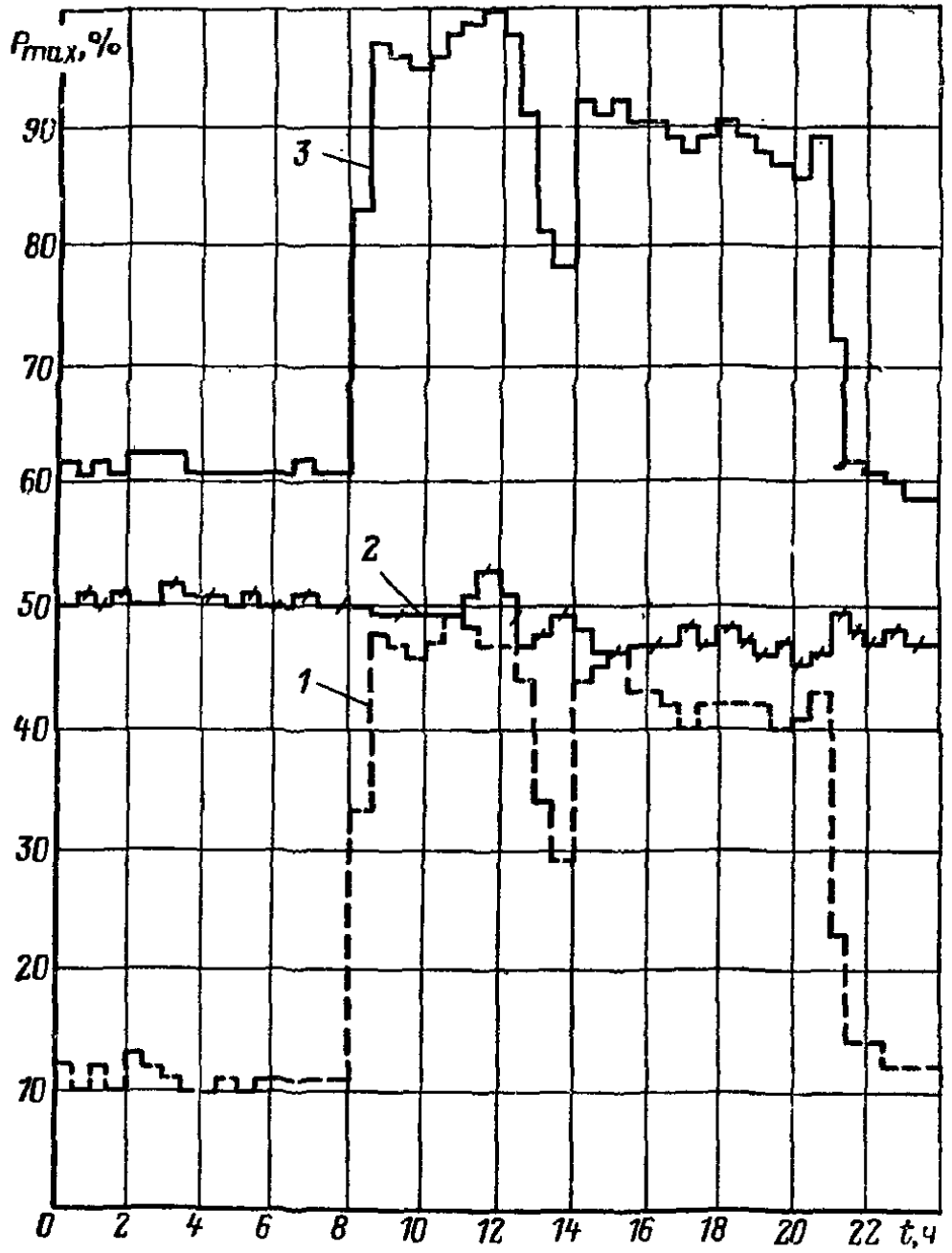



Рис. 5.4. Усредненные летние суточные графики электрических нагрузок универсама (% $P_{max}$):

*1* — осветительные нагрузки; *2* — силовые нагрузки; *3* — суммарная нагрузка

В сетях, питающих квартиры с электрическими плитами, в рабочие дни недели вечерний максимум нагрузки совпадает по времени с максимумом нагрузки домов с газовыми плитами. Утренний максумум начинается с 6 ч и продолжается до 11 ч. Значение утреннего максимума лежит в пределах 55—60 % вечернего максимума, дневная нагрузка составляет примерно 50, а ночная не превышает 20 %. В субботние и воскресные дни кроме вечернего максимума имеет место утренний максимум, примерно равный вечернему, и дневной максимум нагрузки с 13 до 17 ч примерно 80 % вечернего максимума.

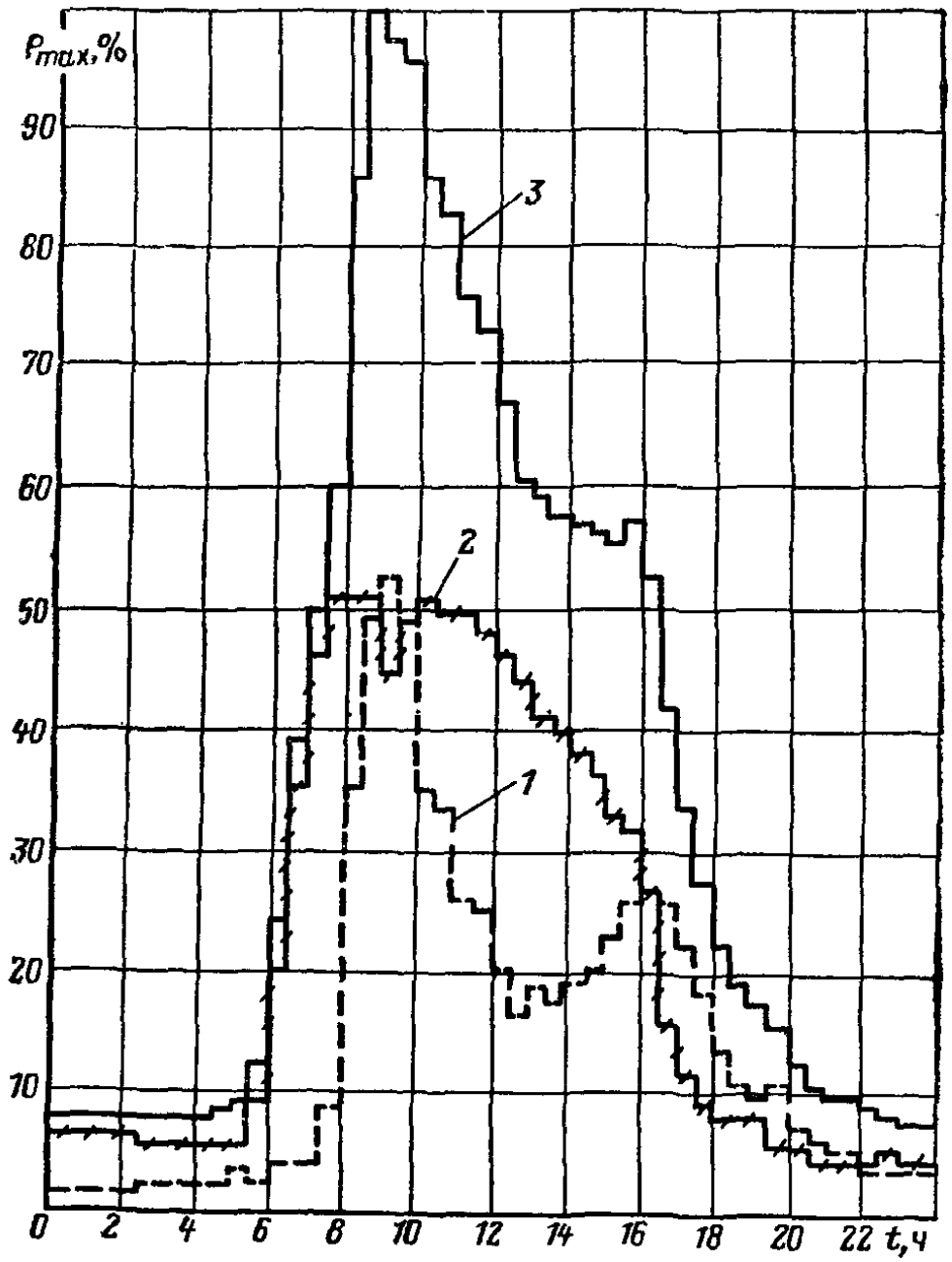



Рис. 5.5. Усредненные зимние суточные графики электрических нагрузок односменной школы с электрифицированным пищеблоком (% $P_{max}$): *1* — осветительные нагрузки; *2* — силовые нагрузки; *3* — суммарные нагрузки

Приведенные данные характерны для крупных городов. В небольших городах и поселках, а также в общежитиях, где существенную роль играет сменная работа трудящихся, графики нагрузки могут отличаться от рассмотренных выше.

Как упоминалось в гл. 3, в жилых домах необходимо считаться с неравномерным распределением нагрузки по фазам, особенно в домах с электроплитами. Это наглядно видно из графика, приведенного на рис. 5.3, в котором на оси ординат указаны токовые нагрузки по фазам.

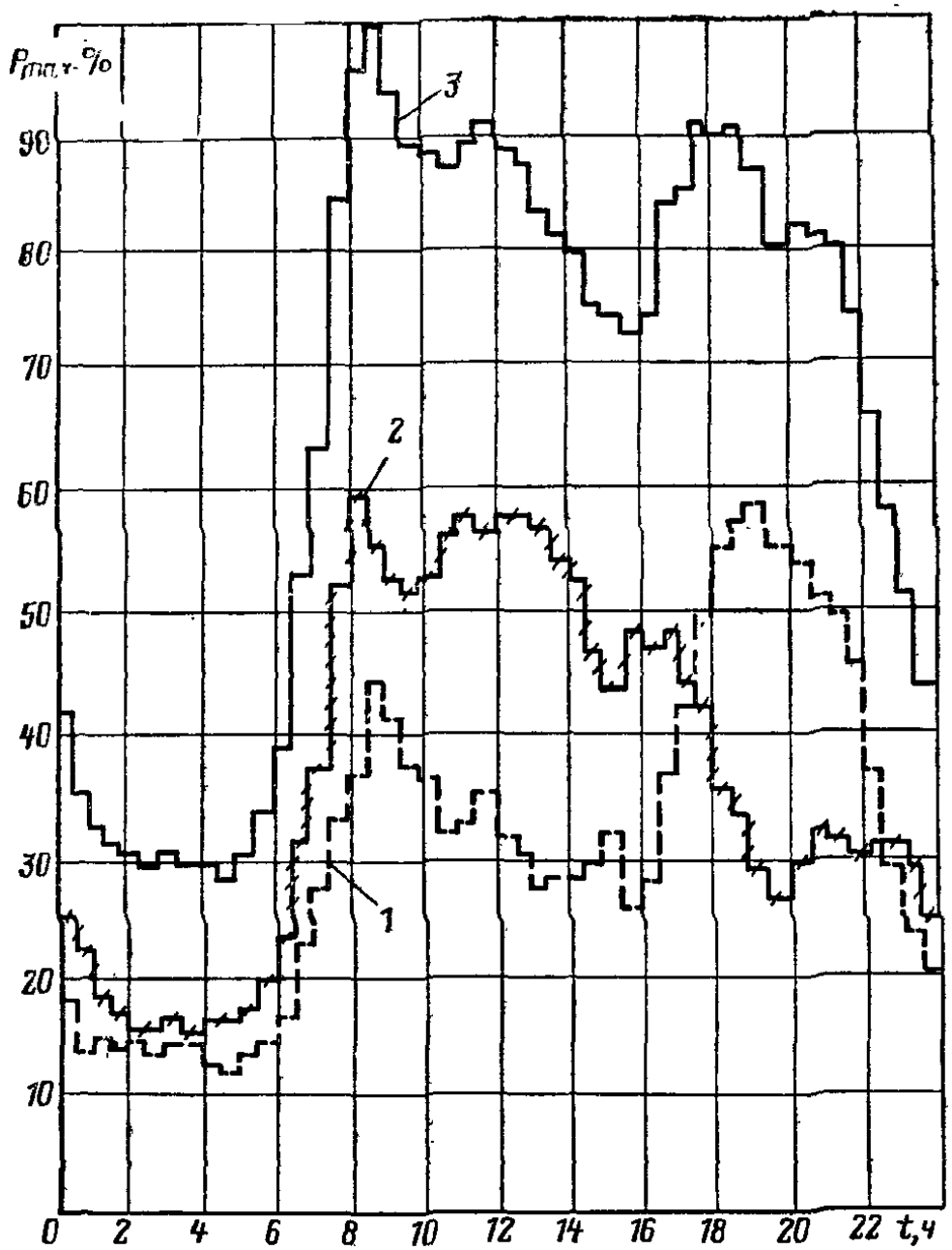



Рис. 5.6. Усредненные зимние суточные графики электрических нагрузок терапевтического корпуса больницы (% $P_{max}$):

*1* — осветительные нагрузки; *2* — силовые нагрузки; *3* — суммарная нагрузка

Графики нагрузок общественных зданий разнообразны и имеют характерные особенности, зависящие от режимов работы и характеристик электроприемников этих зданий. На рис. 5.4 приведен усредненный суточный график нагрузки универсального магазина для летнего дня. На графике приведены изменения во времени осветительной, силовой и общей нагрузок. Из графика видно, что максимум нагрузки приходится на дневные часы в результате более интенсивной работы систем вентиляции и холодильного оборудования. В зимнее время наибольшая нагрузка приходится на вечерние часы (до закрытия магазина).

График нагрузки односменной средней школы (осветительная, силовая и общая) приведен на рис. 5.5. Максимум нагрузки, естественно, приходится на утренние часы зимнего дня.

На рис. 5.6 приведен график нагрузки зимнего дня терапевтического корпуса больницы. Из графика видно, что максимальная нагрузка приходится на утренние часы, когда проводится бо́льшая часть лечебных процедур и работает пищеблок. Второй пик нагрузки приходится на время с 18 до 21 ч из-за освещения.

Общим для всех графиков общественных зданий является несовпадение максимумов силовой и осветительной нагрузок, о чем сказано в гл. 4.

На основании суточных и годового графиков нагрузок могут быть определены некоторые коэффициенты, которыми пользуются при проектировании и эксплуатации электрических установок:

1) средняя нагрузка, кВт

$$\overline{P}_{ср} = W/T, \tag{5.1}$$

где $W$ — расход электроэнергии (площадь графика), кВт·ч, за $T$, ч;

2) число часов использования максимума нагрузки

$$T_{max} = W/P_{max}, \tag{5.2}$$

где $P_{max}$ — наибольшая нагрузка за определенный период времени, кВт.

Коэффициент заполнения графика нагрузки

$$K_{з.г} = \overline{P}_{ср}/P_{max}. \tag{5.3}$$

# Раздел третий

# СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

## Глава шестая

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СЕТЕЙ

### 6.1. Принципы построения схем электрических сетей зданий

Распределение электрической энергии осуществляется по сетям, имеющим различные схемы. Построение схемы зависит от ряда факторов, основными из которых являются:

а) напряжение сети; б) уровни электрических нагрузок; в) требования к надежности электроснабжения; г) экономичность; д) простота и удобство обслуживания; е) конструктивные и планировочные особенности здания.

Кроме того, схема электроснабжения должна обеспечивать возможность применения индустриальных методов монтажа. Необходимость рационального построения схемы распределения энергии помимо вышеуказанного определяется еще высоким удельным весом капитальных вложений на строительство внутренних сетей.

**Напряжение сети.** Как правило, напряжение электрической сети принимается 380/220 В при глухом заземлении нейтрали трансформаторов на питающей подстанции. Как показывают многочисленные расчеты, это напряжение является наиболее экономичным для жилых и общественных зданий. В некоторых городах, где еще сохранились сети 220/127 В, осуществляется интенсивный перевод этих сетей на 380/220 В, что обеспечивает резкое повышение пропускной способности сетей и экономию цветного металла. Можно, однако, предположить, что в отдаленном будущем, при переходе на полную электрификацию быта, включая применение электроотопления, кондиционирования воздуха и приготовление горячей воды, экономичным окажется более высокое напряжение. Так, например, в практике строительства крупных зданий со встроенными магазинами, зрелищными и другими предприятиями за рубежом получили некоторое распространение схемы с вводом высокого напряжения непосредственно в здание и установкой силовых трансформаторов сравнительно небольшой мощности (до 160 кВ·А) на этажах. Как правило, питание силовых и осветительных электроприемников жилых и общественных зданий осуществляется от общих силовых трансформаторов при условии соблюдения требований по допустимым размахам изменений напряжения (см. гл. 12).

**Надежность электроснабжения.** Требования к надежности электроснабжения регламентированы ПУЭ и Строительными нормами и правилами [20, 21, 22].

*В жилых зданиях* к первой категории относятся пожарные насосы, устройства дымозащиты и другие противопожарные устройства, лифты, эвакуационное и аварийное освещение домов высотой 17 этажей и более. Остальные группы электроприемников в этих зданиях относятся ко второй категории. Кроме того, к первой категории отно-

сятся огни светового ограждения этих зданий, устанавливаемые в районах, определяемых службами гражданского воздушного флота. Электроприемники отдельно стоящих центральных тепловых пунктов (ЦТП), снабжающих теплом жилые дома и общежития высотой 17 этажей и более, относятся к первой категории. Центральные тепловые пункты, обслуживающие дома и общежития высотой 16 этажей и менее, — ко второй категории. Электроприемники ЦТП, предназначенных для теплоснабжения нескольких зданий, должны питаться не менее чем двумя отдельными линиями от трансформаторных подстанций. Присоединение к этим линиям других электроприемников не допускается. Питание электроприемников тепловых пунктов, встроенных в здание и предназначенных для теплоснабжения данного здания, допускается осуществлять отдельными линиями от вводно-распределительного устройства (ВРУ) здания. При отсутствии технологического резервирования электроприемников требуется установка устройств автоматического ввода резерва (АВР) на вводах.

В домах высотой от 6 до 16 этажей с плитами на газовом и твердом топливе, а также электроприемники в домах любой этажности с электроплитами и электроводонагревателями, кроме одно-восьмиквартирных домов относятся ко второй категории. К этой же категории относятся электроприемники общежитий с числом проживающих 50 чел. и более.

Электроприемники всех других жилых зданий и общежитий, включая дома на садовых участках, относятся к третьей категории.

*В общественных зданиях* к первой категории относятся электродвигатели пожарных насосов, электродвигатели и другие электроприемники противопожарных устройств, систем пожарной и охранной сигнализации, лифты организаций и учреждений управления, партийных, комсомольских, профсоюзных и других общественных организаций, проектных и конструкторских организаций, учреждений финансирования, кредитования и государственного страхования, архивов и т. п. при высоте зданий 17 этажей и более, а также независимо от этажности перечисленные электроприемники учреждений управления, проектных и конструкторских организаций с количеством работающих 2000 чел. и более, библиотек, книжных палат и архивов на 1 млн. единиц хранения и выше, учебных заведений при числе учащихся свыше 1000 чел., предприятий торговли с

общей площадью торговых залов 2000 м² и более, столовых, кафе и ресторанов с числом мест свыше 500, гостиниц при числе мест свыше 1000 (любой этажности). Кроме того, к первой категории относятся вышеуказанные электроприемники музеев, выставочных залов областного и республиканского значения и весь комплекс электроприемников музеев, выставочных залов союзного значения. К первой категории относятся электроприемники операционных, отделений реанимации, родильных, неотложной помощи и других аналогичных помещений больниц, от бесперебойной работы которых зависит жизнь больных. К этой же категории относятся комплексы электроприемников междугородных телефонных станций, центральных телеграфов, городских АТС.

Комплекс остальных электроприемников вышеуказанных зданий относится ко второй категории. Ко второй категории относятся комплексы электроприемников перечисленных зданий меньшей этажности или вместимости, за исключением электроприемников одно- двухэтажных зданий административно-общественного назначения с числом сотрудников до 50 (кроме партийных органов и исполнительных комитетов народных депутатов), библиотек до 100 тыс. единиц хранения, учебных заведений до 200 учащихся, магазинов с площадью торговых залов 250 м² и менее, столовых и кафе до 100 мест, гостиниц при числе мест до 200, которые относятся к третьей категории.

В предприятиях бытового обслуживания ко второй категории относятся комплексы электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест 10 и более, ателье, комбинатов с числом рабочих мест 50 и более, прачечных и химчисток производительностью в смену 400 кг и более. Электроприемники прочих бытовых предприятий относятся к третьей категории.

Электроприемники детских садов и яслей относятся ко второй категории.

В зрелищных предприятиях к первой категории относятся аварийное и эвакуационное освещения, пожарные насосы, автоматическая пожарная сигнализация и система дымозащиты при вместимости зрительного зала 800 чел. и более, а также те же электроприемники (независимо от вместимости) дворцов и домов пионеров. Электроприемники электроприводов сценических механизмов при количестве электроприводов 10 и менее и вместимости залов 800 чел. и менее относятся к третьей категории. Все ос-

тальные электроприемники зрелищных предприятий относятся ко второй категории.

Электроприемники конференц-залов и актовых залов со стационарными кинопроекционными установками и эстрадами во всех видах общественных зданий, кроме постоянно используемых для платных зрелищных мероприятий, относятся к той же категории, что и другие электроприемники зданий, в которые они встроены.

Приведенный перечень не исчерпывает всех видов зданий и учреждений общественного назначения, поэтому при определении категории надежности электроснабжения необходимо руководствоваться ведомственными нормативными документами.

Электроприемники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников, и перерыв в их электроснабжении может быть допущен лишь на время действия устройств АВР. Независимым источником электроснабжения называется источник питания данного объекта, на котором сохраняется напряжение при исчезновении его на других источниках. К таким источникам питания относятся РУ двух электростанций или центров питания, а также две секции сборных шин электростанций или подстанции при условии, что каждая секция в свою очередь имеет питание от независимого источника, причем эти секции не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключаемую при нарушении работы одной из секций. Например, две секции шин двухтрансформаторной подстанции, подключенной к двум секциям центра питания, могут считаться независимыми источниками. Это же относится к питанию от двух-однотрансформаторных подстанций, если они присоединены к независимым источникам.

Для электроприемников второй категории допускаются перерывы в электроснабжении на время, необходимое для включения резервного питания выездной оперативной бригадой энергосистемы или дежурным персоналом. Однако и для электроснабжения потребителей второй категории рекомендуется устройство АВР, если применение этого устройства увеличивает капитальные вложения в сеть не более чем на 15 % или если эти затраты окупаются за 5—8 лет. (Это равнозначно увеличению приведенных затрат не более чем на 5 %).

Воздушные линии до 1000 В, питающие электроприемники жилых и общественных зданий, рекомендуется осу-

ществлять нерезервируемыми. Допускается резервирование питания электроприемников второй категории при аварии путем устройства перемычек на стороне низшего напряжения шланговым кабелем длиной до 50 м.

Электроприемники второй категории могут питаться от однотрансформаторной подстанции при наличии резервного трансформатора на складе владельца ТП.

Электроприемники третьей категории допускают перерывы в электроснабжении для выполнения ремонтных работ или замены поврежденного элемента сети на срок не более 1 сут. При невозможности по местным условиям осуществить питание электроприемников первой категории от двух независимых источников, что бывает в небольших городах, нормы разрешают питание их от разных трансформаторов двухтрансформаторной подстанции или от трансформаторов двух близлежащих подстанций, присоединенных к разным линиям 6—10 кВ, с устройством АВР на стороне низшего напряжения. Возможно также автоматическое переключение на местные источники (аккумуляторные батареи, дизельные электростанции).

В зрелищных предприятиях с большими скоплениями людей наряду с устройством электроснабжения по первой категории иногда также применяется автоматическое переключение эвакуационного и аварийного освещения на питание от местного источника на случай выхода из строя всей системы электроснабжения.

**Экономичность.** Задача построения электрической сети, как правило, многовариантна. Поэтому важным критерием выбора той или иной схемы является ее экономичность как по затратам денежных средств на сооружение и эксплуатацию, так и по расходу цветного металла. Методика технико-экономических расчетов приведена в гл. 16.

**Простота и удобство обслуживания.** Помимо экономичности должно уделяться достаточное внимание удобствам эксплуатации, наглядности схемы и ее простоте. Иногда эти требования превалируют над требованиями экономичности. Отсюда вытекает необходимость удобного расположения ВРУ здания, обеспечивающего наиболее простой ввод питающих линий и прокладку распределительной сети, а также безопасность обслуживания. Схема сети должна строиться таким образом, чтобы поврежденный участок сети легко обнаруживался и заменялся и чтобы при этом отключалось по возможности небольшое количество потребителей.

**Конструктивные особенности здания** оказывают известное влияние на построение схемы. В тех случаях, например, когда в жилое здание встраиваются различные предприятия и учреждения, схема сети усложняется в связи с необходимостью комплексного питания потребителей собственно здания и встроенных помещений. При этом схема должна отвечать требованиям надежности электроснабжения всех потребителей. При построении схемы внутренних сетей очень важно учитывать решения строительных конструкций зданий для экономичного и индустриального осуществления электромонтажных работ.

Таким образом, рационально построенная схема электрической сети является синтезом комплекса факторов, определяющих ее параметры. Оценка и выбор схемы могут производиться только по совокупности всех показателей применительно к конкретным условиям сооружаемой электроустановки.

## 6.2. Классификация сетей

По назначению электрические сети до 1000 В жилых и общественных зданий делятся на питающие и распределительные.

**Питающей сетью** называют 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** называются линии, идущие от групповых щитков освещения до светильников в осветительной сети. Линии от этажных групповых щитков к электроприемникам квартир жилых домов тоже называют групповыми.

**По принципу построения схемы** сети разделяются на разомкнутые и замкнутые. *Разомкнутая сеть* состоит из разветвленных линий к электроприемникам или их группам и получает питание с одной стороны. Простейший пример схемы разомкнутой питающей сети квартир одной секции жилого дома представлен на рис. 6.1. Однако разомкнутая сеть обладает некоторыми недостатками, которые заключаются в том, что при аварии в любой точке

сети питание всех потребителей за аварийным участком прекращается.

В разомкнутой сети поддержание необходимого уровня напряжения на зажимах электроприемников в различное время суток без специальных устройств затруднительно. По этим причинам, несмотря на свою простоту, разомкнутые сети не всегда являются оптимальными, что

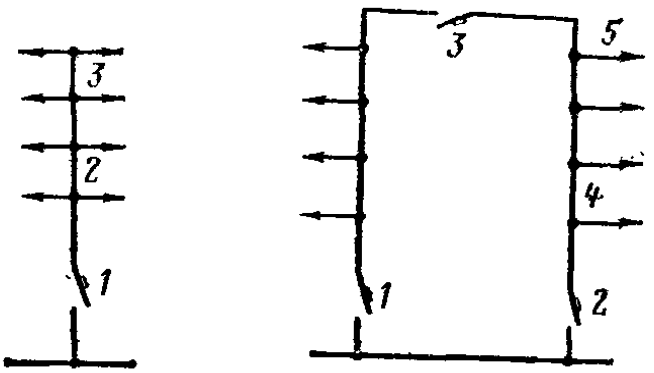



Рис. 6.1. Схема разомкнутой питающей сети секции жилого здания: *1* — автоматический выключатель; *2* — стояк; *3* — ввод в квартиру

Рис. 6.2. Схема замкнутой питающей сети жилого дома:

*1, 2* — автоматические выключатели; *3* — автоматический выключатель (слабая связь); *4* — стояк; *5* — ввод в квартиру

особенно сказывается при высоком уровне нагрузок и большом числе присоединенных электроприемников.

*Замкнутая сеть* может иметь один, два и более источников питания, действующих одновременно. На рис. 6.2 дан пример замкнутой сети одной секции жилого дома. Преимущество замкнутой сети состоит в том, что при изменениях нагрузки в любой точке сети автоматически меняется токораспределение в ветвях, которое всегда является оптимальным.

Таким образом, в замкнутой сети идет непрерывный процесс выравнивания напряжения на зажимах электроприемников, позволяющий улучшить качество электроэнергии в известных пределах без значительных затрат цветного металла. При разомкнутой сети обычно достигнуть оптимума при тех же затратах не удается. В замкнутой сети благодаря автоматическому перемещению точки токораздела достигается уменьшение влияния асимметрии нагрузок в различных фазах, что также имеет немаловажное значение при случайном сочетании нагру-

зок. Следует отметить, что в замкнутой сети происходит некоторое снижение суммарного максимума нагрузок по сравнению с разомкнутой сетью.

Представленная на рис. 6.2 схема является простой замкнутой сетью со «слабой связью» (автоматический выключатель 3). При аварии в любой точке сети в первую очередь должен отключиться автоматический выключатель 3,

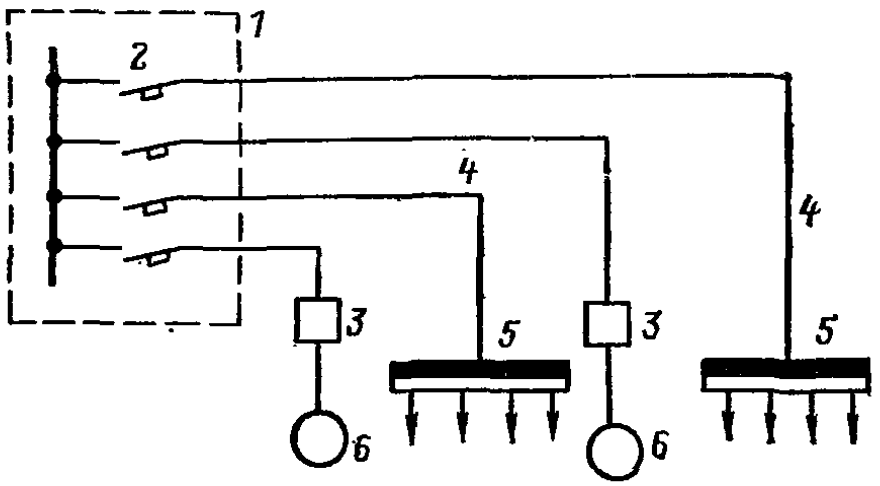



Рис. 6.3. *Радиальная схема силовой сети:*

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

затем автоматический выключатель в той линии, где произошло КЗ. При этом половина сети остается в работе. Уставка тока трогания автоматического выключателя *3*, или номинальный ток плавкой вставки предохранителя, выбирается существенно ниже, чем у автоматических выключателей (предохранителей) *1* и *2*.

Несмотря на указанные преимущества, замкнутые сети пока не получили большого распространения, что в известной мере объясняется затруднениями в устройстве селективной защиты на базе выпускаемых аппаратов (автоматических выключателей и предохранителей) для сетей низкого напряжения. Кроме того, в подобных сетях возрастают токи КЗ, что может создать трудности в выборе аппаратуры. За рубежом замкнутые сети получили некоторое распространение в крупных жилых комплексах с встроенными предприятиями обслуживания, магазинами и зрелищными предприятиями.

Сети могут выполняться по радиальной, магистральной и смешанной схемам.

**При радиальной схеме** от ВРУ отходят питающие линии без разветвлений к отдельным электроприемникам или отдельным распределительным пунктам (щитам), от которых в свою очередь питаются электроприемники.

На рис. 6.3 показан пример радиальной схемы питающей силовой сети здания. Достоинство радиальной схемы заключается в ее наджности, так как при выходе из строя

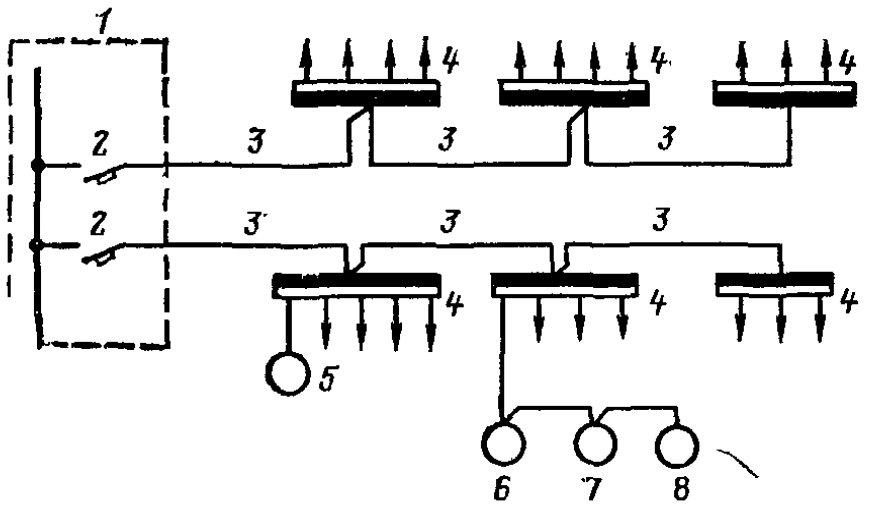



Рис. 6.4. Магистральная схема силовой сети:

*1* — распределительный щит; *2* — автоматический выключатель; *3* — питающая линия; *4* — силовой распределительный пункт; *5* — электроприемник; *6, 7, 8* — электропрнемники, включеиные в «цепочку»

одной питающей линии отключается только один электроприемник или группа электроприемников, присоединенных к одному распределительному пункту. Однако эта схема имеет серьезные недостатки, заключающиеся в большом числе питающих линий, увеличенной протяженности сети и, следовательно, значительном расходе цветного металла, увеличенном количестве коммутационных аппаратов. Радиальные схемы с подводкой питания в каждую квартиру жилого дома отдельной линии от ввода в здание явно неэкономичны и не применяются.

Для внутренних электрических сетей характерны *магистральные схемы* (рис. 6.4), при которых к одной питающей линии с учетом удобной трассировки присоединяются несколько распределительных пунктов (щитов).

В жилых домах к одной питающей горизонтальной линии могут быть присоединены один или несколько стояков, от которых в свою очередь отходят ответвления к этажным щиткам. Однако надо иметь в виду, что при присоединении двух и более стояков к одной питающей линии в домах высотой 6 этажей и более в точке ответвления следует уста-

навливать аппарат управления для ремонтных целей. Для наружных кабельных сетей, питающих многоэтажные здания, радиальная схема применяется широко, однако с взаимным резервированием питающих линий от ТП до ВРУ здания для обеспечения работы электроприемников при выходе из строя одной из линий.

При питании зданий с относительно небольшими нагрузками, например жилых домов высотой до 5 этажей включительно, небольших бытовых мастерских и магазинов, большей частью применяются магистральные схемы с питанием нескольких зданий одной линией. Магистральные схемы широко используются в воздушных сетях при питании мелких зданий в небольших городах и поселках. Магистральные схемы дешевле радиальных, но менее надежны.

Многолетняя практика проектирования и строительства, а также многочисленные расчеты и исследования позволили выработать некоторые типичные решения элементов схем, которые приведены в гл. 7.

## Глава седьмая

# СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

### 7.1. Схемы наружных (внутриквартальных) питающих линий

Схемы внутриквартальных наружных сетей до 1000 В имеют важное значение для правильного построения схем внутренних сетей жилых зданий, поскольку выбор схемы в значительной степени зависит от взаимосвязи между всеми элементами сети, включая местоположение трансформаторной подстанции, длину и сечение наружных питающих линий.

Ниже приводятся характерные схемы электроснабжения жилых зданий различной этажности, которые обеспечивают необходимую надежность питания и, как показывают расчеты, являются экономически целесообразными.

**Питание жилых домов высотой до 5 этажей включительно.** Для питания таких зданий при отсутствии в квартирах электроплит применяются магистральные петлевые схемы с резервной перемычкой или без нее. Такая простейшая схема кабельной сети показана на рис. 7.1. Резервная перемычка *8* подключается при выходе из строя любой из

питающих линий *9* или *10*, которые должны рассчитываться на прохождение по ним тока аварийного режима и по допустимым потерям напряжения.

При этом необходимо учитывать, что в аварийном режиме в течение не более 5 сут во время максимума, но не более 6 ч ежесуточно нормами разрешается перегрузка кабелей с бумажной изоляцией на 20, с полиэтиленовой на 10

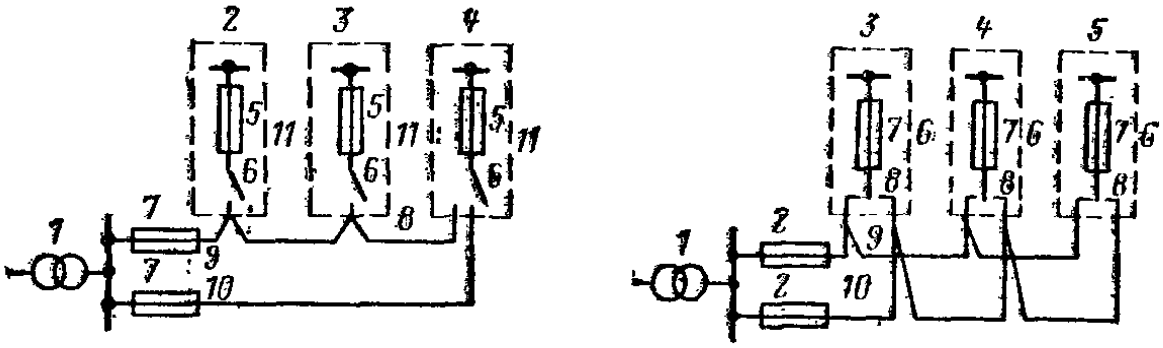



Рис. 7.1 Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с резервной перемычкой:

*1* — трансформаторная подстанция; *2, 3, 4* — жилые дома; *5, 7* — предохранители; *6* — рубильники; *8* — резервная перемычка; *9, 10* — питающие линии; 11 — ВРУ

Рис. 7.2. Схема питания жилых домов высотой до 5 этажей с переключателями на вводах:

*1* — трансформаторная подстанция; *2, 7* — предохранители; *3, 4, 5* — жилые дома; *6* — ВРУ; *8* — переключатели; *9, 10* — питающие линии

и поливинилхлоридной на 15 % длительно допустимой по ПУЭ. Перегрузка допускается при условии, что в нормальном режиме загрузка кабелей не превышает номинальной для кабелей с пластмассовой изоляцией и 80 % номинальной для кабелей с бумажной изоляцией (в земле).

В аварийном режиме допускаются также повышенные потери напряжения — до 12 %. Если учесть, что указанные жилые дома относятся к третьей категории надежности, то устройство резервной перемычки не является обязательным. Однако в крупных городах со сложными условиями разрытия даже при хорошей постановке ремонтной службы устранение аварии в течение суток бывает затруднительным. Поэтому прокладку резервной перемычки длиной обычно не более 70—80 м в этих условиях следует считать целесообразной.

Приведенная схема (рис. 7.1) имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что при отключении од-

ной из питающих линий, например 9, электроснабжение всех зданий осуществляется по кольцу, в результате чего даже при повышенных допустимых потерях напряжения иногда приходится увеличивать сечения кабелей. Другим недостатком является то, что резервная перемычка в нормальном режиме не используется.

На рис. 7.2 приведена модификация описанной схемы, при которой на вводах в здание вместо рубильников устанавливаются переключатели. При аварии с одной из питающих линий данная схема в ряде случаев оказывается более экономичной. Недостатком схемы является некоторое усложнение вводного устройства и удлинение питающих линий. Кроме того, в каждый дом (кроме тупикового) приходится заводить уже не два, а четыре кабеля. Однако схема удобна при застройке в линию и менее экономична при других планировочных решениях.

В небольших городах и поселках, где широко применяются воздушные линии, резервирования не требуется, так как неисправность может быть обнаружена и устранена достаточно быстро.

**Питание жилых домов высотой 9—16 этажей.** Для питания электроприемников таких домов применяются как радиальная, так и магистральная схемы с переключателями на вводах (рис. 7.3).

При этом одна из питающих линий используется для присоединения электроприемников квартир и общего освещения общедомовых помещений (подвал, лестничные клетки, вестибюли, холлы, чердаки, наружное освещение и т. д.); другая питающая линия предназначена для подключения лифтов, противопожарных устройств эвакуационного и аварийного освещения, элементов диспетчеризации и кодовых замков на дверях подъездов.

При выходе из строя одной из питающих линий все электроприемники дома подключаются к линии, оставшейся в работе, которая рассчитана с учетом допустимых перегрузок при аварийном режиме. Перебой в питании потребителей при указанной схеме продолжается обычно не более 1 ч, т. е. времени, необходимого для вызова электромонтера ЖЭК, который и осуществляет нужные переключения на ВРУ. Схема может быть использована и для домов высотой до 5 этажей, оборудованных квартирными электроплитами.

Для питания зданий высотой 9—16 этажей с электроплитами, а также многосекционных домов с большим чис-

лом квартир с газовыми плитами приходится применять три или более питающих линий (вводов).

На рис. 7.4 приведены схемы питания жилых домов с тремя вводами. Первый ввод резервирует второй, второй

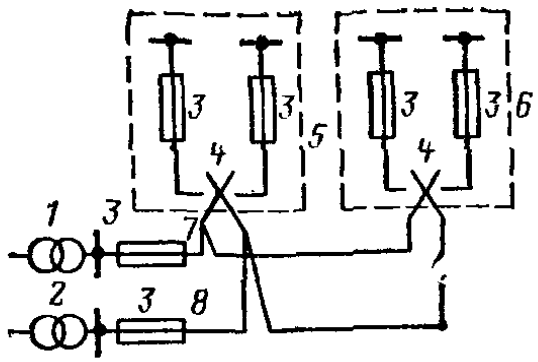



Рис. 7.3. Схема питания жилых домов высотой 9—16 этажей с двумя переключателями на вводах:

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

резервирует третий и третий резервирует первый (рис. 7.4, *а*); модификация этой схемы приведена на рис. 7.4, *б*, где первый и второй вводы взаимно резервируют друг друга, а третий ввод резервируется от первого. Такая схема удобна при ремонте одной из сборок низкого напряжения

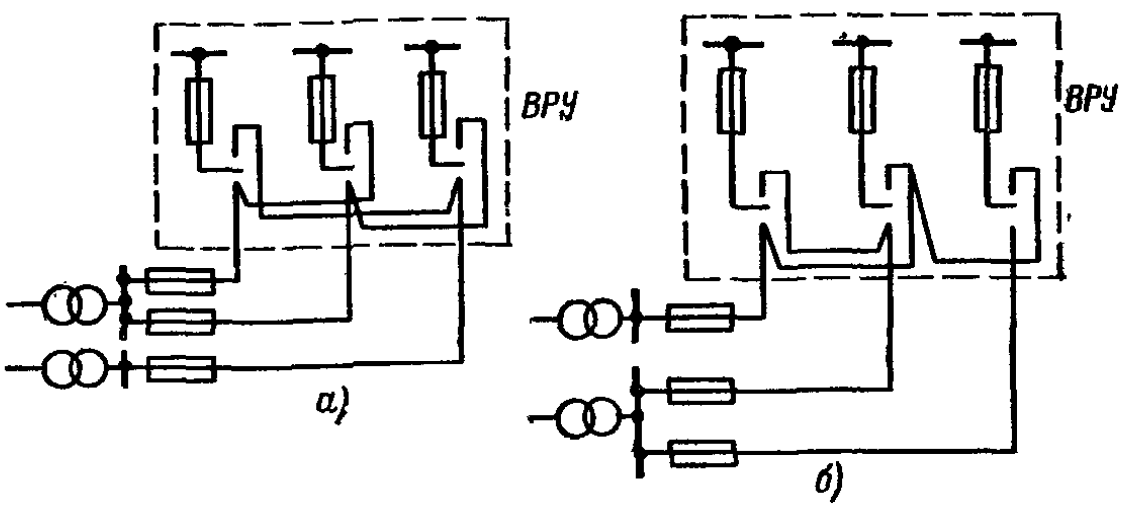



Рис. 7.4. Схема питания зданий высотой 9—16 этажей с тремя вводами

на подстанции. Однако в этом случае на один кабель приходится вся нагрузка дома, и в этом исключительном случае часть электроприемников на период ремонта отключается.

При питании зданий по схемам, приведенным на рис. 7.4, следует учитывать важную особенность сетей, построенных по так называемой двухлучевой схеме с АВР на стороне 0,4 кВ ТП. Применяемые для АВР контакторные

станции серии ПЭВ оборудованы контакторами, рассчитанными на ток 1000 А (имеется также большое количество ТП, оборудованных контакторами на ток 630 А). При аварийных переключениях питающих линий нельзя допускать перегрузки контакторов, что может привести к выходу из строя подстанции и лишить электроэнергии присоединенные здания.

Возможна также установка АВР на стороне высшего напряжения, поскольку выход из строя трансформаторов — явление крайне редкое.

**Питание жилых домов высотой 17 этажей и более.** При построении схемы питания жилых домов 17—25 этажей и более необходимо учитывать, что лифты, эвакуационное и аварийное освещение, огни светового ограждения, противопожарные установки являются электроприемниками первой категории по надежности электроснабжения. Для таких зданий применяются радиальные схемы с АВР на вводах, к силовым вводам присоединяются и противопожарные устройства, огни светового ограждения, эвакуационное и аварийное освещение. Соответствующая схема приведена на рис. 7.5.

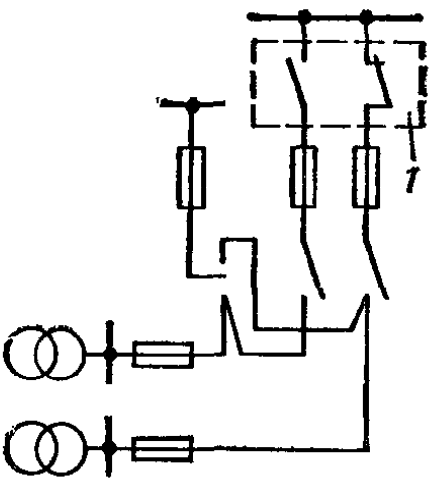



Рис. 7.5. Схема электроснабжения жилого дома высотой 17 этажей и выше:
*1* — АВР

## 7.2. Размещение трансформаторных подстанций

Одним из важных вопросов при проектировании внутриквартальных сетей является выбор места для размещения подстанции. Наиболее целесообразно размещать подстанции в центре нагрузки, со смещением в сторону питания, однако архитектурно-планировочные решения застройки района не всегда допускают такое размещение.

При многоэтажной застройке и наличии встроенных в жилые дома предприятий общественного и бытового назначения, а также при установке электроплит в квартирах наиболее экономически целесообразно встраивать подстанции

непосредственно в здания. Однако в настоящее время ПУЭ и СНиП запрещают размещение подстанций в жилой части зданий ввиду проникновения в квартиры шума от работающих трансформаторов. Тем не менее представляется целесообразным допустить встраивание подстанций при условии применения специальных мер по звукоизоляции строительных конструкций, снижающих проникновение шума в

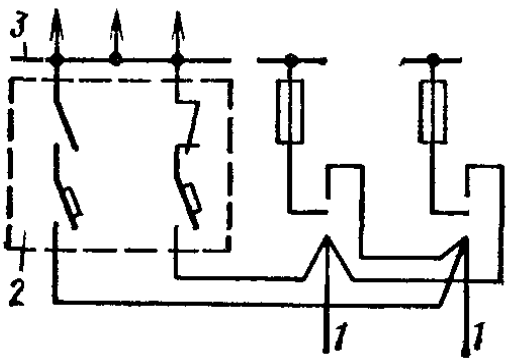



Рис. 7.6. Схема подключения противопожарных устройств в домах высотой до 16 этажей включительно:

*1* — питающие линии от ТП; *2* — АВР; *3* — щит питания противопожарных устройств

квартиры до уровня, установленного нормами. Весьма перспективным является размещение подстанций в подземном пространстве в непосредственной близости от зданий или даже под зданиями.

## 7.3. Схемы вводно-распределительных устройств

В современных жилых зданиях вводы внешних сетей и коммутационно-защитная аппаратура внутренних распределительных сетей объединяются в единое комплексное ВРУ, которое является и главным распределительным щитом. Как уже упоминалось, схемы вводов зависят от принятых схем наружных сетей.

Следует иметь в виду, что в домах высотой до 16 этажей включительно, в которых применяются противопожарные устройства, в частности системы дымозащиты, питание этих устройств должно осуществляться от специальной панели ВРУ с АВР, причем питающие линии к этой панели должны подключаться к вводам в здание до переключателей (рис. 7.6) что повышает надежность их электроснабжения. На вводе питающей линии в здание устанавливаются аппараты защиты и управления. При вводе на ток не более 25 А аппарат управления может не устанавливаться. При ответвлениях к зданиям от воздушных линий, защищенных в точке ответвления аппаратом защиты на ток не более 25 А, вводные устройства могут не применяться.

Таблица 7.1. **Оптимальное количество ВРУ и число отходящих горизонтальных линий для питания квартир**

| Количество этажей в здании | Количество ВРУ (числитель), число отходящих от каждого ВРУ горизонтальных питающих линий (знаменатель), при количестве секций в здании | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2—5 | 6—7 | 8 и более |
| **Газифицированные здания** | | | | |
| 5—9 | 1 / 1 | 1 / 1—2 | 1 / 1—2 | 1 / 1—2 |
| **Здания с электроплитами** | | | | |
| 5—8 | 1 / 1 | 1 / 1—2 | 1 / 2 | 1 / 2 (2) / (1—2) |
| 9—12 | 1 / 1—2 | 1 / 2 | 1 / 2 | 1 / 2—3 (2) / (2) |
| 13—16 | 1 / 1—2 | 1 / 2 | 1 / 2—3 (2) / (2) | 2 / 2 (1) / (3) |
| 17—22 | 1 / 1—2 | 1 / 2 (2) / (2) | — | — |
| 23—25 | 1 / 1—2 | 1 / 2 (2) / (1—2) | — | — |

Примечания: 1. Показатели в скобках соответствуют практически равноэкономичным вариантам сети (с превышением приведенных затрат на сеть не более 2—4 %)

2. В зданиях высотой до 5 этажей следует устанавливать одно ВРУ.

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

На вводах, как правило, после аппаратов управления устанавливаются предохранители с токоограничивающим действием с целью ограничения токов КЗ.

При определенных условиях, особенно в крупных многоэтажных зданиях, экономически целесообразна установка не одного, а нескольких ВРУ. Их расположение наряду с архитектурно-планировочными и другими факторами определяется технико-экономическими расчетами. Оптимальное число ВРУ может быть принято по табл. 7.1. Как показывают исследования, ВРУ целеобразно размещать в секциях дома, ближайших к трансформаторной подстанции.

Следует иметь в виду, что максимальная нагрузка на каждом вводе в здание, как правило, не должна превышать

400 А, а в исключительных случаях 600 А во избежание необходимости прокладки пучка параллельных кабелей и установки на вводах громоздких аппаратов.

**Распределительная часть ВРУ.** К распределительной части ВРУ присоединяются питающие линии квартир, силовых потребителей, питающие и групповые линии рабочего, эвакуационного и аварийного освещения общедомовых помещений[1], противопожарных устройств, огней светового ограждения, элементов диспетчеризации, кодовых замков и переговорных устройств, освещения и силовых потребителей, встроенных и пристроенных общественных помещений.

На каждой отходящей от ВРУ линии устанавливаются аппараты защиты (автоматические выключатели или предохранители). Аппарат управления может быть один на несколько линий одного назначения.

**Измерения и учет.** Для учета электроэнергии, расходуемой общедомовыми потребителями, устанавливаются трехфазные счетчики прямого включения или с трансформаторами тока. Счетчики устанавливаются на ответвлениях и присоединяются к соответствующим секциям шин. Приборы для контроля токовых нагрузок, как правило, в жилых зданиях стационарно не устанавливаются. Однако в крупных зданиях, особенно оборудованных электроплитами, установку амперметров и вольтметров на каждом вводе следует считать целесообразной.

**Подавление помех радиоприему.** Для этой цели непосредственно на вводах устанавливаются помехозащитные конденсаторы типа КЗ-0,5 емкостью 0,5 мкФ на каждую фазу. Конденсаторы снабжены встроенными предохранителями, соединяются в звезду и заземляются.

## 7.4. Схемы питающих линий внутри зданий

Выбор количества питающих линий, отходящих от ВРУ, и числа стояков, присоединяемых к одной питающей линии, в многоэтажных зданиях является многовариантной задачей. При ее решении следует учитывать такие факторы, как расстояние до ТП, электрические нагрузки, количество и

[1] ПУЭ разрешается присоединять к одной фазе групповых линий лестничного освещения, освещения холлов, технических подполий, чердаков до 60 ламп люминесцентных или накаливания мощностью до 65 Вт.

сечение линий, ограничения по допустимому нагреву и отклонениям напряжения, конструктивное выполнение сетей и т. д. Оптимальным является вариант, при котором получаются наименьшие расчетные затраты.

Исследования, проведенные МНИИТЭП по специально разработанной методике с учетом ежегодного роста нагрузок (см. гл. 16), и расчеты, выполненные на ЭВМ, позволили определить оптимальные варианты построения схем электрических сетей для жилых зданий различной этажности.

Оптимальное количество ВРУ и число отходящих линий для питания квартир (горизонтальные участки) приведены в табл. 7.1.

При числе квартир на этаже в секции дома не более четырех в зданиях до 16 этажей включительно экономически целесообразно прокладывать один стояк.

Число стояков, подключаемых к одной питающей линии, ПУЭ не ограничвается. Однако для удобства выполнения ремонтных работ в домах высотой более 5 этажей при двух и более стояках, присоединенных к одной питающей линии, стояки должны иметь отключающие аппараты. При подключении к одному стояку более 70—80 квартир, несмотря на экономичность одного стояка, из условий повышения надежности рекомендуется прокладывать два стояка с подключением квартир через этаж, или по две квартиры на стояк на каждом этаже, или больше половины (примерно 60—70 %) квартир начиная с 1-го этажа к одному стояку и оставшуюся часть ко второму.

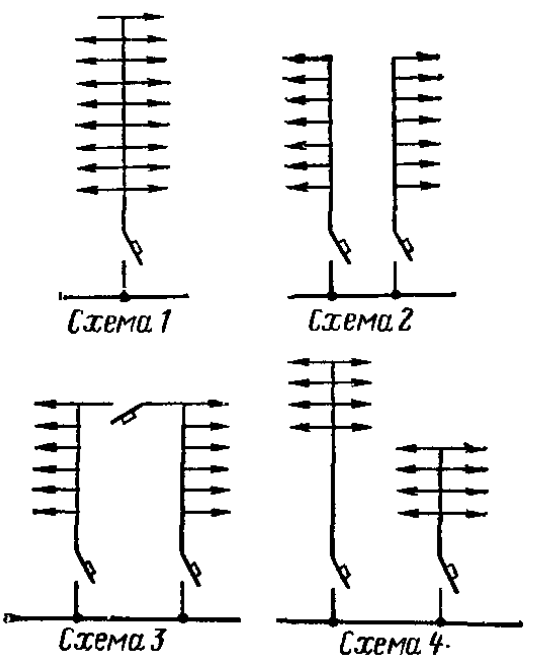



Рис. 7.7. Схемы стояков:

Рекомендуемые по экономическим соображениям схемы стояков приведены в табл. 7.2 и на рис. 7.7.

Кроме питающих линий квартир, о которых говорилось выше, к внутридомовым питающим линиям относятся линии, питающие электродвигатели и прочее элктрооборудование лифтов, различных насосов, вентиляторов и других электроприемников систем дымозащиты.

Таблица 7.2. **Схемы вертикальных участков (стояков) в секциях жилых зданий**

| Количество этажей | Номера схем стояков (рис. 7. 7) при количестве секций в доме | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2—4 | 5—10 |
| **Газифицированные здания** | | | |
| 5—9 | 1 | 1 | 1 |
| **Здания с электроплитами** | | | |
| 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) |

Примечания: 1. Номера схем стояков, указанные в скобках, соответствуют вариантам сети, практически равноэкономичным по приведенным затратам, но с несколько большим расходом проводникового материала (на 3—5 %). Однако в зданиях высотой 16 этажей и более схемам, указанным в скобках, следует отдавать предпочтение ввиду их большей надежности.

2. Количество квартир в каждой секции и на каждом этаже принято следующее: односекционные здания — 5—8, двух — десятисекционные здания — 3—4.

**Питающие линии лифтов** должны прокладываться непосредственно от ВРУ, причем к одной линии можно подключать не более четырех лифтов, установленных в разных секциях. При наличии в каждой секции двух лифтов их присоединяют к разным питающим линиям, но при этом число лифтов, присоединяемых к каждой питающей линии, не ограничивается.

**Рабочее эвакуационное и аварийное освещение** лестничных клеток и коридоров, как правило, автоматизируется, и управление осуществляется с ВРУ или объединенного диспетчерского пункта (ОДС). Поэтому групповые линии этих видов освещения целесообразно присоединять непосредственно к ВРУ, где сосредоточена вся аппаратура защиты и управления. К ВРУ также присоединяются групповые линии штепсельных розеток для подключения уборочных механизмов.

Встроенные в жилые дома предприятия и учреждения получают питание либо от ТП, либо через ВРУ дома. Проектирование электрооборудования этих предприятий и учреждений осуществляется, как и для отдельных зданий аналогичного назначения (см. гл. 8).

## 7.5. Схемы групповой квартирной сети

Групповая квартирная сеть является завершающим звеном электрической сети жилого дома. Она предназначена для питания осветительных и бытовых электроприемников. Количество групповых линий и их пропускная способность определяются по табл. 3.4, которая составлена с учетом электрических нагрузок, наличия стационарных и переносных электроприемников и удобства эксплуатации.

По соображениям безопасности групповые линии целесообразно выполнять однофазными. В перспективе при значительном росте нагрузок возможно устройство трехфазных четырехпроводных вводов в квартиры, но при этом необходимы дополнительные меры по обеспечению электробезопасности, такие как более надежная изоляция проводников и приборов, а также устройство автоматического защитного отключения. Однако и при трехфазных вводах целесообразно групповые линии общего освещения и штепсельной сети внутри квартир выполнять однофазными, а для питания электрических плит, электроводонагревателей и т. п.— трехфазными. Как правило, рекомендуется выделять общее освещение на отдельную групповую линию.

В целях экономии проводов нормы допускают смешанное питание общего освещения и штепсельных розеток. Однако такая схема менее надежна, и, по мнению авторов, ее применять нецелесообразно. В квартирах с числом комнат более трех допускается устройство дополнительной групповой линии для питания штепсельных розеток на ток до 16 А.

Число штепсельных розеток, устанавливаемых в квартирах, регламентировано нормами и составляет:

в жилых комнатах квартир и общежитий — одна розетка на каждые полные и неполные 6 м$^2$ площади комнаты;

в коридорах квартир — одна розетка на каждые полные и неполные 10 м$^2$ площади. В общей комнате квартир, оборудованных кондиционерами,— дополнительная розетка на ток 10 А для подключения кондиционера;

в кухнях квартир площадью до 8 м$^2$— три штепсельные розетки на ток 6 А, а 8 м$^2$ и более — четыре для подключения холодильника, бытового прибора, надплитного фильтра, динамика трехпрограммного вещания, местного освещения;

одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 10 А для подключения бытового прибора мощностью до 2,2 кВт;

одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 25 А для подключения бытового прибора мощностью до 4 кВт (в домах с электроплитами мощностью до 5,8 кВт эта же розетка используется для подключения электроплиты);

одна штепсельная розетка с заземляющим контактом на ток 40 А для подключения электроплиты мощностью от

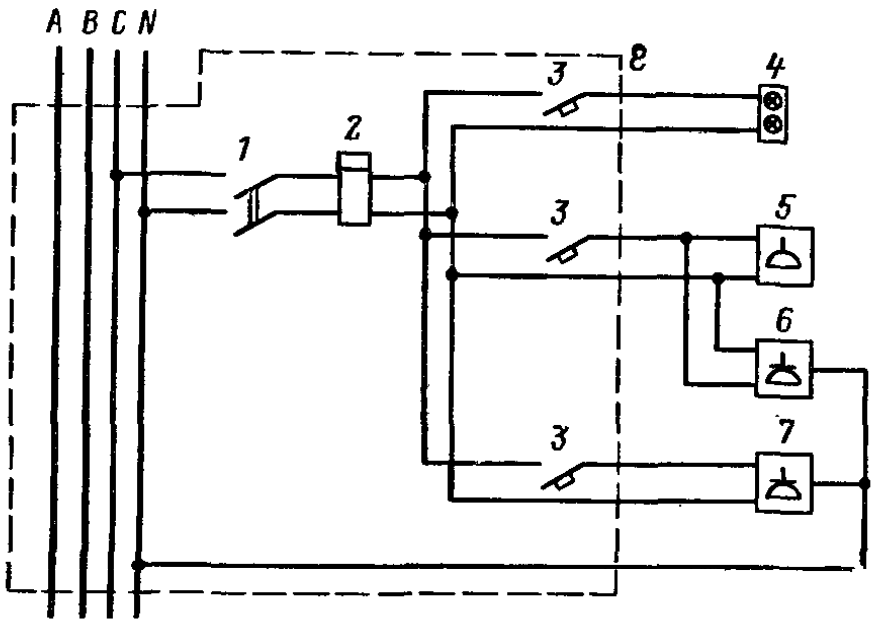



Рис. 7.8. Схема групповой квартирной сети:

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

5,9 до 8 кВт. Следует иметь в виду, что розетки 25 и 40 А не предназначены для отключения электроплит под нагрузкой.

Увеличение числа штепсельных розеток по сравнению с ранее действовавшими нормами имеет целью по возможности избежать применения жильцами различных удлинителей и разветвителей, создающих повышенную опасность поражения электрическим током. В ванных комнатах может устанавливаться штепсельная розетка, подключаемая через разделяющий трансформатор 20 В·А.

На рис. 7.8 приведена схема групповой сети квартиры с электроплитой. Как видно из рисунка, для зануления корпуса стационарной электроплиты и бытовых приборов, требующих зануления, от этажного щитка прокладывается отдельный проводник. Сечение его принимается равным сечению фазного проводника. Ни в нулевом защитном, ни в

нулевых рабочих проводах аппараты защиты не устанавливаются. Для безопасной смены счетчика перед ним устанавливается двухполюсный выключатель.

### 7.6. Типовые комплексные схемы распределения электроэнергии в жилых зданиях

В предыдущих параграфах были рассмотрены отдельные элементы схем электроснабжения и электрооборудования. Рассмотрим одну из типовых комплексных схем распределения электроэнергии в жилом 16-этажном доме (рис. 7.9).

Здание имеет два кабельных взаиморезервируемых ввода *1* и *2* с переключателями *3* и предохранителями *4*. К каждому из вводов (*1* и *2*) подключены соответствующие секции шин ВРУ (*I* и *II*). От секции *I* отходят питающие линии квартир *5*, а также через отдельный автоматический выключатель *6* и счетчик *7*, включаемый через трансформаторы тока *8*, питается сборка ВРУ общедомовых помещений. От последней отходят групповые линии рабочего освещения холлов, лестниц и коридоров *9*, освещения технического подполья, чердака, машинных помещений и шахт лифтов и питающая линия к щитку иллюминации *10*.

От секции *II* ВРУ отходят питающие линии лифтов *11*, групповые линии эвакуационного и аварийного освещения *12*, штепсельных розеток для подключения уборочных машин *13*. Потребление электрической энергии электроприемниками секции *II* ВРУ учитывается трехфазным счетчиком *14*, который подключен через трансформаторы тока *15*. К питающим линиям квартир с автоматическими выключателями *16* присоединяются стояки секций.

На вводах устанавливаются помехозащитные конденсаторы *17* емкостью 0,5 мкФ. Освещение лестниц и коридоров автоматизировано, и все элементы автоматики установлены на ВРУ. Автоматика обеспечивает управление освещением в функции естественной освещенности с помощью фотовыключателя *18* и программного реле времени *19*, отключающего часть освещения в ночные часы. Кроме того, имеется возможность централизованного управления освещением с диспетчерского пункта. При выходе из строя автоматики возможно ручное управление.

Устройства дымозащиты подключаются к специальной панели ВРУ *III* с устройством АВР, которая присоединяется к обоим вводам до переключателей (вводы *1n* и *2n*). Благодаря такому присоединению эти устройства остаются в рабочем состоянии даже при полном обесточивании

дома. Для учета расхода электроэнергии устанавливается счетчик *20*. На каждой из линий, питающих секцию *III* ВРУ, установлены автоматические выключатели *21*.

От секции *III* ВРУ отходят линии, питающие вентиляторы системы дымозащиты и щитки управления, а также часть линий эвакуационного освещения *22*, расположенного на путях эвакуации при пожаре. Такое подключение эвакуационного освещения в 16-этажных домах нормами не

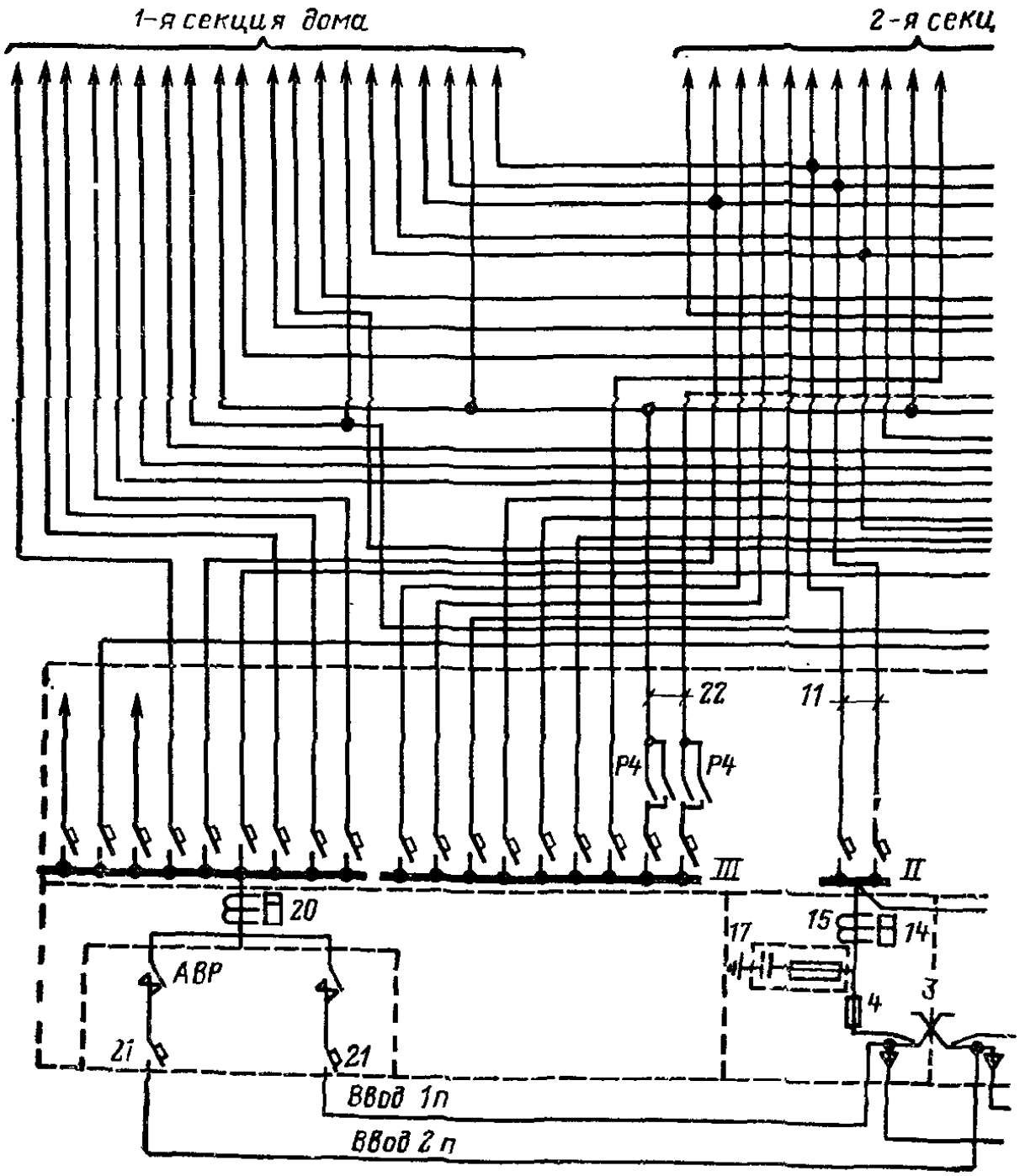
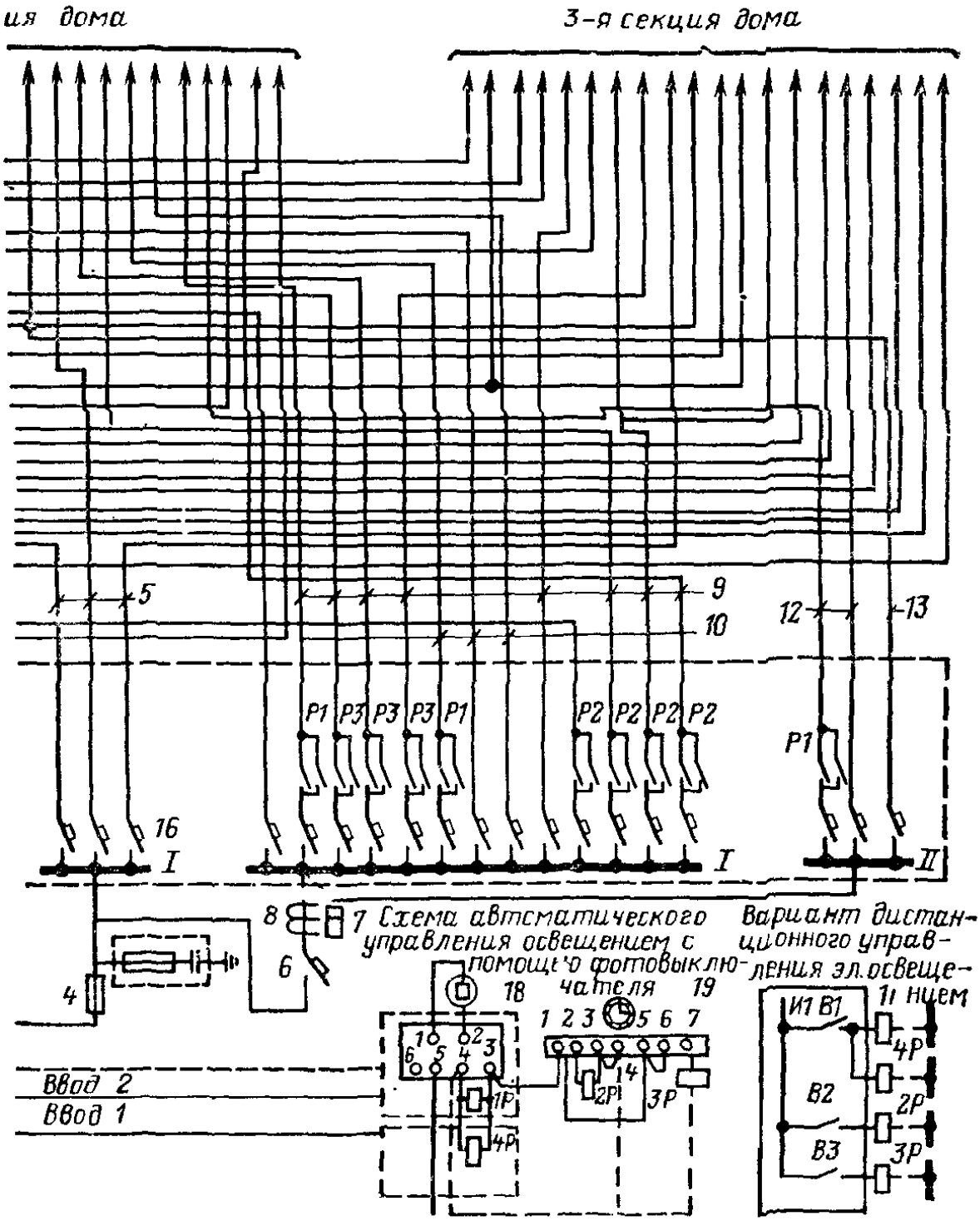



Рис. 7.9. Схема электрооборудования

предусмотрено, однако целесообразно в целях повышения безопасности людей, причем для этого дополнительных затрат не требуется.

На рис. 7.10 показана схема стояков одной секции дома, т. е. вертикальных участков питающих и групповых линий. К стояку *1* подключены этажные щитки квартир *2*. Щитки установлены в железобетонном электроблоке на лестничной клетке. На щитках установлены трехполюсные па-




16-этажного жилого дома

кетные выключатели *3* (один на все квартиры)[1] с подключением к двум фазным и нулевому проводам стояка. На щитке установлены однофазные счетчики *4* и аппараты защиты групповых линий квартир. Цифрами *5* обозначены

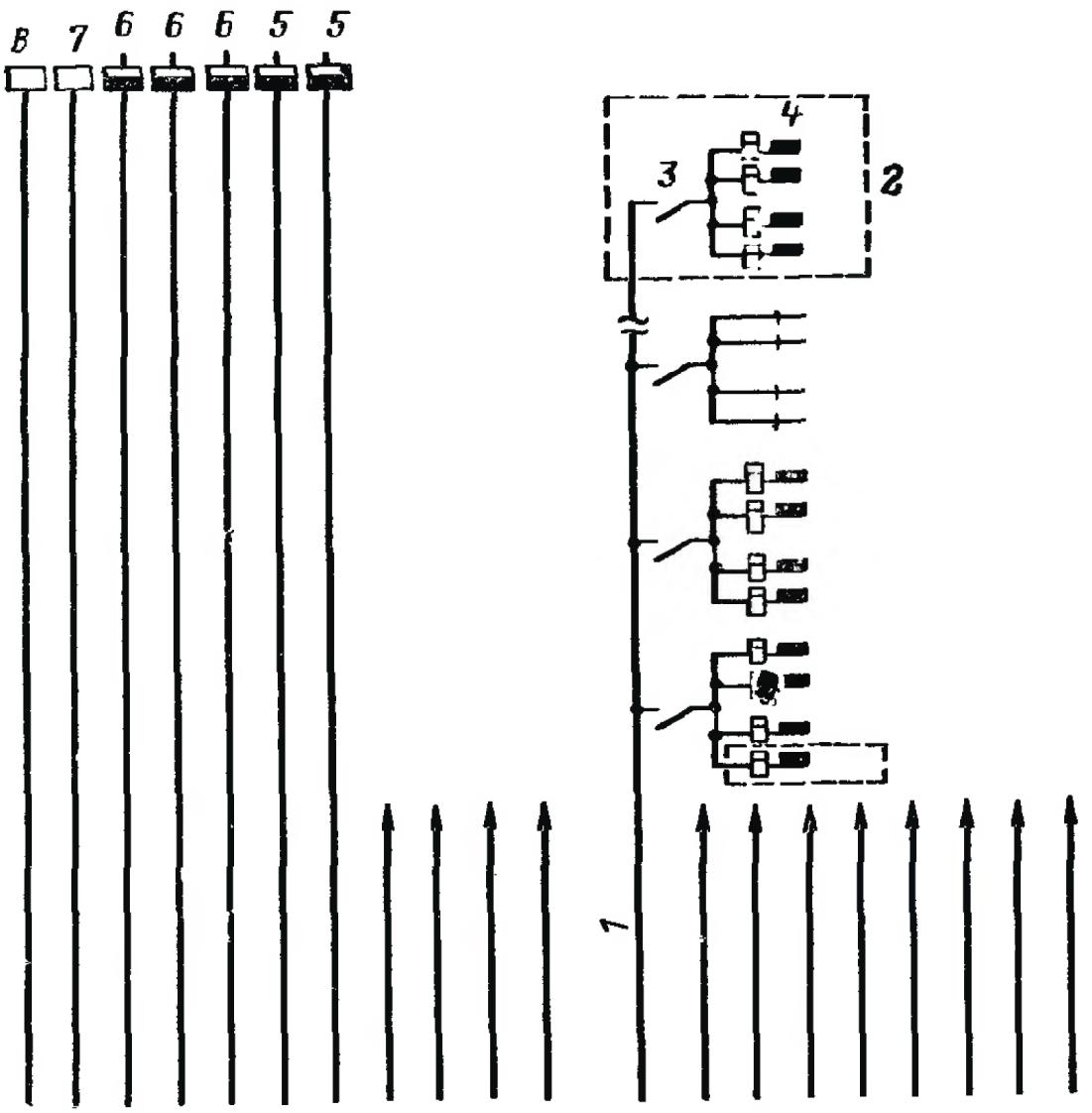



Рис. 7.10. Схема стояков одной секции 16-этажного жилого дома

лифты, *6*— вентиляторы дымозащиты, *7*— щиток автоматики, *8*— щиток иллюминации.

В домах 17 этажей и выше в отличие от рассмотренной схемы лифты и все эвакуационное и аварийное освещение, а также огни светового ограждения присоединяются к секции *III* ВРУ, поскольку эти электроприемники относятся к

[1] Установка одного выключателя на группу квартир данного этажа допускается, однако это несколько увеличивает неравномерность нагрузки по фазам. Более целесообразна установка двухполюсного выключателя перед счетчиком на каждую квартиру.

первой категории по надежности электроснабжения. Однако панели секции ВРУ, к которым присоединены противопожарные устройства, должны быть обособлены и иметь отличительную красную окраску.

## Глава восьмая

# СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

## 8.1. Электроснабжение

Построение схем электроснабжения и электрооборудования общественных зданий имеет ряд отличительных особенностей по сравнению с рассмотренными выше схемами жилых зданий. Эти особенности определяются значительным удельным весом силовых электроприемников технологического и санитарно-технического оборудования, режимами его работы, специфическими требованиями к освещению некоторых помещений, а также возможностью встраивания трансформаторных подстанций в некоторые из этих зданий.

Необходимо подчеркнуть, что наряду с отличиями схемы электросетей общественных зданий должны отвечать общим требованиям, наиболее важные из которых изложены в гл. 6. Ввиду большого многообразия общественных зданий в данной главе будут рассмотрены характерные особенности построения схем электросетей некоторых распространенных общественных зданий массового строительства.

Установленные и потребляемые мощности электроустановок общественных зданий достигают сотен и даже тысяч киловольт-ампер. Экономическими расчетами установлено, что при потребляемой мощности более 400 кВ·А целесообразно применять встроенные подстанции, в том числе комплектные (КТП). При этом обеспечивается экономия цветных металлов, исключается прокладка внешних кабельных линий до 1000 В, нет необходимости в устройстве отдельных ВРУ в здании, поскольку имеется возможность его совмещения с РУ 0,4 кВ подстанции, и т. д. (В этом случае РУ называют абонентским, и оно обслуживается персоналом абонента.)

Однако действующие нормы и правила не разрешают встраивать подстанции в здания школ, учебные и спальные корпуса профтехучилищ и средних специальных учебных заведений, дошкольные детские учреждения, лечебные кор-

пуса больниц, санаториев, интернатов для престарелых, жилые зоны гостиниц и т. п. Для электроснабжения этих зданий следует сооружать отдельно стоящие подстанции или питать их от подстанций, встроенных в другие здания сооружаемого комплекса.

Встроенные трансформаторные подстанции следует размещать, как правило, в центре нагрузок, но таким образом, чтобы была обеспечена звукоизоляция рабочих помещений от шума трансформаторов. Подстанции обычно располагают на первых или технических этажах. Допускается располагать подстанции с трансформаторами сухими и с негорючим наполнением в подвалах, дебаркадерах и подземном пространстве при условии:

а) исключения возможности затопления подстанции грунтовыми и паводковыми водами, а также при аварии систем водопровода, канализации и водяного отопления;

б) обеспечения подъема трансформаторов на поверхность земли с помощью передвижных или стационарных механизмов;

в) устройства дороги для подъездов автомашин к месту расположения подстанции или к месту подъема трансформаторов.

Трансформаторы сухие и с негорючим наполнением могут устанавливаться и на средних и верхних этажах зданий, если предусмотрены грузовые лифты для их транспортировки. В помещения трансформаторной подстанции должен быть обеспечен круглосуточный доступ эксплуатационного персонала. На встроенных подстанциях допускается установка как сухих, так и масляных трансформаторов, однако количество масляных трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А каждый должно быть не более двух. Число и мощность сухих и с негорючим наполнением трансформаторов не ограничивается.

В одном общем помещении с РУ разрешается установка двух масляных трансформаторов мощностью до 400 кВ·А, но отделенных один от другого и от остальных помещений несгораемыми перегородками. Не разрешается размещать подстанции (трансформаторные помещения и РУ) под помещениями с мокрыми технологическими процессами (бани, прачечные, химчистки и т. п.), а также под ванными и душевыми, уборными. Исключения допускаются в случаях, когда приняты соответствующие меры по надежной гидроизоляции, предотвращающие попадание влаги в помещения РУ и подстанций.

Подстанции с масляными трансформаторами и РУ 10 кВ не следует размещать под и над помещениями, где одновременно может находиться более 50 чел. в течение 1 ч и более.

Выбор мощности и количества трансформаторов и трансформаторных подстанций определяется уровнями электрических нагрузок и технико-экономическими расчетами. Подстанции, как правило, бывают двухтрансформаторные, но в относительно небольших зданиях второй и третьей категории по надежности электроснабжения возможна установка однотрансформаторных подстанций.

Размеры трансформаторных помещений и помещений РУ, проходы, расстояния до токоведущих частей, конструкции полов, перекрытий, требования к отоплению и вентиляции должны соответствовать нормам, установленным гл. IV ПУЭ. В целях обеспечения надежной работы аппаратов защиты рекомендуется принимать к установке силовые трансформаторы при мощности до 250 кВ·А со схемой соединения обмоток зигзаг — зигзаг, при мощности 400—1000 кВ·А — треугольник — звезда с нулем.

При установке в здании КТП необходимо учитывать дефицитность распределительных шкафов с автоматическими выключателями, поставляемых заводами. Для упрощения и удешевления КТП целесообразно ограничить число линейных автоматических выключателей, устанавливая эти автоматические выключатели на относительно большие токи 200, 400, 600 А и более. Пропускная способность таких автоматичских выключателей зачастую превышает расчетную мощность отходящих питающих линий силовых и осветительных сетей. Чтобы использовать полностью линейные автоматические выключатели КТП, применяют схемы питания с установкой промежуточных распределительных пунктов, состоящих из панелей ЩО-70, щитов ПР-9000, щитов станций управления ЩСУ и других с автоматическими выключателями на токи, близкие к расчетным токам питающих линий. Такие устройства принято называть щитами-размножителями.

## 8.2. Питающие сети

Распределение электроэнергии в общественных зданиях может производиться как по радиальным, так и по магистральным схемам. Радиальная схема применяется для питания электроприемников большой мощности или групп

электроприемников, сосредоточенных на достаточно близком расстоянии друг от друга. Примером таких электроприемников могут служить крупные холодильные машины, электродвигатели тепловых пунктов, насосных, крупные вентиляционные камеры и т. д.

При относительно равномерном размещении электроприемников небольшой мощности по зданию целесообразно применение магистральной схемы. Достоинства и недостатки каждой из этих схем отмечены в гл. 6.

В общественных зданиях рекомендуется, несмотря на питание от общих трансформаторов, питающие линии силовых и осветительных сетей выполнять раздельными, что обеспечивает определенные удобства эксплуатации, более целесообразную трассировку, а также, как правило, уменьшает колебания напряжения на лампах электрического освещения. Так же как и в жилых зданиях, на вводах питающих сетей в здание устанавливаются ВРУ с аппаратами управления, защиты, учета расходуемой электроэнергии, а в крупных зданиях и с измерительными приборами. На вводах потребителей, обособленных в административно-хозяйственном отношении (торговые, коммунальные предприятия, отделения связи и т. д.), должны устанавливаться отдельные аппараты управления независимо от наличия таких же аппаратов на отходящих линиях от общего ВРУ здания. На вводах в распределительные пункты или щитки должны устанавливаться аппараты управления.

Если это целесообразно по условиям эксплуатации, можно устанавливать аппараты, совмещающие функции управления и защиты (например, автоматические выключатели), без соблюдения требований по селективности (см. гл. 10). При числе распределительных пунктов или щитков, присоединенных к одной питающей линии, до пяти включительно аппараты управления на вводах в эти пункты или щитки можно не устанавливать. Исключением являются распределительные пункты, от которых питаются силовые электроприемники горячих цехов предприятий общественного питания, на которых в целях повышения электробезопасности необходимо устанавливать аппараты управления.

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

Счетчики для расчетов за расходуемую электроэнергию должны устанавливаться раздельно для каждого абонента.

Нормы допускают одного из абонентов (чаще всего наиболее энергоемкого) считать главным абонентом и питание остальных потребителей осуществлять от ВРУ главного абонента с общим учетом. При этом у отдельных потребителей устанавливают контрольные счетчики и они ведут расчеты за электроэнергию с главным абонентом.

Светильники эвакуационного и аварийного освещения должны присоединяться к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита трансформаторной подстанции или от ВРУ.

При наличии двухтрансформаторной подстанции рабочее и эвакуационное и аварийное освещение следует присоединять к разным трансформаторам. Если в здание встроены две или более подстанций, целесообразно питание эвакуационного и аварийного освещения ответственных помещений присоединять к разным подстанциям. Такое присоединение называется перекрестным. Линии, питающие холодильные установки на предприятиях торговли и общественного питания, должны быть отдельными, с тем чтобы отключение других электроприемников не приводило к отключению холодильного оборудования.

## 8.3. Силовые распределительные сети

Силовые распределительные пункты должны располагаться в центре нагрузок или с некоторым смещением в сторону питания, как правило, на тех же этажах, где расположены электроприемники. Силовые электроприемники, присоединяемые к распределительным пунктам, группируются с учетом их технологического назначения. В целях экономии проводов и кабелей и уменьшения количества аппаратов защиты на распределительных пунктах электроприемники небольшой мощности объединяются в «цепочки» (см. рис. 6.4). При этом в «цепочку» можно соединять;

а) на предприятиях общественного питания и торговли — не более четырех электроприемников мощностью до 3 кВт;

б) в учебно-производственных мастерских учебных заведений — до пяти силовых электроприемников станочного оборудования;

в) в лабораториях учебных заведений — не более трех лабораторных щитков;

г) в магазинах число кассовых аппаратов, швейных машин в кабинетах домоводства, в пошивочных цехах ателье

и комбинатов бытового обслуживания населения, машин по ремонту и отделке обуви — не ограниченно.

Электроприемники, соединяемые в «цепочку», должны быть равными или близкими по установленной мощности.

Аппараты управления, например магнитные пускатели, контакторы, кнопочные посты, в зависимости от местных условий устанавливаются:

а) рассредоточенно или группами вблизи управляемых механизмов;

б) в шкафах станций управления;

в) в изолированных электротехнических помещениях, нишах строительных конструкций, шкафах и т. п. при условии соблюдения требований техники безопасности (гл. V ПУЭ).

Присоединение электроприемников холодильного, механического и технологического оборудования предприятий торговли и общественного питания выполняется по схемам, приведенным в [22]. Специфика схем, в которых предусмотрены в некоторых ограниченных случаях дополнительаппараты, обусловлена отсутствием
х квалифицированного обслуживаю-

## 8.4. Групповые осветительные сети

Групповые распределительные щитки осветительной сети целесообразно, как и в силовых сетях, размещать в центре нагрузок со смещением по возможности в сторону источника питания. Однако по условиям архитектурно-планировочных решений и интерьера помещений от этой рекомендации приходится отступать, располагая щитки на лестничных клетках, в коридорах в специальных шкафах-нишах, предусматриваемых в архитектурно-строительной части проекта.

Отходящие от щитков групповые линии могут быть однофазными (фаза плюс нуль), двухфазными (две фазы плюс нуль) и трехфазными четырехпроводными (три фазы плюс нуль). Аппараты защиты в нулевых проводах устанавливать не разрешается, за исключением взрывоопасных помещений класса В-I, где в целях повышения взрывобезопасности аппараты защиты устанавливаются не только в фазных, но и в нулевых проводах, а для зануления прокладывается отдельный защитный проводник.

Рекомендации для выбора той или иной схемы групповой линии не могут быть однозначными, так как в значительной степени зависят от протяженности, количества светильников, их расположения, удобства управления и эксплуатации, а также обеспечения нормируемых уровней коэффициента пульсации при люминесцентном освещении в помещениях с напряженной зрительной работой. Надо помнить, что предпочтение следует отдавать трехфазным четырехпроводным групповым линиям, обеспечивающим втрое большую нагрузку и в 6 раз меньшую потерю напряжения по сравнению с однофазными групповыми линиями, но при вдвое большей протяженности проводов. В небольших помещениях, где нет особых требований к качеству освещения и установлено небольшое количество светильников, применяются однофазные групповые линии. В помещениях коридорного типа с большим числом мелких помещений по коридору прокладывается четырехпроводная групповая линия, а ответвления в комнаты выполняются двухпроводными.

Ниже приводятся некоторые указания норм по устройству групповых сетей электрического освещения:

а) питание штепсельных розеток местного освещения следует, как правило, выделять в отдельные групповые линии, если это не связано с существенным увеличением протяженности сети;

б) к групповым линиям освещения лестниц, этажных коридоров, холлов, технических подполий, подвалов и чердаков, как и в жилых зданиях, допускается присоединять до 60 люминесцентных ламп или ламп накаливания мощностью до 65 Вт включительно на фазу. Для линий, питающих многоламповые люстры, число ламп на фазу не ограничивается;

в) при прокладке по общим трассам рекомендуется объединение нулевых проводов линий одного вида освещения (преимущественно для линий, принадлежащих к разным фазам сети). Объединение нулевых проводов линий рабочего и эвакуационного и аварийного освещения не разрешается;

г) общие для нескольких линий нулевые провода при проводке в трубах должны прокладываться совместно с фазными проводами;

д) выключатели должны устанавливаться только на фазных проводах, за исключением случаев, предусмотренных гл. VII-3 ПУЭ для взрывоопасных помещений класса

В-I. При питании многоламповых светильников четырех- или трехпроводными линиями следует предусматривать одновременное отключение всех фазных проводов;

е) распределение нагрузок между фазами сети освещения должно быть по возможности равномерным, разница в токах наиболее и наименее нагруженной фазы не должна превышать 30 % в пределах одного щитка и 10 % в начале питающих линий;

ж) в трехфазных протяженных группах рекомендуется присоединять отдельные светильники к фазам сети в следующем порядке: *A*, *B*, *C*, *A*, *B*, *C* в случаях, когда при отключении одной или двух фаз необходимо сохранить уменьшенную освещенность по всей площади помещения, например торгового зала, конференцзала и т. п., и *A*, *B*, *C*, *C*, *B*, *A*, если такого требования нет;

з) управление общим освещением рекомендуется осуществлять следующим образом:

в помещениях с боковым естественным освещением предусматривать отключение светильников рядами, параллельными окнам;

на одно отключение объединять только светильники, требующие одновременного действия по условиям технологического процесса, например прилавки в магазинах, проходы в книгохранилищах или складах и т. п.;

в крупных помещениях, таких как торговые и обеденные залы, конференц-залы, вестибюли гостиниц, помещения приема заказов домов быта, а также в различных коридорах и проходах предусматривать возможность включения небольшой части светильников, создающих по всей площади освещенность, достаточную для уборки помещения. Для этой же цели могут быть использованы светильники эвакуационного и аварийного освещения;

и) управление эвакуационным и аварийным освещением должно предусматриваться со щитков при минимальном числе последних. Помещения с достаточным естественным освещением и без него должны питаться отдельными группами. Допускается применение для обоих видов помещений общих групп с установкой дополнительных выключателей для помещений, имеющих естественное освещение. Дополнительные выключатели следует предусматривать также для аварийного и эвакуационного освещения отдельных непроходных помещений, в которых люди не находятся постоянно (гардеробы, конференц-залы и т. п.);

к) светильники у входов в здания следует присоединять

к групповой сети внутреннего освещения, преимущественно к сети аварийного освещения;

л) светильники и штепсельные розетки местного и переносного освещения при напряжении 12—42 В следует питать от понижающих трансформаторов, присоединяемых к сети рабочего или эвакуационного освещения (в последнем случае только отдельными группами). Применение автотрансформаторов не допускается.

## 8.5. Примеры комплексных схем распределения электроэнергии в общественных зданиях

На рис. 8.1 представлена упрощенная схема питания здания, электроприемники которого относятся к третьей категории по надежности электроснабжения. Здание присоединяется к однотрансформаторной подстанции, от щита (сборк' ) 0,4 кВт 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*.

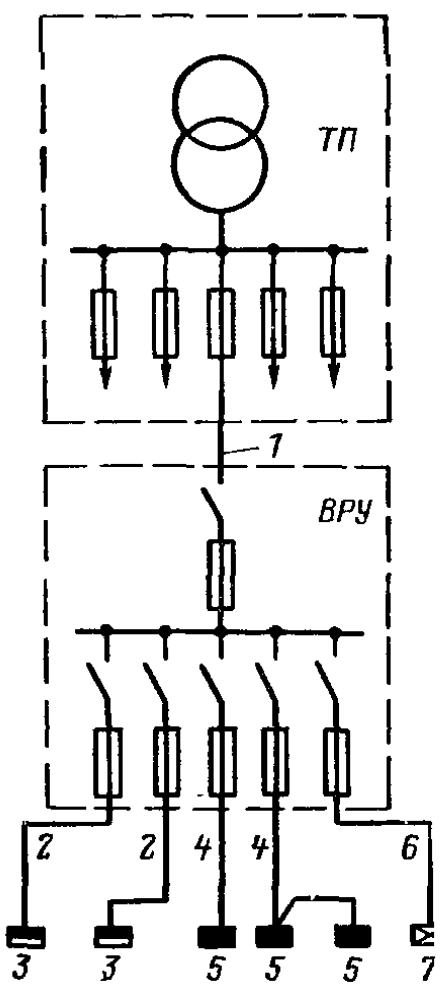



Рис. 8.1. Схема питания общественного здания от однотрансформаторной подстанции

Для питания ответственных потребителей в крупных городах широко применяются двухтрансформаторные подстанции с устройством АВР на контакторных станциях на стороне низшего напряжения. Упрощенная схема такой подстанции приведена на рис. 8.2, где *1* — контакторные станции, *2*, *3* — отходящие линии к вводам в здания, в которых устанавливаются ВРУ, схемы которых подобны приведенным в гл. 7.

При размещении подстанции в здании с электроприемниками первой категории применяется устройство АВР на абонентском щите с установочными автоматическими выключателями. Упрощенная схема приведена на рис. 8.3, где автоматические выключатели *1*, установлены на линиях от трансформаторов; *2* — секционный выключатель, включающийся автоматически при отключении одного из автоматических вы-

ключателей *1*. Линии *3* отходят к распределительным пунктам силовой сети и щиткам эвакуационного и аварийного освещения, линии *4* — к групповым щиткам рабочего освещения.

Пример построения типичной схемы электрооборудования магазина приведен на рис. 8.4. От отдельно стоящей подстанции проложены две взаимно резервируемые кабельные питающие линии *1* и *2*. Кабели рассчитаны на нагрузку в нормальном и аварийном режимах (при вы-

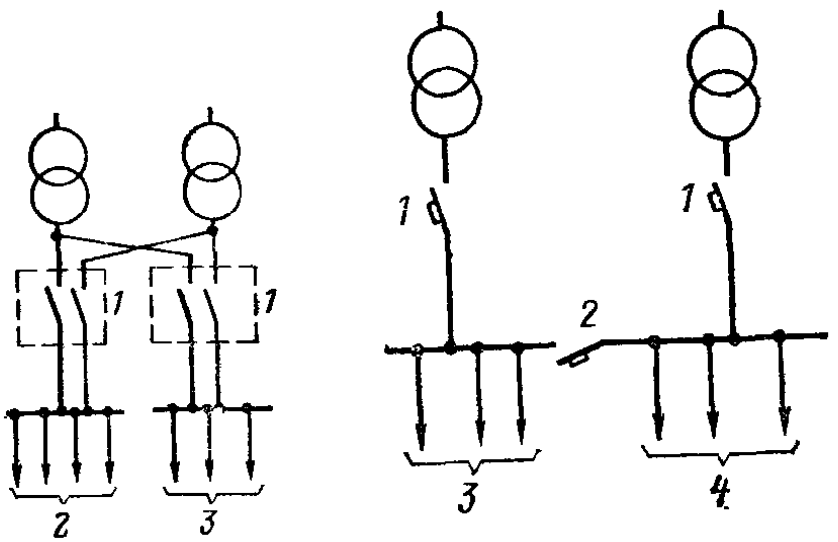



Рис. 8.2. Схема питания от двухтрансформаторной подстанции с

Рис. 8.3. Схема питания общественного здания с встроенной ТП и абонентским щитом с АВР на автоматических выключателях

ходе из строя одного из кабелей вся нагрузка переключается с помощью переключателей *3* и *4* на кабель, оставшийся в работе). После переключателей установлены комплекты аппаратов защиты *5* и *6* (чаще всего токоограничивающие предохранители). Учет расхода активной электроэнергии осуществляется счетчиками *7* и *8*, включенными через трансформаторы тока.

Питающие линии и часть групповых линий рабочего освещения отходят от панелей *ВРУ*, подключенных к вводу *1*. От групповых щитков освещения *9* отходят групповые линии непосредственно к светильникам. От второго ввода отходят питающие линии к силовым распределительным пунктам *10* и шкафам станций управления (ШУ), в которых установлены аппараты защиты и управления. От распределительных пунктов и ШУ отходят линии силовой распределительной сети к электроприемникам. К этому же вводу подключено эвакуационное и аварийное освещение. Все питающие линии имеют аппараты защиты *11* (автоматические выключатели), служащие для защиты линий от КЗ и перегрузок.

Пример подключения силовых электроприемников к распределительному пункту дан на рис. 8.5 и особых разъяснений не требует. На рассмотренных схемах наносятся все необходимые параметры электрических сетей, определяемые расчетом при проектировании. Эти схемы называют однолинейными расчетными схемами.

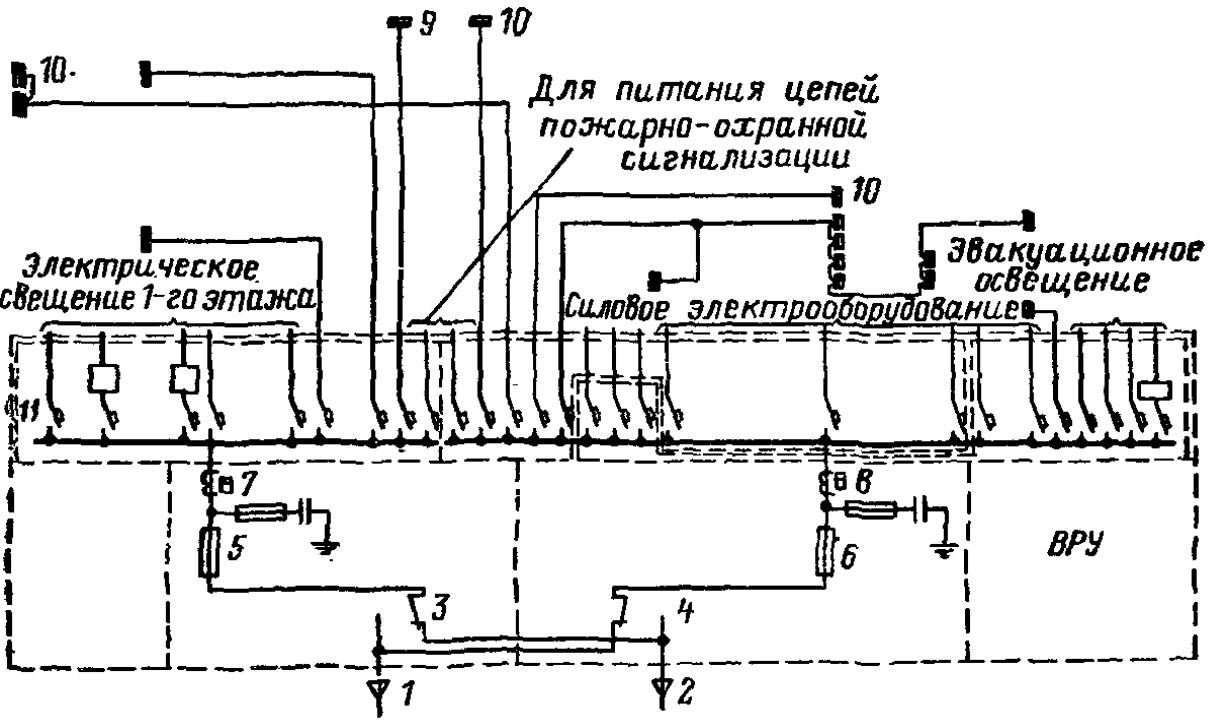



Рис. 8.4. Упрощенная схема электрооборудования магазина

Остановимся в заключение данной главы на вопросах компенсации реактивной мощности в общественных зданиях. Действовавшими до последнего времени нормами (ВСН 19—74) предусматривалось устройство компенсации реактивной мощности при расчетной активной мощности свыше 250 кВт. Однако исследования, проведенные МНИИТЭП, показали, что установка устройств компенсации в общественных зданиях, как правило, экономически не оправдывается по следующим основным соображениям:

а) значения естественного коэффициента мощности на вводах в здания достаточно высокие: 0,85—0,95 и даже выше;

б) переменный характер графиков нагрузок диктует необходимость применения регулируемых конденсаторных батарей, весьма дефицитных. При установке нерегулируемых батарей в сети будут иметь место перекомпенсация и излишние потери энергии в ночные часы;

в) стоимость потерь энергии в конденсаторах не перекрывается экономией от повышения коэффициента мощности.

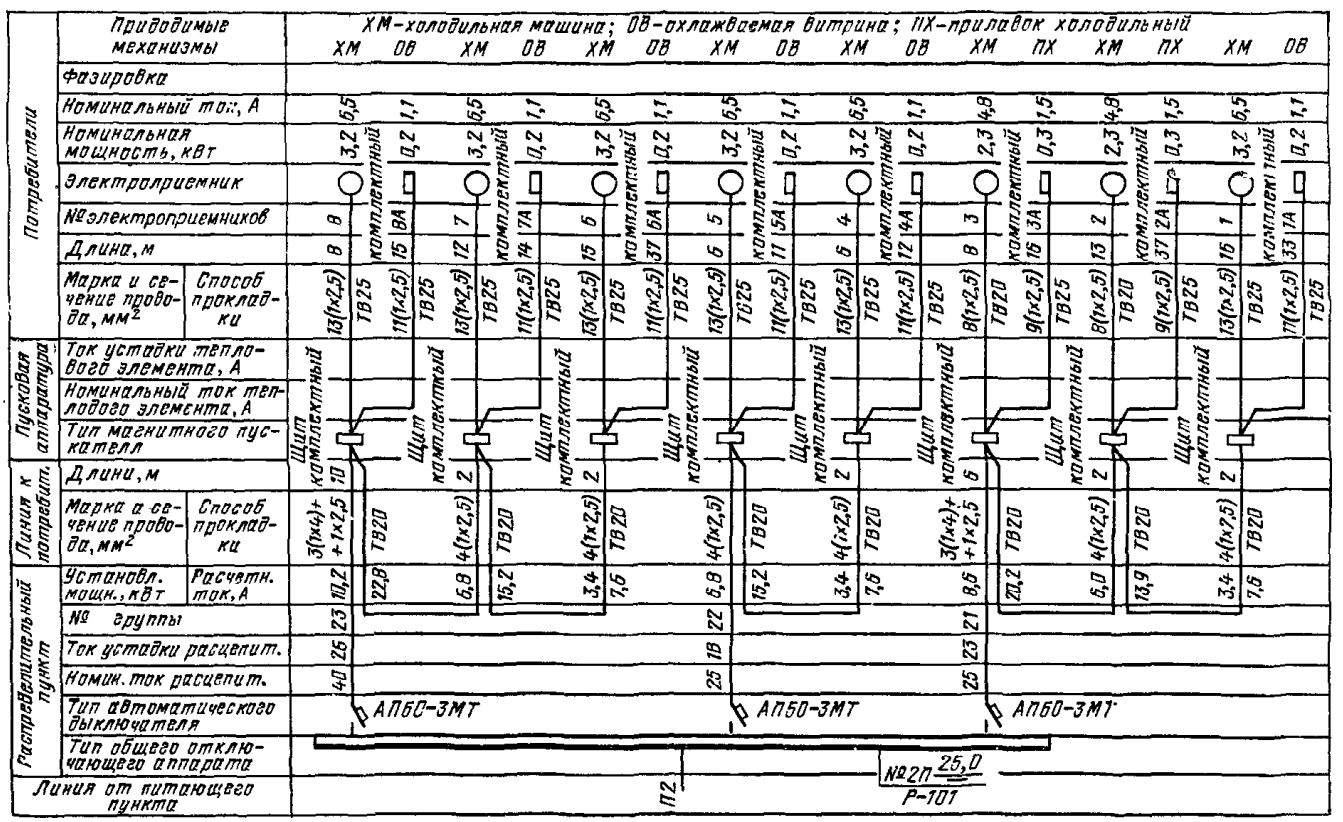



Рис. 8.5. Схема подключеиия силовых электропрнемников к распределительному пункту:
ТВ20, ТВ25 — труба внипластовая, указано число проводов для питання и управления, прокладываемых в общей трубе

На основании изложенного и некоторых других соображений Госэнергонадзор СССР изменил п. 3.7 ВСН 19—74 и установил, что «... компенсация реактивной мощности потребителей общественных зданий промышленного и приравненного к ним назначения должна предусматриваться в соответствии с требованиями «Правил пользования электрической энергией» и директивной части «Указаний по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях».

В общественных зданиях, потребители которых не относятся к вышеуказанной категории, установка устройств компенсации не требуется.

При необходимости отнесения потребителей общественных зданий к группе промышленных и приравненных к ним или к другим группам потребителей следует руководствоваться рекомендациями «Правил пользования электрической энергией» и Прейскурантом № 09-01 «Тарифы на электрическую энергию, отпускаемую энергосистемами и электростанциями Минэнерго СССР».

К зданиям промышленного назначения, в частности, относятся фабрики химчистки и прачечные.

# Раздел четвертый
# РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

## Глава девятая
## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ

### 9.1. Задачи расчета электрической сети

Расчет электрической сети зданий должен производиться с учетом следующих основных положений:

1. Провода не должны перегреваться при прохождении расчетного тока нагрузки сверх допустимого значения.

2. Отклонения напряжения на зажимах электроприемников должны находиться в допустимых пределах по ГОСТ 13109—67* «Нормы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего назначения» с изменениями 1979 г.

3. Снижения напряжения, вызванные кратковременными изменениями нагрузки, например включением короткозамкнутых асинхронных электродвигателей, не должны

превышать значений, установленных вышеуказанным ГОСТ, и вызывать нарушения работы действующих электроприемников.

4. Механическая прочность проводов должна быть не ниже допустимой для данного вида электропроводки.

5. При выборе схемы и расчетах питающих сетей целесообразно учитывать экономические факторы, характеризующиеся наименьшими приведенными затратами.

6. Распределение допустимых потерь напряжения по участкам внутренней сети целесообразно производить из условия наименьших затрат проводниковых материалов с учетом п. 5.

7. Аппараты защиты должны обеспечивать защиту всех участков сети от КЗ, а в некоторых случаях, предусмотренных ПУЭ, и от перегрузки. Кроме того, эти аппараты не должны срабатывать при кратковременных повышениях токов нагрузки, возможных при нормальных режимах работы сети, например при включении короткозамкнутых электродвигателей, электромагнитов клапанов противопожарных устройств и т. д. Аппараты защиты должны по возможности работать избирательно, т. е. обеспечивать селективное отключение поврежденного участка. Исходными данными для расчета сети являются электрические нагрузки, определение которых подробно рассмотрено в гл. 3, 4.

## 9.2. Нагревание проводников

При прохождении тока по проводнику выделяется тепло, Дж, количество которого определяется уравнением

$$Q = I^2Rt, \qquad (9.1)$$

где $I$ — ток, А; $R$ — активное сопротивление проводника, Ом; $t$ — время, с.

Часть энергии, передаваемой по проводнику, переходит в тепло, расходуемое вначале на нагрев проводника до определенной температуры, а затем на поддержание установившегося режима, т. е. теплового равновесия. При установившемся режиме температура проводника при неизменных токе и тепловом состоянии окружающей среды остается постоянной, а количество тепла, которое получает проводник в единицу времени, становится равным количеству тепла, отдаваемому в тот же промежуток времени в окружающую среду. Температура, при которой наступает теп-

ловое равновесие, называется *установившейся.* Чем больше ток, тем выше установившаяся температура.

В тепловых расчетах удобно пользоваться температурой перегрева (а не абсолютной температурой проводника), которая представляет собой разность температур проводника и окружающей среды, °С

$$\tau = \theta_{пр} - \theta_{о,с}. \qquad (9.2)$$

Чрезмерный перегрев проводников вызывает ускоренное старение изоляции и создает угрозу пожара. Кроме того, ухудшаются контактные соединения за счет их интенсивного окисления. Для проводов с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, шнуров с резиновой изоляцией и кабелей в свинцовой или поливинилхлоридной оболочке с резиновой изоляцией ПУЭ установлена наибольшая длительно допустимая температура нагрева жил 65 °С. Процесс изменения температуры перегрева, °С, проводника током в зависимости от времени описывается формулой

$$\tau = \tau_{уст}(1 - e^{-t/T}), \qquad (9.3)$$

где $\tau_{уст}$ — установившийся перегрев для данной токовой нагрузки,, °С; $t$ — время, мин; $T$ — постоянная времени нагрева, т. е. время, за которое температура перегрева проводника достигла бы установившегося значения $\tau_{уст}$ при отсутствии отдачи тепла в окружающую среду, мин. Численно $T$ равно отношению теплоемкости проводника к его теплоотдаче.

Процесс охлаждения проводника, °С, после отключения его от сети определяется уравнением

$$\tau = \tau_{уст} e^{-t/T}. \qquad (9.4)$$

На рис. 9.1, *а* и *б* показаны кривые нагрева и охлаждения проводника соответственно.

Постоянные времени нагрева зависят от материала проводника, рода проводки, сечения и изоляции проводника. Средние значения $T$ для проводов с резиновой изоляцией и алюминиевыми жилами приведены в табл. 9.1.

Для облегчения расчетов в табл. 9.2 приведены вычисленные значения $e^{-t/T}$ и $1-e^{-t/T}$ при разных значениях $t/T$.

Из табл. 9.2 видно, что согласно уравнениям (9.3) и (9.4) за время, равное постоянной времени нагрева, температура перегрева проводника достигает 0,632 $\tau_{уст}$, при охлаждении за это время температура перегрева снижается

до 0,368 $\tau_{уст}$. Практически за время $t=(3\div4)T$ температура проводника достигает установившегося значения. Таким образом, принимая по табл. 9.1 постоянную времени нагрева, можно сразу определить, за какое время температура проводника данного сечения при данных условиях прокладки достигнет установившегося значения, после чего нагрев проводника прекратится. Так, например, три провода марки АПРТО сечением 6 мм², проложенных в одной

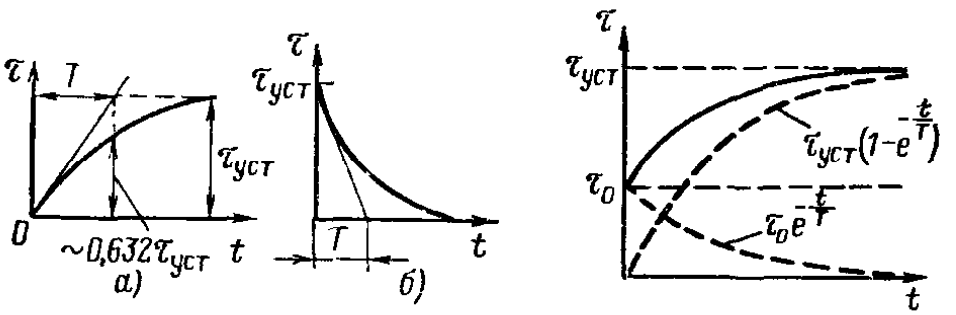



Рис. 9.1. Кривые нагрева (*а*) и охлаждения (*б*) проводника

Рис. 9.2. *Изменение* перегрева при переменной нагрузке

трубе, достигнут перегрева через 12—16 мин, а сечением 95 мм²— через 82—109 мин. Более подробно этот вопрос рассмотрен в примере 9.1.

При переменной нагрузке, когда требуется определить температуру перегрева, начинающегося с некоторого зна-

Таблица 9.1. **Постоянная времени нагрева *T* для проводов с резиновой изоляцией и алюминиевыми жилами (приближенные данные)**

| Сечение жилы, мм² | Постоянная времени *T*, мин | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Одножильные провода, проложенные открыто на опорах | Проложенные в одной трубе | | |
| | | два провода | три провода | четыре провода |
| 4 | 2 | 2,1 | 2,5 | 3,4 |
| 6 | 2,6 | 3,4 | 4,0 | 5,3 |
| 10 | 3,6 | 5,7 | 6,4 | 8,1 |
| 16 | 4,8 | 7,9 | 9,4 | 11,6 |
| 25 | 6,1 | 11 | 13,3 | 16,6 |
| 35 | 7,6 | 13,3 | 16,6 | 20,4 |
| 50 | 10,2 | 16,2 | 20 | 24,1 |
| 70 | 12,7 | 18,7 | 23,4 | 28,1 |
| 95 | 15,5 | 22,4 | 27,2 | 31,9 |
| 120 | 18,2 | 25 | 31,6 | 35,7 |
| 150 | 20,7 | 28,4 | 34,8 | 40 |

Таблица 9.2. Значения $e^{-t/T}$ и $1-e^{-t/T}$ при различных $T$

| $t/T$ | $e^{-t/T}$ | $1-e^{-t/T}$ | $t/T$ | $e^{-t/T}$ | $1-e^{-t/T}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,1 | 0,905 | 0,095 | 1,1 | 0,333 | 0,667 |
| 0,2 | 0,82 | 0,18 | 1,2 | 0,3 | 0,7 |
| 0,3 | 0,742 | 0,258 | 1,3 | 0,273 | 0,727 |
| 0,4 | 0,671 | 0,329 | 1,4 | 0,248 | 0,752 |
| 0,5 | 0,607 | 0,393 | 1,5 | 0,224 | 0,776 |
| 0,6 | 0,55 | 0,45 | 2 | 0,136 | 0,864 |
| 0,7 | 0,497 | 0,503 | 2,5 | 0,082 | 0,918 |
| 0,8 | 0,45 | 0,55 | 3 | 0,05 | 0,95 |
| 0,9 | 0,407 | 0,593 | 4 | 0,015 | 0,985 |
| 1 | 0,368 | 0,632 | 5 | 0,006 | 0,994 |

чения $\tau_0$, процесс нагрева можно рассматривать как сумму двух процессов: нагрева с $\tau=0$ до $\tau=\tau_{уст}$ и охлаждения с $\tau=\tau_0$ до $\tau=0$.

Этот процесс может быть выражен уравнением

$$\tau = \tau_{уст}\left(1 - e^{-t/T}\right) + \tau_0 e^{-t/T} \qquad (9.5)$$

и иллюстрируется рис. 9.2.

## 9.3. Длительно допустимые нагрузки проводников

Определенному значению длительно проходящего тока при неизменных температурах окружающей среды и условиях прокладки соответствует и определенная температура проводника. Соответственно наибольшей допустимой температуре нагрева проводника устанавливается значение длительно допустимого тока, нормируемое ПУЭ. Это значение зависит от материала, сечения проводника, температуры окружающей среды, материала изоляции и способа прокладки.

Длительно допустимые нагрузки могут определяться на основе теплового расчета, однако, в особенности для изолированных проводов и кабелей, формулы получаются сложными, и поэтому в ПУЭ даются готовые таблицы допустимых токовых нагрузок, которые получены как расчетным, так и экспериментальным путем. В ПУЭ приведены средние температуры окружающей среды, для которых составлены таблицы. Если температура окружающей среды существенно отличается от нормированной, то допусти-

мые токовые нагрузки следует пересчитать, умножая нормированную нагрузку на коэффициенты, приведенные в ПУЭ.

Допустимые нагрузки на изолированные провода и кабели с алюминиевыми жилами для различных условий прокладки, а также поправочные коэффициенты на температуру воздуха даны в табл. 9.5 и в ПУЭ. В гл. 10 даны необходимые указания по выбору плавких вставок предохранителей и расцепителей автоматических выключателей.

При наличии данных о допустимых токовых нагрузках и установившейся температуре (перегреве) проводника можно решать с достаточной для практики точностью задачи по определению установившейся температуры (перегрева) при токовых нагрузках, отличающихся от допустимых. Так, перегрев $\tau_1$ °С при токе $I_1$ связан с длительно допустимым током $I_{доп}$ и допустимым перегревом $\tau_{доп}$ следующим выражением:

$$\tau_1 = \tau_{доп} I_1^2/I_{доп}^2. \qquad (9.6)$$

При выводе формулы (9.6) не учитывалось изменение сопротивления проводника в зависимости от его температуры, так как при реально возможных перегревах проводов сети оно не имеет существенного значения. Строго говоря, формула (9.6) отражает закономерность нагрева голых проводников. Однако, несмотря на различные условия охлаждения голых и изолированных проводов, можно считать, что пересчет температур перегрева для последних по формуле (9.6) не дает заметных ошибок.

Выбор сечений проводов по допустимому нагреву при длительном режиме работы производится по формуле

$$I_{доп} \geqslant I_{max}/K_п, \qquad (9.7)$$

где $I_{max}$ — расчетный ток нагрузки, А; $K_п$ — поправочный коэффициент на температуру окружающей среды (по ПУЭ).

Расчетный ток нагрузки, А, определяется по формулам:

а) для трехфазной четырехпроводной и трехпроводной сетей

$$I_{max} = P_{max} \cdot 10^3/(\sqrt{3} U_{ном} \cos\varphi); \qquad (9.8)$$

б) для двухфазной сети с нулевым проводом при включении электроприемников на фазное напряжение

$$I_{max} = P_{max} \cdot 10^3/(2U_ф \cos\varphi); \qquad (9.9)$$

в) для однофазной сети

$$I_{max} = P_{max} \cdot 10^3/(U_{\phi} \cos \varphi), \qquad (9.10)$$

где $P_{max}$ — расчетная максимальная нагрузка, кВт; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, В; $U_{\phi}$ — номинальное фазное напряжение, В.

Для сетей, питающих газоразрядные лампы, при определении расчетного тока следует вводить повышающий коэффициент, учитывающий потери в пускорегулирующих аппаратах (ПРА), по следующим средним данным, которые приняты в проектной практике: для люминесцентных ламп при стартерных схемах зажигания — 1,2; при бесстартерных — 1,3; для ламп типа ДРЛ и ДРИ — 1,1.

Коэффициент мощности $\cos \varphi$ следует принимать для линий, питающих электроприемники квартир, на основе указаний гл. 3; для электроприемников общественных зданий — по указаниям гл. 4. Для светильников с люминесцентными лампами рекомендуется принимать коэффициент мощности равным 0,95 для светильников с компенсированными ПРА и 0,5 с некомпенсированными ПРА, а с лампами типа ДРЛ, ДРИ — 0,57.

При выборе сечений проводов по условиям допустимого нагрева, кроме указанного выше, необходимо учитывать следующее:

1. В трехфазных четырехпроводных питающих линиях квартир имеет место постоянная неустранимая асимметрия токовых нагрузок в фазных проводах. Поэтому ПУЭ требуют принимать сечения нулевых проводов равными сечениям фазных проводов при сечениях последних до 25 мм$^2$ включительно (по алюминию). При больших сечениях фазных проводов сечения нулевых проводов должны выбираться не менее 50 % сечений фазных проводов, но не менее 25 мм$^2$.

2. Для двухфазных и однофазных линий сечения нулевых проводов принимаются равными сечениям фазных проводов.

3. При выборе сечений нулевых проводов сетей освещения с газоразрядными лампами необходимо учитывать наличие в этих проводах токов высших гармонических составляющих, кратных трем, которые существуют вследствие несинусоидальности кривых токов даже при равномерной нагрузке фаз. В связи с тем что в этих случаях ток в нулевом проводе может достигать, особенно при компенсированных ПРА, 85—90 % тока в фазном проводе, сече-

ния нулевых проводов следует принимать равными сечениям фазных проводов.

4. При прокладке проводов в коробах и лотках допустимую токовую нагрузку следует принимать: а) при прокладке проводов в лотках в один горизонтальный ряд — как для открыто проложенных проводов; б) при прокладке проводов в коробах и лотках пучками — как для проводов, проложенных в трубах.

5. При прокладке более четырех проводов в трубах, коробах, а также в лотках пучками следует принимать допустимую токовую нагрузку: а) для 5—6 одновременно нагруженных проводов — как для открыто проложенных проводов с коэффициентом 0,68; б) для 7—9 одновременно нагруженных проводов — как для открыто проложенных проводов с коэффициентом 0,63; в) для 10—12 одновременно нагруженных проводов — как для открыто проложенных проводов с коэффициентом 0,6 [20].

Сечения проводов, проложенных в каналах строительных конструкций, а также замоноличенных проводок можно выбирать, как для проводов в трубах. При прокладке проводов в пластмассовых трубах или электротехнических плинтусах теплоотдача в окружающую среду ниже, чем при прокладке в металлических трубах. В результате исследований АКХ, НИИмосстроя и ряда других организаций составлены таблицы допустимых нагрузок на указанные проводки, при этом допустимые нагрузки снижаются в среднем на 10—15 %.

6. Для четырехпроводных линий, проложенных в трубах или каналах строительных конструкций, питающих электроприемники (силовые и осветительные с лампами накаливания), допустимые токовые нагрузки принимаются, как для трех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе. Для таких же линий, питающих газоразрядные лампы, как для четырех одножильных проводов, прокладываемых в одной трубе.

7. При повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы сети (например, линии, питающие лифты) расчетную токовую нагрузку, А, следует приводить к длительному режиму по формуле

$$I_{max,\text{прив}} = I_{max}\sqrt{\text{ПВ}}/0{,}875 \leqslant I_{\text{доп}}. \qquad (9.11)$$

Формула (9.11) применяется для алюминиевых проводов сечением более 16 мм². Для меньших сечений токовые

нагрузки, А, принимаются такими, как для длительного режима,

$$I_{max} \leqslant I_{доп}. \qquad (9.12)$$

При этом имеется в виду, что $I_{max}$ приведено к температуре окружающей среды [см. формулу (9.6)].

**Пример 9.1.** Четырехпроводная линия, питающая электроприемники квартир, сечением $3(1\times50)+1\times25$ мм$^2$ выполнена алюминиевыми проводами марки АПВ и в течение некоторого времени нагружена, как показано в табл. 9.3. В течение 30 мин нагрузка остается постоянной. Температура окружающей среды $\theta_{о,с}=25$ °С. Провода проложены в канале строительной конструкции.

Определить температуры нагрева жил проводов за время работы сети.

Решение. 1. Согласно ПУЭ для температуры окружающей среды $\theta_{о,с}=25$ °С ($K_п=1$) принимаем $I_{доп}=130$ А ($I_{доп}$ принято по столбцу для трех проводов, проложенных в одной трубе, поскольку в сети нет газоразрядных ламп). При этом $\theta_{доп}=65$ °С; $\tau_{доп}=40$ °С.

2. Определяем отношение $I^2_{max}/I^2_{доп}$

3. Вычисляем значения установившегося перегрева для всех токовых нагрузок по интервалам по формуле (9.6).

4. По табл. 9.1 принимаем постоянную времени нагрева $T=20$ мин. Тогда отношенне интервала нагрузки к постоянной времени $T=30/20=1{,}5$.

5. По табл. 9.2 принимаем $1-e^{-t/T}=0{,}776$ и $e^{-t/T}=0{,}224$.

6. Определяем перегрев $\tau_t$ для каждого интервала времени по выражению (9.5).

7. Определяем температуру провода

$$\theta_{пр}=\tau_t-\theta_{о,с} \qquad (9.13)$$

Таблица 9.3. **Измеиение токовых нагрузок по часам суток (к примеру 9.1)**

| Часы (интервалы) | Нагрузка, А | Часы (интервалы) | Нагрузка, А | Часы (интервалы) | Нагрузка, А |
|---|---|---|---|---|---|
| 9.00—9.30 | 30 | 14.00—14.30 | 30 | 19.00—19.30 | 100 |
| 9.30—10.00 | 25 | 14.30—15.00 | 40 | 19.30—20.00 | 120 |
| 10.00—10.30 | 25 | 15.00—15.30 | 40 | 20.00—20.30 | 130 |
| 10.30—11.00 | 20 | 15.30—16.00 | 40 | 20.30—21.00 | 130 |
| 11.00—11.30 | 20 | 16.00—16.30 | 45 | 21.00—21.30 | 120 |
| 11.30—12.00 | 20 | 16.30—17.00 | 45 | 21.30—22.00 | 100 |
| 12.00—12.30 | 20 | 17.00—17.30 | 50 | 22.00—22.30 | 80 |
| 12.30—13.00 | 20 | 17.30—18.00 | 60 | 22.30—23.00 | 60 |
| 13.00—13.30 | 25 | 18.00—18.30 | 80 | | |
| 13.30—14.00 | 25 | 18.30—19.00 | 80 | | |

8. На основании проведенных расчетов построена кривая изменения температуры проводов в течение времени, указанного в табл. 9.3 (рис. 9.3). Как видно из рисунка, допустимая температура нагрева 65 °С имеет место в течение короткого промежутка времени. Благодаря этому процесс старения изоляции идет медленнее.

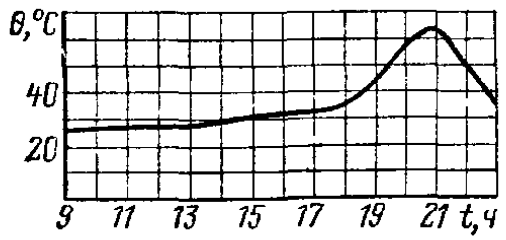



Рис. 9.3. Кривая нагрева проводов (к примеру 9.1)

## 9.4. Старение изоляции

Процесс старения изоляции зависит от нагревания проводника и протекает на основе физико-химических закономерностей, согласно которым старение изоляции в относительных единицах выражается так называемым «восьмиградусным правилом». Это значит, что каждые дополнительные 8° С нагрева ускоряют процесс старения (сокращают срок службы) изоляции вдвое.

Закон старения изоляции, т. е. отношение скорости износа изоляции при фактических длительно существующих нагрузках к скорости износа изоляции при длительной нагрузке по ПУЭ, которая принимается за единицу, выражаетя следующим уравнением

$$И = 2^{\frac{\theta_t - \theta_{доп}}{8}} = 2^{\frac{\tau_t - \tau_{доп}}{8}}, \qquad (9.14)$$

где $\theta_t$ и $\theta_{доп}$ — температура нагрева жил проводов при фактических длительных нагрузках и длительно допустимых нагрузках по нормам, °С; $\tau_t$ и $\tau_{доп}$ — перегревы (превышения температуры) фактические и длительно допустимые по нормам, °С.

При переменном графике нагрузки общее относительное старение за интервал времени $\sum_1^n t$ выражается формулой

$$И = (И_1 t_1 + И_2 t_2 + \ldots + И_n t_n) / \sum_1^n t, \qquad (9.15)$$

где $И_1$, $И_2$,..., $И_n$ — относительные старения, рассчитанные по формуле (9.14) для каждого из интервалов графика нагрузки.

Если $И > 1$, то старение изоляции происходит скорее в $И$ раз против нормы, что вызвано чрезмерным нагревом проводника. Напротив, при $И < 1$ старение идет замедленно, что свидетельствует о неполном использовании проводника.

**Пример 9.2.** Для условий нагрузки линий примера 9.1 определить общее относительное старение изоляции. Допустимый перегрев по нормам $\tau_{доп} = 40\,°C$.

Решение. 1. Для каждого интервала времени по формуле (9.14) рассчитывается относительное старение изоляции. Данные расчетов сведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4. **Относительное старение изоляции по часам суток (к примеру 9.2)**

| Интервалы | Продолжительность интервала $t$, мин | Перегрев в рассматриваемый период, °С | $\frac{\tau_t - \tau_{доп}}{8}$ | $И = 2^{\frac{\tau_t - \tau_{доп}}{8}}$ | $Иt$, мин |
|---|---|---|---|---|---|
| 9.00—9.30 | 30 | 1,6 | —4,8 | 0,04 | 1,2 |
| 9.30—10.30 | 60 | 1,5 | —4,9 | 0,03 | 1,8 |
| 10.30—11.00 | 30 | 1,1 | —4,9 | 0,03 | 0,9 |
| 11.00—13.00 | 120 | 1 | —4,9 | 0,03 | 3,6 |
| 13.00—13.30 | 30 | 1,4 | —4,8 | 0,04 | 1,2 |
| 13.30—14.00 | 30 | 1,5 | —4,9 | 0,03 | 0,9 |
| 14.00—14.30 | 30 | 2 | —4,7 | 0,04 | 1,2 |
| 14.30—15.00 | 30 | 3,4 | —4,7 | 0,046 | 1,4 |
| 15.00—15.30 | 30 | 3,7 | —4,6 | 0,04 | 1,2 |
| 15.30—16.00 | 30 | 3,8 | —4,5 | 0,045 | 1,4 |
| 16.00—16.30 | 30 | 4,6 | —4,4 | 0,04 | 1,2 |
| 16.30—17.00 | 30 | 4,7 | —4,4 | 0,04 | 1,2 |
| 17.00—17.30 | 30 | 5,6 | —4,3 | 0,04 | 1,2 |
| 17.30—18.00 | 30 | 7,8 | —4 | 0,09 | 2,7 |
| 18.00—18.30 | 30 | 13,5 | —3,4 | 0,1 | 3 |
| 18.30—19.00 | 30 | 14,8 | —3,2 | 0,11 | 3,3 |
| 19.00—19.30 | 30 | 21,5 | —2,3 | 0,2 | 6 |
| 19.30—20.00 | 30 | 31,5 | —1,1 | 0,4 | 12 |
| 20.00—20.30 | 30 | 38,1 | —0,2 | 0,85 | 25,5 |
| 20.30—21.00 | 30 | 39,5 | —0,1 | 1,0 | 30 |
| 21.00—21.30 | 30 | 35,5 | —0,6 | 0,64 | 19,4 |
| 21.30—22.00 | 30 | 26,3 | —1,7 | 0,29 | 8,7 |
| 22.00—22.30 | 30 | 17,7 | —2,8 | 0,17 | 5,7 |
| 22.30—23.00 | 30 | 10,5 | —4,9 | 0,03 | 0,9 |
| Итого . . | 840 | | | | 135,6 |

2. Определяем общее относительное старение изоляции.

$$И = 135,6/840 = 0,16.$$

В рассматриваемом примере установлено недостаточное использование изоляции проложенных проводов. Это характерно для жилых зданий, графики нагрузки которых близки к приведенному в примере. Поэтому выбранные сечения проводов по условиям нагрева всегда оказываются не полностью использованными с точки зрения износа изоляции. Следует, однако, подчеркнуть, что применение по-

Таблица 9.5. **Допустимые длительные нагрузки, А, для проводников с алюминиевыми жилами**

| Сечение токопроводящей жилы, мм² | Провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией | | | | | | Кабели с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и негорючей резиновой оболочках, бронированные и небронированные, прокладываемые открыто | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | прокладываемые открыто | прокладываемые в общей трубе | | | | | | |
| | | два одножильных | три одножильных | четыре одножильных | пять-шесть одножильных | семь-девять одножильных | двухжильные | трехжильные |
| 2 | 21 | 19 | 18 | 15 | — | — | — | — |
| 2,5 | 24 | 20 | 19 | 19 | 16 | 15 | 21 | 19 |
| 3 | 27 | 24 | 22 | 21 | — | — | — | — |
| 4 | 32 | 28 | 28 | 23 | 22 | 20 | 29 | 27 |
| 5 | 36 | 32 | 30 | 27 | — | — | — | — |
| 6 | 39 | 36 | 32 | 30 | 27 | 25 | 38 | 32 |
| 8 | 46 | 43 | 40 | 37 | — | — | — | — |
| 10 | 60 | 50 | 47 | 39 | 41 | 38 | 55 | 42 |
| 16 | 75 | 60 | 60 | 55 | 51 | 47 | 70 | 60 |
| 25 | 105 | 85 | 80 | 70 | 71 | 66 | 90 | 75 |
| 35 | 130 | 100 | 95 | 85 | — | — | 105 | 90 |
| 50 | 165 | 140 | 130 | 120 | — | — | 135 | 110 |
| 70 | 210 | 175 | 165 | 140 | — | — | 165 | 140 |
| 95 | 255 | 215 | 200 | 175 | — | — | 200 | 170 |
| 120 | 295 | 245 | 220 | 200 | — | — | 230 | 200 |
| 150 | 340 | 275 | 255 | — | — | — | 270 | 235 |
| 185 | 390 | — | — | — | — | — | 310 | 270 |
| 240 | 465 | — | — | — | — | — | — | — |
| 300 | 535 | — | — | — | — | — | — | — |
| 400 | 645 | — | — | — | — | — | — | — |

Примечание. При прокладке проводов скрыто (под штукатуркой, в каналах, бороздах, замоноличенных и т. п.) допустимые нагрузки принимаются, как для проводов, проложенных в трубах.

вышенных нагрузок проводов для жилых зданий по сравнению с указанными в ПУЭ, что могло бы быть оправдано низким коэффициентом заполнения суточного графика нагрузки, невозможно из-за отсутствия в настоящее время теоретических и экспериментальных работ по данной проблеме.

Следует ожидать, что в будущем такие работы будут выполнены, причем наряду с рассмотрением проблемы старения изоляции в комплексе следует учесть и такие важнейшие факторы, как ухудшение контактных соединений при повышенных нагревах и другие вопросы пожарной и электробезопасности, а также экономические факторы.

В табл. 9.5 приведены допустимые длительные нагрузки для проводников с алюминиевыми жилами. Для 4-жильных кабелей токи последнего столбца умножаются на 0,92.

## Глава десятая

# ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

### 10.1. Виды защиты электрической сети

Даже в правильно спроектированной и эксплуатируемой электроустановке всегда остается вероятность появления аварийных режимов, которые могут привести к выходу из строя электрооборудования, иногда к пожару и уничтожению имущества, а также к резкому повышению опасности для соприкасающихся с ним людей.

К аварийным режимам прежде всего относятся *короткие замыкания* одно-, двух- и трехфазные; последнее является наиболее тяжелым из КЗ, однако оно бывают значительно реже, чем однофазные и двухфазные КЗ. Чаще всего КЗ происходят в результате пробоя или перекрытия изоляции или из-за неправильной сборки схемы и неквалифицированного обращения с электроприборами.

Токи КЗ, органиченные лишь весьма небольшими сопротивлениями короткозамкнутой цепи, могут достигать значений, в десятки раз превышающих номинальные токи присоединенных электроприемников, а также допустимые токи проводников. Токи КЗ оказывают значительное динамическое и термическое действие на токоведущие части и вызывают выход их из строя. Именно поэтому важно локализовать аварию — отключить в возможно короткий срок поврежденный участок сети.

Другим распространенным видом аварии в электрических сетях являются непредусмотренные нормальным режимом работы перегрузки, при которых имеет место прохождение по подводящим проводникам, в обмотках электродвигателей и трансформаторов повышенных токов, вызывающих их нагревание сверх допустимого. Перегрузки тоже могут принести большой вред, так как вызывают ускоренное старение и разрушение изоляции, что может в свою очередь привести к КЗ. Тем не менее перегрузки не приводят к немедленному выходу из строя электроустановок. Во многих случаях, особенно при наличии квалифицированного эксплуатационного персонала и достаточного контроля за режимом работы электрооборудования, такие перегрузки маловероятны.

Ниже приведены основные требования в отношении защиты сетей до 1000 В применительно к жилым и общественным зданиям (ПУЭ, гл. III-1).

**Защита от коротких замыканий.** Все электрические сети жилых и общественных зданий должны иметь защиту от токов КЗ с наименьшим временем отключения и обеспечением по возможности требований селективности. При этом защита должна обеспечивать отключение аварийного участка при КЗ в конце защищенной линии: а) однофазных и многофазных — в сетях с глухозаземленной нейтралью; б) двухфазных и трехфазных — в сетях с изолированной нейтралью. Минимальные кратности токов КЗ, при которых обеспечивается работа защиты, и методика расчета токов КЗ приведены в гл. 15.

Требование о наименьшем времени отключения обеспечивается правильным выбором аппаратов защиты, их надлежащей конструкцией и защитной характеристикой. Что касается селективности действия, то ПУЭ требуют ее соблюдения лишь по возможности. Существо вопроса состоит в том, что токи КЗ проходят через все аппараты защиты, установленные в цепи, начиная от источника питания, а не только через аппараты, ближайшие к месту повреждения.

Одновременное мгновенное срабатывание всех аппаратов защиты цепи неизбежно вызвало бы прекращение питания большой группы электроприемников, подключенных к исправным участкам цепи. Такой перебой в электроснабжении при КЗ в любом элементе сети, конечно, крайне нежелателен. Следовательно, целесообразно так выбирать и размещать аппараты защиты, чтобы их срабатывание происходило с некоторым сдвигом по времени (выдержкой

времени) по мере их удаления в сторону источника питания или головного участка сети. В этом и заключается избирательность (селективность) действия защиты, которая при применяемых в настоящее время в сетях до 1000 В аппаратах защиты (предохранители и автоматические выключатели) может быть достигнута не всегда.

При больших значениях токов КЗ возможны неселективные срабатывания защиты вследствие разброса характеристик, особенно предохранителей. Вместе с тем любая задержка с отключением поврежденного участка опасна, так как может привести к еще большим повреждениям.

Поэтому при проектировании приходится решать вопрос о том, что важнее: добиваться быстроты отключения или обязательно добиваться селективности. По-видимому, для жилых и большинства общественных зданий первое требование следует считать более важным. При этом надо еще учесть, что соблюдение селективности во многих случаях может потребовать увеличения сечений проводов, т. е. удорожания всей электроустановки.

Лишь в крупных уникальных общественных зданиях или других особо ответственных объектах (музеи, театры и т. п.), несмотря на перерасход проводникового материала, необходимо более серьезное внимание уделять селективности действия защиты, однако приоритет требования о быстром отключении остается в силе.

**Защита от перегрузки.** От перегрузки должны быть защищены все сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными незащищенными изолированными проводниками с горючей оболочкой. Кроме того, защите от перегрузки в жилых и общественных зданиях подлежат сети, выполненные защищенными проводниками, проводниками, проложенными в трубах, в несгораемых строительных конструкциях, к которым присоединены *осветительные* электроприемники, а также *бытовые и переносные электроприемники* (утюги, чайники, электроплитки, комнатные холодильники, стиральные машины, пылесосы и т. п.).

Силовые сети защищают от перегрузки лишь при открытой прокладке этих сетей незащищенными изолированными проводниками с горючей оболочкой, а также и при скрытой прокладке или при открытой прокладке защищенными проводами и кабелями, но лишь в тех случаях, когда по условиям технологического процесса или режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводов и кабелей. Как правило, в жилых и общественных зда-

ниях таких условий в силовых сетях не существует, поэтому они защищаются только от КЗ. Исключение составляют сети к силовым электроприемникам (лифты, противопожарные устройства и т. п.), относящиеся к первой категории по надежности электроснабжения, при централизованной установке устройств АВР (например, на ВРУ). Такие сети целесообразно защищать и от перегрузки.

## 10.2. Аппараты защиты

Для защиты внутренних сетей жилых и общественных зданий 380/220 В применяются плавкие предохранители и автоматические воздушные выключатели.

Силовые электроприемники, кроме того, часто защищаются от перегрузок с помощью тепловых реле, встроенных в магнитные пускатели. Магнитные пускатели осуществляют при этом и защиту от самозапуска при кратковременном исчезновении напряжения. Самозапуск допускается лишь в системах дымозащиты и в цепях пожарных насосов, что следует учитывать при расчете сетей и выборе аппаратов защиты.

Однако главные контакты магнитных пускателей не рассчитаны на отключение токов КЗ. Кроме того, тепловые реле большинства существующих конструкций магнитных пускателей сами нуждаются в защите от КЗ, так как при прохождении токов КЗ нагревательный элемент может перегореть быстрее, чем реле успеет отключить электродвигатель. Поэтому при применении магнитных пускателей с тепловыми реле для защиты от перегрузок необходимо дополнительно устанавливать в этих цепях предохранители или автоматические выключатели для защиты от КЗ.

Разрешается [24] считать эти реле термически стойкими без проверки расчетом, если ответвление к электроприемнику защищено плавкой вставкой с номинальным током, не превышающим наибольшего длительного допустимого тока теплового реле больше чем в 4 раза, или автоматическим выключателем, номинальный ток теплового расцепителя которого превышает длительно допустимый ток теплового реле более чем в 2 раза.

В данной книге детально не рассматриваются конструкции и принципы работы аппаратов защиты, поскольку по этим вопросам имеются детальные описания в технической литературе и каталогах. Здесь приводятся лишь некоторые технические данные предохранителей и автомати-

ческих выключателей новых серий, широко применяемых во внутренних сетях жилых и общественных зданий.

В настоящее время в силовых и осветительных сетях почти повсеместно устанавливаются предохранители серии ПН-2 с патронами, наполненными кварцевым песком. Внутри патрона располагается плавкая вставка. В таких засыпных предохранителях интенсивному дугогашению способствует разветвление дуги в тончайших промежутках между зернами песка. В результате резко снижается давление в патроне при испарении материала вставки. Деионизация и гашение дуги происходят настолько быстро, что при КЗ ток не успевает достигнуть своего амплитудного значения. Поэтому подобные предохранители являются *токоограничивающими*. Так, например, предохранители серии ПН-2 с патронами на 100 и 250 А пропускают ток не более 5 кА, при установке в сетях со значительно большими токами КЗ.

Предохранители серии НПН, выпускаемые на токи до 60 А, по принципу действия аналогичны предохранителям ПН-2. На квартирных щитках еще широко применяются плавкие пробочные предохранители Н-20.

В некоторых электроустановках можно встретить разборные предохранители с фибровой трубкой серии ПР-2, в которых дугогашение происходит за счет интенсивного выделения газов с поверхности фибры при перегорании вставки. Эти предохранители работают значительно хуже засыпных.

В табл. 10.1 приведены основные технические данные предохранителей ПР-2, ПН-2 и НПН.

**Защитные характеристики предохранителей.** Время расплавления плавкой вставки предохранителя зависит от силы тока. Чем больше ток, тем быстрее расплавляется плавкая вставка. Зависимость полного времени отключения (продолжительность расплавления плавкой вставки и горения дуги) от отключаемого тока называется время-токовой или защитной характеристикой. Поскольку с повышением кратности тока время перегорания плавкой вставки уменьшается, характеристика называется обратнозависимой.

На рис. 10.1 приведены усредненные время-токовые характеристики предохранителей ПН-2. Отметим, что в зависимости от производственных допусков, материала вставки, его старения, состояния контактных соединений, влияния окружающей среды время срабатывания при одном и

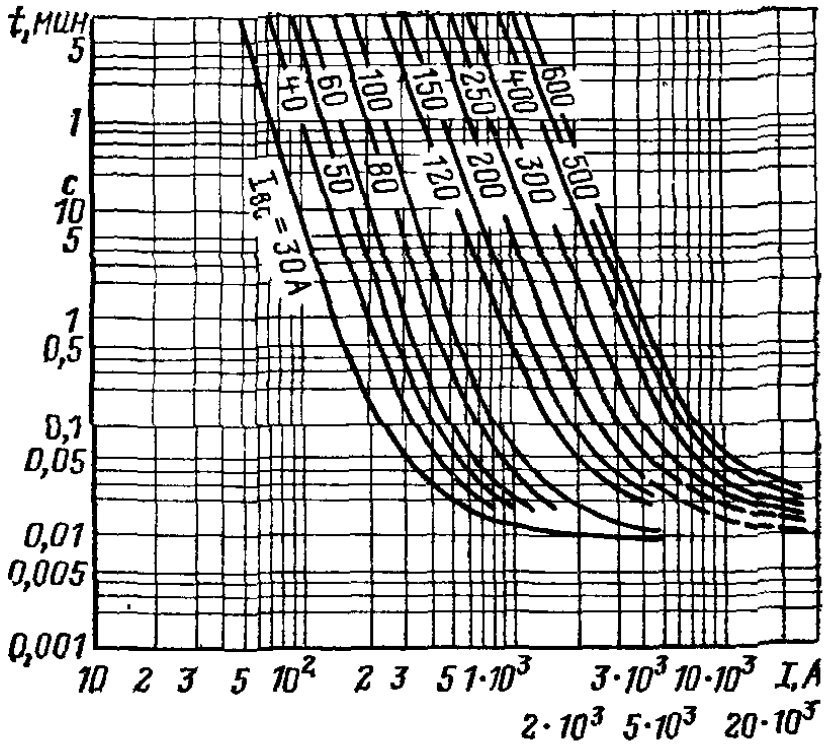



Рис. 10.1. Усредненные время-токовые характеристики предохранителей серии ПН-2

Таблица 10.1. **Технические данные некоторых типов предохранителей**

| Тип предохранителя | Номинальный ток патрона, А | Номинальный ток плавкой вставки, А | Конструкция патрона | Предельный ток отключения при напряжении до 500 В, кА |
|---|---|---|---|---|
| ПР-2 | 15 | 6, 10, 15 | Разборный без наполнителя | — |
| | 60 | 15, 20, 25, 35, 45, 60 | | — |
| | 100 | 60, 80, 100 | | — |
| | 200 | 100, 125, 160, 200 | | — |
| | 350 | 200, 225, 260, 300, 350 | | — |
| | 600 | 350, 450, 500, 600 | | — |
| | 1000 | 600, 700, 850, 1000 | | — |
| ПН-2-100 | 100 | 30, 40, 50, 60, 100 | Разборный с наполнителем | 50 |
| ПН-2-250 | 250 | 80, 100, 120, 150, 200, 250 | | 40 |
| ПН-2-400 | 400 | 200, 250, 300, 350, 400 | | 25 |
| ПН-2-600 | 600 | 300, 400, 500, 600 | | 25 |
| ПН-2-1000 | 1000 | 500, 600, 750, 800, 1000 | | 10 |
| НПН-15 | 15 | 6, 10, 15 | Неразборный с наполнителем | — |
| НПН-60м | 60 | 20, 25, 35, 45, 60 | | — |

том же токе может колебаться в значительных пределах (до 6с±50 %). Это является крупным недостатком плавких предохранителей, затрудняющим селективную работу защиты.

Рекомендуется для обеспечения избирательной работы предохранителей, чтобы каждая последующая в сторону источника питания плавкая вставка была на две ступеньки больше предыдущей, если это не приводит к увеличению сечения проводов. Разница в одну ступень является обязательной во всех случаях. Как отмечалось, для особо ответственных зданий выбор плавких вставок предохранителей должен производиться с учетом разброса по защитным характеристикам.

**Автоматические выключатели** являются более совершенными аппаратами защиты, обладающими рядом преимуществ:

1. При перегрузке или КЗ автоматический выключатель отключает все три фазы защищаемого ответвления к электродвигателю, предотвращая возможность его работы на двух фазах.

2. *Автоматический выключатель после срабатывания* вскоре снова готов к работе, в то время как в предохранителе требуется замена калиброванной вставки или даже патрона.

3. Автоматические выключатели имеют более точные защитные характеристики, чем предохранители.

4. Автоматические выключатели помимо функций защиты могут быть использованы для нечастых коммутаций цепей, в которых они установлены. Таким образом, они совмещают функции защиты и коммутации.

5. Некоторые типы автоматических выключателей имеют встроенные вспомогательные контакты, используемые в цепях блокировки и сигнализации, а также независимые расцепители, позволяющие осуществлять дистанционное отключение. Выпускаются также автоматические выключатели с электроприводом, позволяющим производить дистанционное включение аппарата.

6. Автоматические выключатели исключают возможность применения некалиброванных элементов, что, к сожалению, часто практикуется в установках с плавкими предохранителями.

Наиболее часто применяемые автоматические выключатели могут снабжаться тепловыми, электромагнитными или комбинированными расцепителями (последние пред-

Таблица 10.2. **Осиовиые техиические характеристики трехполюсиых автоматических выключателей серии АЕ20**

| Тнп автоматического выключателя | Номинальный ток, А | Типоисполнение автоматического выключателя | Номинальные токи тепловых расцепителей, А | Тнп расцепителя | Допустимый ударный ток короткого замыкания одноразовой коммутационной способности при частоте 50 Гц, кА | Коммутационная способность | | Степень защиты выключателя |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Ударный ток короткого замыкания при 220 и 380 В, кА | Действующее значение тока короткого замыкания, кА | |
| АЕ2010 | 10 | АЕ2016-10 | 0,32; 0,4; 0,5 | Комбинированный | Не ограничен | 5,0 | 3,0 | IP00 |
| | | АЕ2016-20 | 0,6; 0,8; 1 1,25; 1,6 | | | | | |
| | | АЕ2016-10Н | 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6 | То же | То же | 1,5 | 0,9 | IP20 |
| | | АЕ2016-20Н | 8; 10 | » | » | 2 | 1,2 | IP20 |
| АЕ2030 | 25 | АЕ2036-10 | 0,6; 0,8; 1; | » | 10 | 5 | 3 | IP00 |
| | | АБ2036-20 | 1,25; 1,6 | | | | | |
| | | АЕ2036-30 | 2; 2,5; 3,2; | » | 10 | 2,5 | 1,6 | IP00 |
| | | АЕ2036-40 | 4; 5; 6; 8,0; | | | | | |
| | | АЕ2036-10Р | 10; 12,5 | | | | | |
| | | АЕ2036-20Р | 16; 20; 25 | » | 10 | 5 | 3 | IP00 |
| | | АЕ2036-30Р | | | | 5 | 3 | IP20 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | AE2036-40P | | | | 3,5 | 2 | IP54 |
| AE2040 | 63 | AE2046-10<br>AE2046-20<br>AE2046-30<br>AE2046-40 | 10; 12,5 | Комбинированный и *электромагнитный* | 10 | 3,5 | 2 | IP00 |
| | | AE2046-10P | 16; 20; 25 | То же | 10 | 5 | 3 | IP00 |
| | | AE2046-20P<br>AE2046-30P<br>AE2046-40P | 32; 40; 50<br>63 | » | 16 | 10 | 6 | IP00 |
| AE2050 | 100 | AE2056-10<br>AE2056-20<br>AE2056-30 | 16; 20; 25 | » | 10 | 5 | 3 | IP00 |
| | | AE2056-40<br>AE2056-10P | 32; 40 | » | 25 | 10 | 6 | IP00 |
| | | AE2056-20P<br>AE2056-30P<br>AE2056-40P | 50; 63;<br>80; 100 | » | 25 | 16 | 9 | IP00 |

Обозначения: АЕ — условное обозначение выключателя; 20 — порядковый номер разработки; первая цифра 1, 3, 4, 5 — условное обозначение величины выключателя в зависимости от номинального тока соответственно 10, 25, 63, 100 А; вторая цифра 6 — трехполюсные с тепловым и электромагнитным расцепителями; третья цифра 1, 2, 3, 4 — условное обозначение наличия свободных контактов, соответственно: отсутствуют, 1 замыкающий, 1 размыкающий, 1 замыкающий и 1 размыкающий; четвертая цифра 0, 1, 2, 3 — условное обозначение дополнительных расцепителей соответственно: отсутствуют, минимальный, независимый, минимальный и независимый; буква Н — регулируемый без температурной компенсации. Допускает регулировку в пределах 0,9—1,15 номинального тока расцепителя; буква Р — регулируемый с температурной компенсацией. Допускает регулировку в пределах 0,9—1,15 номинального тока расцепителя.

ставляют собой сочетание теплового и электромагнитного расцепителей). Время срабатывания тепловых расцепителей автоматических выключателей, так же как и предохранителей, уменьшается с увеличением тока, т. е. они имеют обратнозависимую от тока характеристику. Электромагнитные расцепители срабатывают практически мгновенно при токе, на который они отрегулированы.

Расцепители характеризуются *номинальным током*, т. е. током, который они выдерживают неограниченно долго, что гарантируется заводом-изготовителем. Наименьший ток, вызывающий отключение автоматического выключателя, называется *током трогания* или *током срабатывания*. Под *уставкой расцепителя* понимается настройка его на выбранное значение тока трогания. Уставка тока электромагнитного расцепителя на мгновенное срабатывание называется *отсечкой*. Важно подчеркнуть, что номинальный ток автоматического выключателя характеризует пропускную способность его контактных частей и соответствует номинальному току его наибольшего теплового расцепителя.

**Автоматические выключатели разделяются на нерегулируемые и регулируемые.** К первым относятся автоматические выключатели, уставки расцепителей которых отрегулированы на заводе-изготовителе и никаких приспособлений для регулировки в процессе монтажа и эксплуатации не имеют. Другая группа снабжена специальными приспособлениями, позволяющими менять ток уставки путем воздействий на механическую систему автоматического выключателя.

Некоторые типы автоматических выключателей (АВМ «Электрон») на большие токи (1000 А и более) снабжаются часовыми механизмами, с помощью которых возможно обеспечить селективную работу защиты.

В табл. 10.2 приведены основные технические характеристики серии автоматических выключателей АЕ20. В таблице даны лишь данные для трехполюсных выключателей переменного тока (выпускаются также одно-, двух- и четырехполюсные) с комбинированными расцепителями, поскольку имеющие только электромагнитные расцепители (отсечки) в сетях жилых и общественных зданий применять не рекомендуется. Некоторые аппараты данной серии (АЕ2033-12, АЕ2043-12, АЕ2053-12) имеют независимый расцепитель, предназначенный для дистанционного отключения, однако они имеют только электромагнитный расцепитель. Возможно регулирование номинальных токов рас-

цепителей в пределах 0,9—1,15 (только промежуточных значений номинального тока). Расцепители с номинальным током, равным номинальному току автоматического выключателя, регулируются только в сторону уменьшения.

На рис. 10.2 приведены защитные характеристики автоматических выключателей серии АЕ20 при наличии устройств температурной компенсации (рис. 10.2, *а*) и без

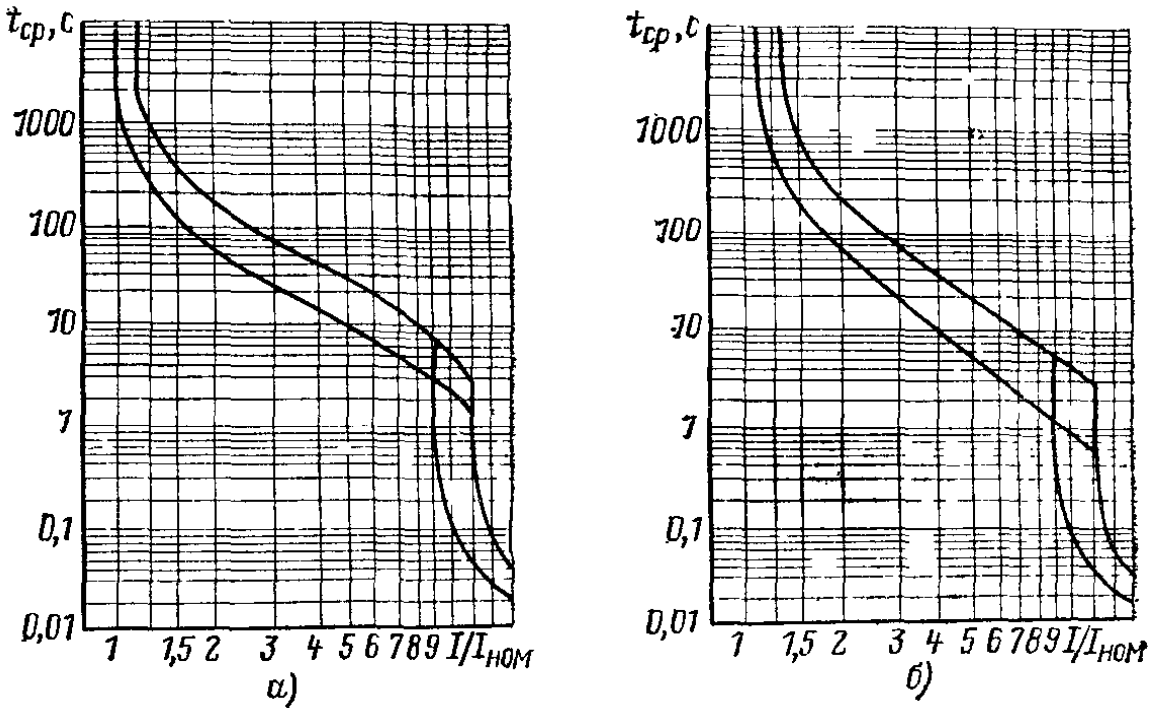



Рис. 10.2. Защитные характеристики выключателей серии АЕ20 с комбинированными расцепителями при температуре 20 °С:
*а* — с температурной компенсацией; *б* — без температурной компенсации

температурной компенсации (рис. 10.2, *б*), а на рис. 10.3 дана зависимость кратности их тока срабатывания от температуры окружающей среды. Автоматические выключатели серии АЕ20 выпускаются на номинальные токи 10, 25, 63 и 100 А. Уставка электромагнитных расцепителей по току срабатывания в зоне КЗ (ток отсечки) для всех выключателей серии АЕ20 равна $12I_р$. Электромагнитные расцепители не срабатывают при токе, равном 0,8 тока уставки, и срабатывают в течение 0,04 с при токе 1,2 тока уставки и более.

Автоматические выключатели серии А37 выпускаются на номинальные токи 160, 250 и 630 А и широко применяются для установки на вводно-распределительных устройствах и распределительных щитах. Они предназначены для нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей до 220 В постоянного тока и до 380 В пере-

Таблица 10.3. **Основные технические характеристики трехполюсных автоматических выключателей А37 переменного тока стационарного исполнения (до 380 В, 50 Гц)**

| Тип выключателя | Номинальный ток автоматического выключателя, А | Номинальный ток, А | | Номинальная уставка тока расцепителя, А | | Предельная коммутационная способность, ударный ток КЗ при 380 В, 50 Гц, кА |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | электромагнитного расцепителя | теплового расцепителя | теплового | электромагнитного | |
| А3716ФУ3 | 160 | 160 | 16 | 18 | 630 | 5,5 |
| | | | 20 | 23 | 630 | 10 |
| | | | 25 | 29 | 630 | 15 |
| | | | 32 | 37 | 630 (1600) | 20 |
| | | | 40 | 46 | 630 (1600) | 20 |
| | | | 50 | 58 | 630 (1600) | 25 |
| | | | 63 | 73 | 630 (1600) | 25 |
| | | | 80 | 92 | 630 (1600) | 25 |
| | | | 100 | 115 | 630 (1600) | 25 |
| | | | 125 | 144 | 630 (1600) | 25 |
| | | | 160 | 184 | 630 (1600) | 25 |
| А3726ФУ3 | 250 | 250 | 160 | 184 | 2500 | 35 |
| | | | 200 | 230 | 2500 | 35 |
| | | | 250 | 288 | 2500 | 35 |
| А3736ФУ3 | 630 | 400 | 250 | 288 | 5000 | 50 |
| | | | 320 | 368 | 3200 | 50 |
| | | | 400 | 460 | 4000 | 50 |
| | | 630 | 500 | 575 | 5000 | 50 |
| | | | 630 | 725 | 6300 | 50 |

Примечания: 1. Ток, который выключатель может отключать 1 раз, после чего его дальнейшая работа не гарантируется, превышает предельную коммутационную способность на 2—3 кА.

2. Токи включения независимого расцепителя при напряжении 380 В для выключателей I и II величины 4,3 А, III величины — 4,5 А.

3. Токи включения дистанционного привода при напряжении 380 В для выключателей I и II величины 6 А, III величины — 18 А.

4. Ток включения вспомогательных контактов 12 А, ток отключения 4 А. Предельная коммутационная способность 15 А.

5. Обозначения: Ф — фенопластовый корпус; У — для умеренного климата; 3 — категория размещения по ГОСТ 15543—70.

менного тока частотой 50 или 400 Гц, а также для защиты цепи при КЗ, перегрузках и недопустимых снижениях напряжения.

Автоматические выключатели изготовляются двух- и трехполюсными и имеют стационарное и выдвижное исполнение, что обеспечивает большие удобства при конструировании блочных распределительных устройств. Защитными элементами в них являются электромагнитные, тепловые

или те и другие (комбинированные) расцепители. Имеется также неавтоматическое исполнение.

В табл. 10.3 даны основные технические данные трехполюсных автоматических выключателей серии А37 переменного тока напряжением до 380 В, частотой 50 Гц с электромагнитными и тепловыми расцепителями, применяемых в электроустановках жилых и общественных зданий.

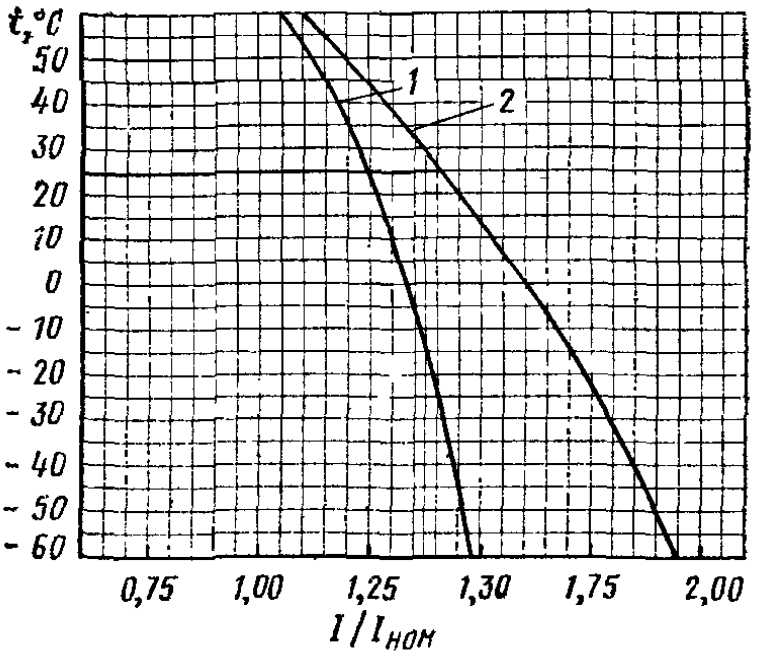



Рис. 10.3. Зависимость кратности тока срабатывания автоматических выключателей серии АЕ20 от температуры окружающей среды:

*1* — с температурной компенсацией; *2* — без температурной компенсации

Автоматические выключатели данной серии могут снабжаться дополнительно независимым расцепителем для дистанционного отключения, расцепителем минимального напряжения, отключающим выключатель при снижении напряжения до 30 % номинального, электромагнитным и ручными приводами и набором специальных контактов для работы в схемах управления.

Защитная характеристика выключателей серии А37 с тепловыми расцепителями с обратнозависимой от тока выдержкой времени приведена на рис. 10.4.

Кроме описанных выше следует отметить широко применяемые двух- и трехполюсные автоматические выключатели АП50 с электромагнитными и тепловыми расцепителями, регулируемыми в пределах $(0{,}6 \div 1) I_{ном}$ на номинальные токи 1,6; 2,5; 4; 6,4; 10; 16; 25; 40 и 50 А*, а также

* Могут иметь два исполнения: в пластмассовом корпусе или с дополнительным (по заказу) металлическим корпусом (степень защиты IP54).

автоматические выключатели серии АК-63, оборудованные электромагнитными или электромагнитными с гидравлическим замедлением расцепителями, все еще выпускаемые однополюсные автоматические выключатели АБ-25м с тепловыми расцепителями на номинальные токи 15, 20, 25 А, а также новые однополюсные автоматические выключатели АЕ1031 с комбинированными расцепителями 6, 10, 16, 25 А.

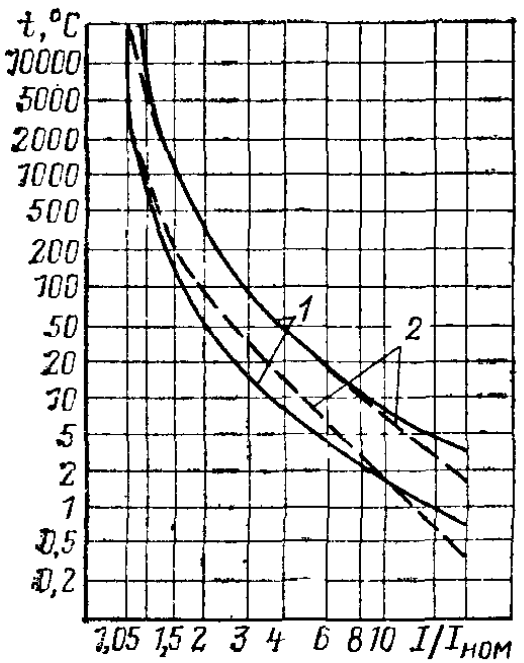



Рис. 10.4. Защитные характеристики тепловых расцепителей автоматического выключателя А-37 при трехполюсной (для трехполюсного выключателя) и двухполюсной (для двухполюсного выключателя) нагрузке и температуре окружающего воздуха 40 °С:

*1* — для выключателя I величины с тепловыми расцепителями на номинальный ток 100, 125 и 160 А переменного тока частотой 50 Гц; *2* — для выключателя II величины с тепловыми расцепителями на номинальный ток 160, 200 и 250 А переменного тока частотой 50 Гц

## 10.3. Выбор и размещение аппаратов защиты

Выбор аппаратов защиты производится с учетом следующих основных требований:

1. Напряжение и номинальный ток аппаратов должны соответствовать напряжению и расчетному длительному току цепи. Номинальные токи расцепителей автоматических и плавких вставок предохранителей нужно выбирать по возможности наименьшими по расчетным токам этих участков сети. Аппараты не должны отключать установку при перегрузках, возникающих в условиях нормальной эксплуатации, например при включении короткозамкнутого электродвигателя, одновременном включении группы ламп и т. п.

2. Аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение одно- и многофазных замыканий в сетях с глухозаземленной нейтралью (см. гл. 15).

3. Должна быть обеспечена по возможности селективность действия защиты.

Таблица 10.4. **Расчетные формулы для выбора аппаратов защиты в осветительных и силовых сетях**

| Аппарат защиты | Расчетные формулы | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Осветительные сети | | | Силовые сети | |
| | Лампы накаливания | Люминесцентные лампы | Лампы ДРЛ, ДРИ, ДНаТ | Линии к одиночным электроприемникам | Линии к группам электроприемников |
| Плавкая вставка предохранителя | $I_{вс} \geqslant I_{max}$ | $I_{вс} \geqslant I_{max}$ | $I_{вс} \geqslant 1{,}2\, I_{max}$ | $I_{вс} \geqslant I_{ном.э}$<br>$I_{вс} \geqslant I_{пуск}/\alpha$ | $I_{вс} \geqslant I_{max}$<br>$I_{вс} \geqslant \left(I'_{пуск} + I'_{max}\right)/\alpha$ |
| Тепловой расцепитель автоматического выключателя с нерегулируемой и регулируемой обратнозависимой от тока характеристикой с номинальным током расцепителя | $I_р \geqslant I_{max}$ | $I_р \geqslant I_{max}$ | $I_р \geqslant 1{,}3\, I_{max}$ | $I_р \geqslant 1{,}25\, I^{**}_{ном.э}$ | $I_р \geqslant 1{,}1\ I^{**}_{max}$ |
| Комбинированный расцепитель автоматического выключателя с нерегулируемой и регулируемой обратнозависимой от тока характеристикой с номинальным током расцепителя | $I_р \geqslant I^{*,**}_{max}$ | $I_р \geqslant I_{max}$ | $I_р \geqslant 1{,}3\, I_{max}$ | $I_р \geqslant 1{,}25\, I^{**}_{ном.э}$<br>$I_{уст.эо} \geqslant 1{,}2\ I_{пуск}$ | $I_р \geqslant 1{,}1\ I^{**}_{max}$<br>$I_{уст.эо} \geqslant 1{,}2\left(I'_{пуск} + I'_{max}\right)$ |

* Формула дана для автоматических выключателей с кратностью тока отсечки не менее 10.

** При установке автоматических выключателей в шкафу повышающие коэффициенты не вводятся, так как формулы справедливы для температуры окружающей среды 40 °С. Для линий к электроприемникам, не оборудованным электродвигателями, коэффициенты 1,25 и 1,1 не вводятся.

Примечание. Приведенные в таблице коэффициенты приняты с учетом апериодической составляющей пускового тока

С учетом указанных требований следует выбирать плавкие вставки предохранителей и расцепители автоматических выключателей по соотношениям, приведенным в табл. 10.4, которые приняты на основании каталожных данных и защитных характеристик.

В табл. 10.4 и далее приняты следующие обозначения: $I_{вс}$ — номинальный ток плавкой вставки предохранителя А; $I_р$ — номинальный ток теплового или комбинированного расцепителя, А; $I_{уст,э\,0}$ — ток уставки (срабатывания) электромагнитного расцепителя мгновенного действия, А; $I_{max}$ — расчетный ток нагрузки, А; $I_{ном,э}$ — номинальный ток электроприемника, А; $I_{пуск}$ — пусковой ток короткозамкнутого электродвигателя или другого электроприемника, А; $I'_{пуск}$ — наибольший пусковой ток одного электродвигателя в данной группе. При одновременном запуске группы электродвигателей — суммарный пусковой ток этой группы, А; $I'_{max}$ — расчетный ток остальных электродвигателей группы, работающих в длительном режиме, А; $\alpha$ — коэффициент, зависящий от условий и длительности пускового периода. Может приниматься равным 2,5 во всех случаях, за исключением линий к электродвигателям с длительностью пускового периода более 2—2,5 с (крупные вентиляторы с большими маховыми массами, лифты и т. д.); в этих случаях принимается $\alpha=1{,}6$.

**Тепловые элементы реле**, встраиваемых в магнитные пускатели, выбирают по формулам, приведенным в табл. 10.4 для автоматических выключателей с тепловыми расцепителями.

**Нормируемые величины.** Групповые линии сетей внутреннего освещения должны быть защищены предохранителями или автоматическими выключателями на ток не более 25 А. Исключением являются групповые линии, питающие газоразрядные лампы единичной мощностью 125 Вт и более или лампы накаливания 500 Вт и более, которые допускается защищать плавкими вставками предохранителей или расцепителями автоматических выключателей на ток до 63 А. Ток аппаратов защиты групповых линий, питающих лампы мощностью 10 кВт и более, должен соответствовать току лампы.

Для групповых линий, питающих осветительные и бытовые электроприемники квартир, плавкие вставки предохранителей или тепловые и комбинированные расцепители автоматических включателей для групповой осветительной сети должны быть 16 А, штепсельной сети — также 16 А

(при подключении кондиционера — 25 А); для самостоятельной группы питания бытовых машин до 4 кВт — 25 А, для группы питания электроплит до 5,8 кВт и до 8 кВт — соответственно 32 и 40 А; для линий от этажных щитков в газифицированных домах и домах с электроплитами до 5,8 кВт — 40 А, в домах с электроплитами от 5,9 до 8 кВт — 50 А.

*Выбор сечений проводов и кабелей* в соответствии с ПУЭ должен производиться наряду с выполнением других требований с соблюдением определенных соотношений между токами защитных аппаратов и допустимыми токами, т. е. пропускной способностью проводов и кабелей. В сетях, защищаемых от перегрузки, эти соотношения часто являются определяющими.

Условие сответствия номинальному току или току трогания (срабатывания) защитного аппарата $I_{з,а}$ выражается следующим образом:

$$I_{доп} \geqslant I_{з,а} K_з / K_п, \qquad (10.1)$$

где $K_э$ — кратность допустимого тока проводника по отношению к соответствующему току защитного аппарата; $K_п$ — поправочный коэффициент на температуру окружающей среды.

Наименьшие значения $K_з$, установленные ПУЭ [20], приведены в табл. 10.5.

Как сказано выше, выбранные защитные аппараты и сечения проводов должны отвечать еще одному требованию: *должно быть обеспечено надежное срабатывание защиты при коротких замыканиях в конце линии* (см. гл. 15). Однако при обеспечении соотношений, указанных в табл. 10.5, в сетях, защищаемых только от КЗ, т. е. не требующих защиты от перегрузки, расчетная проверка кратностей токов КЗ может не производиться.

*При размещении аппаратов защиты* в электрической сети необходимо руководствоваться следующими указаниями ПУЭ и строительных норм СН 543—82, СН 544—82:

1. Аппараты защиты должны располагаться в местах, по возможности доступных для обслуживания, и таким образом, чтобы была исключена возможность их механических повреждений. Доступ к аппаратам защиты с открытыми токоведущими частями разрешается только квалифицированному персоналу. Установка должна выполняться так, чтобы исключить при работе с ней опасность для обслуживающего персонала или для окружающих предметов.

Таблица 10.5. **Наименьшие значения коэффициента $K_з$ при защите сетей предохранителями и автоматическими выключателями**

| Характеристика сети | Аппараты | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Предохранители $K_э \leqslant I_{доп} K_п / I_{вс}$ | Автоматические выключатели, имеющие расцепители | | |
| | | тепловой или комбинированный с нерегулируемой обратнозависимой от тока характеристикой $K_э \leqslant I_{доп} K_п / I_р$ | тепловой или комбинированный с регулируемой обратнозависимой от тока характеристикой $K_э \leqslant I_{доп} K_п / I_{ср}$ | электромагнитный мгновенного действия (отсечка) $K_э \leqslant I_{доп} K_п / I_{уст.эо}$ |
| Сети, защищаемые только от коротких замыканий | 0,33 | 1 | 0,8 | 0,22 |
| Сети, защищаемые от перегрузок: | | | | |
| а) провода с поливинилхлоридной, резиновой или аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией | 1,25 | 1* | 1 | 1,25 |
| б) кабели с бумажной изоляцией | 1 | 1 | 0,8** | 1 |

Примечания: 1. У автоматических выключателей, имеющих одновременно тепловой и электромагнитный расцепители, $K_з$ проверяется только для теплового расцепителя (регулируемого и нерегулируемого).

2. Сечения проводов и кабелей для ответвлений к короткозамкнутым электродвигателям в сетях, проложенных в невзрывоопасных помещениях и защищаемых от перегрузки, выбираются по номинальным токам электродвигателей (во взрывоопасных — 125 % $I_{ном}$).

3. Если требуемая допустимая токовая нагрузка проводника, определенная по таблице, не совпадает с данными таблиц допустимых нагрузок по ПУЭ (табл. 9.5), то допускается применение проводника ближайшего меньшего сечения. Однако при этом допустимый ток проводника не должен быть меньше расчетного тока линии.

4. Ток срабатывания (трогания) может определяться по формуле $I_{ср} = 1{,}25 I_р$.

* Для проводников всех марок.

** Для кабелей с бумажной изоляцией и с изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

2. Аппараты защиты следует устанавливать во всех точках сети, где сечение проводников уменьшается по направлению к местам потребления электроэнергии.

3. Предохранители и автоматические выключатели должны устанавливаться на всех нормально незаземленных фазах. Установка аппаратов в нулевых проводах, в том числе в двухпроводных группах, не требуется. Исключение составляют сети во взрывоопасных помещениях класса В-I, где аппараты защиты устанавливаются в фазном и нулевом проводах. В этих помещениях для зануления прокладывается самостоятельный проводник.

4. На квартирных групповых щитках аппараты защиты (предохранители и автоматические выключатели) должны устанавливаться только в фазных проводах. Перед счетчиком устанавливается двухполюсный выключатель, отключающий не только фазный, но и рабочий нулевой провод ввода в квартиру; ГОСТ допускает устанавливать один такой выключатель на две или четыре квартиры, что связано с конъюнктурными соображениями, но ухудшает условия эксплуатации.

5. *Установка аппаратов защиты в нулевых проводах, используемых для зануления, запрещается.*

6. При использовании проводнков с негорючей оболочкой или при прокладке их в трубах, а также при условии, что сечение проводников между питающей линией и защитным аппаратом взято не менее чем после защитного аппарата, допускается устанавливать аппараты защиты на расстоянии до 6 м от питающей линии. Открытая прокладка проводников на этом участке допускается только в непожароопасных помещениях по несгораемым поверхностям. Для ответвлений, выполненных проводниками в трубах или проводниками с негорючей оболочкой, прокладываемыми в труднодоступных местах (например, на большой высоте), длина незащищенного участка может быть до 30 м, при этом сечение проводов должно быть принято по расчетному току, но не менее 10 % пропускной способности защищенного участка линии.

7. Если это признано целесообразным по условиям эксплуатации, допускается также 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, сечения которых приняты

не менее половины сечений защищенных участков; б) на ответвлениях от питающей линии проводников цепей измерения, управления и сигнализации, если эти проводники не выходят за пределы соответствующих машин и щитов либо эти проводники выходят за их пределы, но проложены в трубах или имеют негорючую оболочку; в) на ответвлениях проводников от шин щита к аппаратам, установленным на том же щите; при этом проводники должны выбираться по расчетному току цепи.

8. Установка аппаратов защиты запрещена в цепях управления и сигнализации, отключение которых может повлечь за собой опасные последствия (например, отключение пожарных насосов, аварийных вентиляторов и т. д.). Такие цепи следует выполнять проводниками с негорючей оболочкой или прокладывать в трубах.

9. Допускается устройство защиты различных участков одной сети предохранителями и автоматическими выключателями. При этом рекомендуется устанавливать предохранители на головных участках сети. Выбор аппаратов производится по их защитным характеристикам.

## Глава одиннадцатая

# РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО ОТКЛОНЕНИЯМ И ПОТЕРЯМ НАПРЯЖЕНИЯ

### 11.1. Отклонения напряжения

Отклонения напряжения являются одним из основных критериев качества электроэнергии. В связи с изменением нагрузки в течение суток изменяются и отклонения напряжения, которые могут быть отрицательными в часы максимальных нагрузок и положительными в часы минимума, как правило, в ночное время.

Отклонения напряжения в процентах номинального напряжения на зажимах электроприемников выражаются формулой

$$V = (U_{эп} - U_{ном})100/U_{ном}, \qquad (11.1)$$

где $U_{эп}$ — напряжение на зажимах электроприемника, В; $U_{ном}$ — номинальное напряжение сети, В.

В соответствии с ГОСТ 13109—67* установлены предельные отклонения напряжения у потребителей:

| Потребители | Предельно допустимое отклонение напряжения, % |
|---|---|
| Освещение жилых зданий | ±5 |
| Рабочее освещение общественных зданий и помещений, в том числе встроенных в жилые дома (коммунально-бытовые предприятия, магазины и т. п.) | От +5 до —2,5 |
| Эвакуационное и аварийное освещение помещений, указанных в п. 2 | ±5 |
| Электродвигатели при длительной работе в установившемся режиме | ±5 |
| Электродвигатели (отдельные) особо удаленные | —10 |
| Освещение в аварийном режиме | —12 |
| Электроплиты в квартирах, водонагреватели, кондиционеры и т. п. (по ГОСТ и техническим условиям на эти приборы) | ±10 |
| На зажимах пускаемого электродвигателя: | |
| при частых пусках | —10* |
| при редких пусках | —15* |
| кратковременная работа в установившемся режиме (например, во время пуска присоединенного к той же сети электродвигателя) | —20* |
| Домашние холодильники, морозильники | От +10 до —15 |

* Приведенные отклонения напряжения могут быть увеличены в зависимости от начального момента приводимого механизма, пускового и максимального моментов электродвигателей (приводятся в каталогах), если это подтверждается специальным расчетом (см. гл. 12).

## 11.2. Регулирование напряжения

В электрических системах согласно действующим ПУЭ должно осуществляться встречное регулирование напряжения на шинах питающих подстанций 35 кВ и выше в пределах 0—5 % номинального напряжения. Применяются также достаточно широко силовые трансформаторы с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой со значительным диапазоном регулирования в пределах 15—20 %. Однако в большинстве случаев процесс регулирования осуществляется в соответствии с графиком нагрузки энергосистем, отличающимся вследствие высокого удельного веса промышленных, транспортных и других потребителей от графика коммунально-бытовых нагрузок.

В результате этого поддержание напряжения на зажимах электроприемников общественных и особенно жилых зданий в пределах, близких к номинальному, без специальных средств местного регулирования в различное время суток крайне затруднительно. Существует ряд специальных технических средств для регулирования напряжения, таких как конденсаторы продольной и поперечной компенсации, синхронные электродвигатели, вольтодобавочные трансформаторы и т. д., однако регулирование напряжения в распределительных сетях городского типа среднего и низкого напряжения до настоящего времени, как правило, не производится.

Определенную положительную роль играют сезонные переключения витков обмотки высшего напряжения силовых трансформаторов городских подстанций 10/0,4 кВ в пределах $\pm 2 \cdot 2{,}5\%$, однако эти переключения, естественно, не могут влиять на резкие повышения напряжения, например, в ночное время, когда электрические нагрузки в сети становятся минимальными, и именно в этот период вследствие повышения напряжения сверх номинального имеет место резкое старение ламп накаливания общедомового освещения и т. п. Следует отметить, что переход на освещение лестниц и коридоров с помощью менее чувствительных к изменениям напряжения люминесцентных и вообще газоразрядных ламп несколько улучшает положение. Вместе с тем в часы наибольших нагрузок требуется поддержание напряжения на уровне, близком к номинальному, что очень важно для большинства электроприемников, как силовых, так и осветительных.

Из изложенного вытекает известная неопределенность расчета сети по допустимым потерям напряжения и необходимость считаться с некоторой условностью такого расчета. Конечно, это не исключает важности расчета сети по данному параметру, без которого обеспечить нормальную работу сети, особенно в период пиковых нагрузок, не представляется возможным. В соответствии с указаниями ПУЭ при определении допустимой потери напряжения принимается, что на зажимах высшего напряжения (6—10 кВ) трансформаторов подстанций городского типа напряжение в период максимума равно номинальному и что, следовательно, напряжение на стороне 0,4 кВ при холостом ходе трансформаторов в этот период составляет 1,05 $U_{ном}$.

**Влияние изменения напряжения** сети по мере удаления от центра питания иллюстрирует график на рис. 11.1, по-

строенный для периода работы сети в часы наибольших нагрузок. Изменение напряжения в линии высокого напряжения *АБ* показывает характер уменьшения напряжения (отрезок *mn*) от центра питания до силового трансформатора $\Delta U_{АБ}$. Отрезок $nf = E_т$ показывает надбавку напряжения, обусловленную уставкой установленного на трансформаторе переключателя (ответвления) обмотки высшего

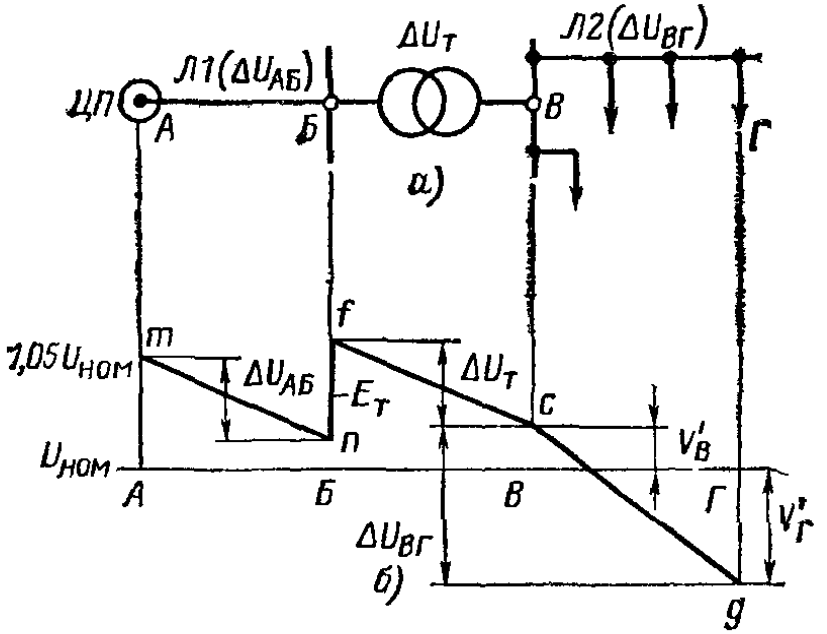



Рис. 11.1. Схема (*а*) и график (*б*) изменения напряжения в сети в период наибольшей нагрузки:

*Л1* — линия среднего напряжения; *Л2* — линия низкого напряжения

напряжения, а отрезок *fc* характеризует потери напряжения в самом трансформаторе $\Delta U_т$. Далее отрезок *cg* отражает потери напряжения в линии до условной точки *Г* $\Delta U_{ВГ}$ . Отклонения напряжения от $U_{ном}$ в точках *Г* и *В* изображены отрезками $Гg\,(V'_Г)$ и $cB\,(V'_В)$.

График построен при условии поддержания на центре питания напряжения на 5 % больше номинального, что имеет место на практике.

## 11.3. Допустимая (располагаемая) потеря напряжения

При расчете электрических сетей по потерям напряжения всегда возникает вопрос о допустимой (располагаемой) потере напряжения. Эта величина не является постоянной. Как уже отмечалось, напряжение холостого хода на шинах низкого напряжения трансформаторов принимаются равным 105 % номинального. Тогда общая потеря напряжения

в сети, В, до наиболее удаленного электроприемника, включая потерю напряжения в трансформаторе, составляет

$$\Delta U_{\text{с}} = U_{\text{х}} - \Delta U_{\text{т}} - U_{\text{уд.э}}, \qquad (11.2)$$

и с учетом вышесказанного, выражая все величины в процентах, получаем

$$\Delta U_{\text{с}} = 105 - \Delta U_{\text{т}} - U_{\text{уд.э}}. \qquad (11.3)$$

Потери напряжения в трансформаторе, %, могут быть определены с достаточной для практических целей точностью по следующей формуле:

$$\Delta U_{\text{т}} = \beta_S \, (u_a \cos\varphi + u_{\text{р}} \sin\varphi), \qquad (11.4)$$

где $\beta_S = I_{max}/I_{\text{ном,т}}$ — коэффициент загрузки трансформатора; $u_a = \Delta P_{\text{к}}/10 S_{\text{ном,т}}$ — активная составляющая напряжения КЗ, %; $\Delta P_{\text{к}}$ — потери мощности в обмотках трансформатора, Вт, принимаются по каталогу; $u_{\text{р}} = \sqrt{u_{\text{к}}^2 - u_{\text{а}}^2}$ — реактивная составляющая напряжения КЗ, %; $u_{\text{к}}$ — напряжение КЗ трансформатора, принимается по каталогу, %; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности нагрузки, подключенной ко вторичной цепи трансформатора; $S_{\text{ном,т}}$ — номинальная мощность трансформатора, кВ·А; $I_{\text{иом,т}}$ — номинальный ток трансформатора, А.

Задаваясь допустимым напряжением на зажимах электроприемников и пользуясь каталожными данными трансформаторов, можно составить таблицу допустимых (располагаемых) потерь напряжения при различных значениях $\cos\varphi$, которой удобно пользоваться при проектировании.

Таблица 11.1 составлена исходя из требуемой для сетей жилых зданий $U_{\text{уд,э}} = 95$ % номинального напряжения. Для определения допустимых потерь напряжения в осветительных сетях общественных зданий значения, указанные в табл. 11.1, следует уменьшать на 2,5 %.

Приведенные наибольшие допустимые (располагаемые) потери напряжения являются предельными и учитывают лишь требования ПУЭ о наибольших допустимых отклонениях напряжения на зажимах электроприемников от номинального. В ряде случаев эти предельные величины могут оказаться выше отвечающих наименьшим приведенным затратам, т. е. экономически выгодным и соответствующим оптимальным схемам сетей. При проектировании следует стремиться к выбору схем, близких к оптимальным, и соответственно к оптимальным значениям допустимых потерь

Таблица 11.1. **Наибольшие допустимые (располагаемые) потери напряжения от шин ТП до наиболее удаленного электроприемника в жилых зданиях**

| Мощность трансформатора, кВ·А | Коэффициент загрузки трансформатора | Располагаемые потери напряжения, %, для коэффициента мощности | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 0,95 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,5 |
| 160 | 1 | 8,34 | 7,12 | 6,71 | 6,21 | 5,88 | 5,85 | 5,53 |
| | 0,9 | 8,51 | 7,41 | 7,04 | 6,49 | 6,30 | 6,09 | 5,97 |
| | 0,8 | 8,67 | 7,70 | 7,37 | 6,97 | 6,71 | 6,52 | 6,43 |
| | 0,7 | 8,84 | 7,98 | 7,7 | 7,35 | 7,12 | 6,96 | 6,87 |
| | 0,6 | 9,01 | 8,27 | 8,03 | 7,73 | 7,53 | 7,39 | 7,32 |
| 250 | 1 | 8,52 | 7,27 | 6,84 | 6,31 | 5,94 | 5,71 | 5,57 |
| | 0,9 | 8,67 | 7,55 | 7,16 | 6,68 | 6,36 | 6,14 | 6,02 |
| | 0,8 | 8,82 | 7,82 | 7,47 | 7,05 | 6,75 | 6,57 | 6,46 |
| | 0,7 | 8,96 | 8,09 | 7,79 | 7,52 | 7,16 | 7 | 6,9 |
| | 0,6 | 9,11 | 8,36 | 8,11 | 7,79 | 7,57 | 7,44 | 7,35 |
| 400 | 1 | 8,63 | 7,37 | 6,93 | 6,37 | 5,99 | 5,76 | 5,60 |
| | 0,9 | 8,77 | 7,64 | 7,24 | 6,74 | 6,4 | 6,18 | 6,04 |
| | 0,8 | 8,9 | 7,89 | 7,6 | 7,09 | 6,79 | 6,61 | 6,48 |
| | 0,7 | 9,04 | 8,16 | 7,85 | 7,46 | 7,19 | 7,03 | 6,92 |
| | 0,6 | 9,18 | 8,42 | 8,16 | 7,82 | 7,60 | 7,46 | 7,36 |
| 630—1000 | 1 | 8,79 | 7,19 | 6,6 | 5,87 | 5,34 | 4,98 | 4,73 |
| | 0,9 | 8,91 | 7,48 | 6,94 | 6,29 | 5,81 | 5,49 | 5,26 |
| | 0,8 | 9,03 | 7,76 | 7,28 | 6,70 | 6,28 | 5,99 | 5,79 |
| | 0,7 | 9,15 | 8,03 | 7,62 | 7,12 | 6,74 | 6,49 | 6,31 |
| | 0,6 | 9,27 | 8,31 | 7,96 | 7,52 | 7,21 | 6,99 | 6,84 |

напряжения и их распределения по элементам сети (см. гл. 16).

В случаях, когда по конструктивным соображениям или из условий надежности электроснабжения и другим причинам принимаются схемы, отличающиеся от оптимальных, определяющими становятся величины, приведенные в табл. 11.1, которые при всех условиях не могут быть превышены. В сложных случаях целесообразно выполнять вариантные расчеты.

## 11.4. Активное и индуктивное сопротивление проводов

Активное сопротивление проводников из цветных металлов, Ом, определяется по формуле

$$r = L \cdot 10^{-3}/\gamma s, \qquad (11.5)$$

где $L$ — длина проводника км; $\gamma$ — удельная проводимость, может приниматься с учетом некоторого удлинения жил проводов за счет скрутки проволок, для алюминия 32 м/(Ом·мм²); $s$ — сечение провода, мм².

Значения активных сопротивлений 1 км алюминиевых проводов и кабелей $r_0$ в зависимости от сечения при $\theta = 20$ °С даны ниже:

| Сечения, мм² | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Активные сопротивления, Ом/км | 12,6 | 7,9 | 5,26 | 3,16 | 1,98 | 1,28 | 0,92 |

*Продолжение*

| Сечения, мм² | 50 | 70 | 95 | 120 | 150 | 185 | 240 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Активные сопротивления, Ом/км | 0,64 | 0,46 | 0,34 | 0,27 | 0,21 | 0,17 | 0,132 |

По предварительным данным, $r_0$ новых марок алюминиевых проводов можно принимать для сечений 2 мм² — 15,6, 3 мм² — 10,4, 5 мм² — 6,25, 8 мм²—3,9 Ом/км.

Для практических расчетов можно принимать следующие значения индуктивных сопротивлений $x_0$ проводов и кабелей.

При прокладке проводов в трубах и каналах строительных конструкций, на лотках пучками, а также бронированных и небронированных кабелей трехфазных, четырехпроводных линий для сечения до 6 мм²—0,1 Ом/км на фазу; то же до 16 мм² — 0,07—0,09 Ом/км; то же выше 16 мм² — 0,06 Ом/км; при прокладке проводов на роликах или изоляторах, а также при выполнении шинопроводами—0,2—0,25 Ом/км на фазу.

### 11.5. Определение потери напряжения с учетом активного и индуктивного сопротивлений проводов

Прежде чем перейти к изложению методов расчета потерь напряжения в сетях, целесообразно рассмотреть простейшую векторную диаграмму для линии с нагрузкой на конце.

Схема линии и отвечающая ей векторная диаграмма показаны на рис. 11.2. На диаграмме отрезок $Oc$ представляет собой вектор фазного напряжения $\dot{U}_{ф1}$ в начале линии, отрезок $Oa$—вектор фазного напряжения $\dot{U}_{ф2}$ в конце линии. Под углом $\varphi$ к нему отложен в некотором масштабе вектор тока нагрузки $\dot{I}$. Вектор тока отстает от вектора напряжения. Отрезок $ab$, параллельный вектору тока $\dot{I}$, равен активной составляющей падения напряжения в линии $Ir$.

От точки $b$ перпендикулярно вектору $\dot{I}r$ отложена индуктивная составляющая падения напряжения в линии $\dot{I}x$— отрезок $bc$.

Из треугольника $abc$ видно, что отрезок $ac$ представляет собой геометрическую сумму падений напряжения в активном и индуктивном сопротивлениях одной фазы линии, т. е. полное падение напряжения $\dot{I} \cdot z$, где $z = \sqrt{r^2 + x^2}$.

**Падение и потеря напряжения.** Для нормальной работы электроприемников важно абсолютное значение напряже-

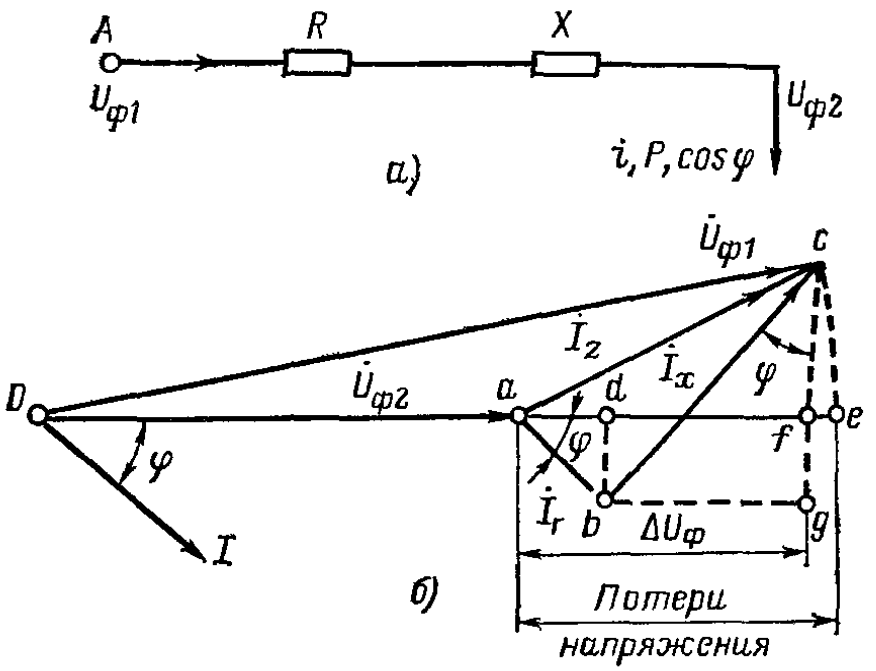



Рис. 11.2. Схема (*а*) и векторная диаграмма (*б*) линии трехфазного тока с нагрузкой на конце

ния. Поэтому расчетом опредляется не геометрическая разность напряжений в начале и конце линии, называемая *падением напряжения,* а алгебраическая разность (на диаграмме $ae = U_{ф1} - U_{ф2}$), которую называют *потерей напряжения.*

Для упрощения расчетов за потерю напряжения принимают не отрезок $ae$, а отрезок $af$, являющийся проекцией вектора падения напряжения $\dot{I} \cdot z$ на направление вектора напряжения в конце линии $\dot{U}_{ф2}$. Ошибка при указанном допущении не превосходит 2—3 %. Из векторной диаграммы легко вычисляется потеря напряжения $\Delta U_ф$, В:

$$\Delta U_ф = I (r \cos\varphi + x \sin\varphi). \qquad (11.6)$$

**Потеря напряжения при трехфазной нагрузке.** Теперь легко перейти от потери напряжения при однофазной на-

грузке к потере напряжения при трехфазной нагрузке, имея в виду, что линейная потеря напряжения, В

$$\Delta U = \sqrt{3}\,\Delta U_{\phi};$$

$$\Delta U = \sqrt{3}\,I\,(r\cos\varphi + x\sin\varphi).$$

Для практических расчетов удобнее пользоваться той же формулой, где потеря напряжения выражена в процентах и где используются табличные данные величин $r_0$ и $x_0$. Тогда формула принимает вид

$$\Delta U = \sqrt{3}\cdot 100 IL\,(r_0\cos\varphi + x_0\sin\varphi)/U_{\text{ном}}. \qquad (11.7)$$

Нагрузка на конце линии может быть задана не током, а мощностью. Тогда формула (11.7) принимает вид, %

$$\Delta U = 10^5\,PL\,(r_0 + x_0\,\mathrm{tg}\,\varphi)/U^2_{\text{ном}}, \qquad (11.8)$$

где $P$ — мощность, кВт; $L$ — длина линии, км.

Формулы (11.7) и (11.8) являются основными для расчетов трехфазных сетей по потере напряжения, учитывающих как активное, так и индуктивное сопротивление проводов. Ниже без выводов приведены формулы для определения потери напряжения в линии с несколькими нагрузками. Вывод этих формул, а также подробная методика выполнения расчетов приводятся в курсах электрических сетей [25].

Для нагрузок, приложенных в отдельных точках линии, %

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\cdot 100}{U_{\text{ном}}}\sum_1^n (i_{ma}\,r_0 + i_{mp}\,x_0)\,L_m; \qquad (11.9)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U^2_{\text{ном}}}\sum_1^n (p_m\,r_0 + q_m\,x_0)\,L_m; \qquad (11.10)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U^2_{\text{ном}}}\sum_1^n p_m\,(r_0 + x_0\,\mathrm{tg}\,\varphi_m)\,L_m. \qquad (11.11)$$

Для нагрузок на участках линии, %

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3}\cdot 100}{U_{\text{ном}}}\sum_1^n (I_{ma}\,r_0 + I_{mp}\,x_0)\,l_m; \qquad (11.12)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U^2_{\text{ном}}} \sum_1^n (P_m r_0 + Q_m x) l_m; \qquad (11.13)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U^2_{\text{ном}}} \sum_1^n P_m (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi'_m) l_m, \qquad (11.14)$$

где $i_{ma}$ — активная составляющая тока нагрузки, приложенной в точке $m$ линии, А; $i_{mp}$ — то же реактивная составляющая, А; $I_{ma}$—активная составляющая тока на участке $m$ линии, А; $I_{mp}$ — то же реактивная составляющая, А; $p_m$ — активная нагрузка, приложенная в точке $m$ линии, кВт; $q_m$—то же реактивная нагрузка, квар; $P_m$—активная нагрузка на участке $m$ линии, кВт; $Q_m$ — то же реактивная нагрузка, квар; $l_m$ — длина участка $m$ линии, км; $L_m$ — расстояние от точки питания до точки $m$ приложения нагрузки $p_m$, км; $\varphi_m$ — угол сдвига фаз нагрузки в точке $m$ линии; $\varphi'_m$ — угол сдвига фаз на участке $m$ линии.

Схема линии с несколькими нагрузками, поясняющая формулы, приведенные выше, показана на рис. 11.3.

В частном случае, наиболее характерном для сетей жилых зданий, когда нагрузки практически имеют один и тот же коэффициент мощности и одинаковые сечения на всех участках, формулы (11.11) и (11.14) упрощаются и принимают следующий вид, %:

$$\Delta U = \frac{10^5}{U^2_{\text{ном}}} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi) \sum_1 p_m L_m; \qquad (11.15)$$

$$\Delta U = \frac{10^5}{U^2_{\text{ном}}} (r_0 + x_0 \operatorname{tg} \varphi') \sum_1^n P_m l_m. \qquad (11.16)$$

По этим фомулам ведутся расчеты линий с любым числом нагрузок и учетом индуктивного сопротивления проводов. При небольших длинах участков произведения $Pl$ ($pL$) часто определяются в киловаттах на метр. Структура формул при этом не изменяется, но $r_0$ и $x_0$ принимаются в омах на метр (Ом/м).

## 11.6. Определение потери напряжения без учета индуктивного сопротивления проводов

В ряде случаев индуктивное сопротивление проводов можно не учитывать (табл. 11.2).

Расчет сетей значительно упрощается, если его проводят без учета индуктивного сопротивления. Для сетей жилых и общественных зданий это вполне обоснованно. Так

Таблица 11.2. **Наибольшие сечения алюминиевых проводов и значения коэффициентов мощности, при которых можно не учитывать индуктивные сопротивления проводов при расчетах трехфазной сети 380 В**

| Вид проводки | Сечение проводов, мм² при коэффициенте мощности | | |
|---|---|---|---|
| | 0,9 | 0,8 | 0,7 |
| Провода алюминиевые, проложенные в трубах, каналах, на лотках пучками, а также кабели | 70 | 50 | 25 |
| Провода, проложенные на роликах и изоляторах . . . . | 25 | 16 | 10 |

как расчеты ведутся для периода наибольших нагрузок, когда коэффициенты мощности высоки и достигают значений в осветительных сетях и сетях питания квартир, силовых потребителей общественных зданий (кроме лифтов) 0,9 и даже 0,95. Кроме того, при проводках в каналах и трубах индуктивные сопротивления проводов малы. При этом расчетная формула для потерь напряжения, %, принимает вид

$$\Delta U = \frac{10^5 r_0}{U^2_{\text{ном}}} \sum_1^n P_m l_m. \qquad (11.17)$$

Имея в виду, что активное сопротивление 1 м проводника равно

$$r_0 = \frac{1}{\gamma s},$$

можно написать

$$\Delta U = \frac{10^5}{U^2_{\text{ном}} \gamma s} \sum_1^n P_m l_m. \qquad (11.18)$$

Обозначим далее величину $U^2_{ном}\,\gamma/10^5$, зависящую только от материала проводов и напряжения сети, через С. Формула примет вид

$$\Delta U = \left(\sum_1^n P_m l_m\right) \Big/ Cs. \qquad (11.19)$$

При заданном $\Delta U$ из формулы (11.19) легко получить значение требуемого сечения проводов из условий допустимых потерь напряжения

$$s = \frac{\sum_1^n P_m l_m}{C\Delta U} \qquad (11.20)$$

Для двухфазных и однофазных линий можно вывести аналогичные формулы, в которых изменяться будут лишь величины $C$ (табл. 11.3).

В расчетных формулах для определения потери напряжения величины $Pl(pL)$, $\Sigma Pl(\Sigma pL)$ называют моментом нагрузки или суммой моментов нагрузок и часто обозначают буквой $M$ или $\Sigma M$, кВт·м. При нескольких сосредоточенных нагрузках или если участок линии имеет равномерно распределенную по длине нагрузку, можно сумму моментов заменить моментом одной нагрузки с длиной линии, равной *приведенной* длине. Так, например, если на участках линии

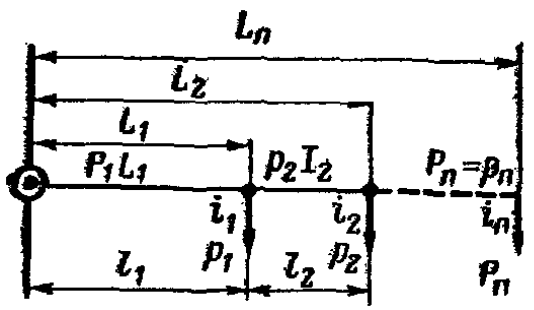



Рис. 11.3. Схема линии с несколькими нагрузками

Таблица 11.3. Коэффициенты $C$ для алюминиевых проводов

| Номинальное напряжение сети, В | Схема сети | Коэффициент $C$ |
|---|---|---|
| 380/220 | Трехфазная с нулевым проводом | 46 |
| 380/220 | Двухфазная с нулевым проводом | 20 |
| 220 | Однофазная двухпроводная | 7,7 |
| 3×36 | Трехфазная без нуля | 0,4 |
| 36 | Однофазная двухпроводная | 0,21 |
| 24 | То же | 0,09 |
| 12 | » » | 0,023 |

длиной $l_1$, $l_2$, $l_3$ нагрузки соответственно равны $P_1$, $P_2$ и $P_3$, то

$$P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3 = (P_1 + P_2 + P_3) l_{\text{прив}},$$

откуда

$$l_{\text{прив}} = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3}{P_1 + P_2 + P_3}. \qquad (11.21)$$

В частности, для нагрузки, равномерно распределенной по длине линии, м,

$$l_{\text{прив}} = l_0 + l/2, \qquad (11.22)$$

где $l_0$ — расстояние от пункта питания до первой нагрузки, м; $l$ — длина участка с равномерно распределенной нагрузкой, м.

В справочниках даются вычисленные значения потерь напряжения по моментам нагрузки, упрощающие расчеты сети.

## 11.7. Расчет сети по потерям напряжения при неравномерной нагрузке фаз

Электрические сети жилых и общественных зданий характеризуются неравномерной нагрузкой фаз даже при правильном распределении электроприемников по фазам, что определяется случайным характером нагрузок. Неравномерная нагрузка фаз смещает нулевую точку сети, вызывает появление тока в нулевом проводе, который достигает в жилых домах 40—50 % тока в фазном проводе. Потерн напряжения в такой сети неодинаковы по фазам, в связи с чем может возникнуть необходимость в проверке режимов напряжений в каждой фазе.

Потери напряжения в каждой из фаз, %, могут определяться по формуле (например для фазы $A$)

$$\Delta U_A = \frac{M_A}{2C_2 s_A} + \frac{M_A - 0{,}5(M_B + M_C)}{2C_2 s_0}, \qquad (11.23)$$

где $M_A$ — момент нагрузки рассматриваемой фазы А, кВт·м; $M_B$ и $M_C$ — моменты нагрузки двух других фаз, кВт·м; $s_A$ — сечение провода рассматриваемой фазы, мм²; $s_0$ — сечение нулевого провода, мм²; $C_2$ — коэффициент формулы (11.20) для двухпроводной линии по табл. 11.3 (для алюминия при $U_\Phi$=220 В $C_2$=7,7).

Первый член формулы дает потери напряжения в фазном, второй — в нулевом проводе. Формула (11.23) предусматривает включение электроприемников на фазное на-

пряжение. Однако в некоторых случаях возможно включение электроприемников (например, мощных металлогалогенных ламп, рентгеновских аппаратов, прожекторов и т. п.) на линейное напряжение. При существенной неравномерности нагрузки необходимо определить токи и сечения проводников отдельно для каждой фазы. Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение можно воспользоваться следующими выражениями для определения линейных токов $I_A$, $I_B$, $I_C$, которые зависят от порядка следования фаз ($A$—$B$—$C$ или $C$—$B$—$A$) [28].

При прямом следовании фаз

$$I_A = \sqrt{I_{AB}^2 + I_{CA}^2 + 2I_{AB}I_{CA}\sin(\varphi_{AB} - \varphi_{CA} + 30°)}; \quad (11.24)$$

$$I_B = \sqrt{I_{BC}^2 + I_{AB}^2 + 2I_{BC}I_{AB}\sin(\varphi_{BC} - \varphi_{AB} + 30°)}; \quad (11.25)$$

$$I_C = \sqrt{I_{CA}^2 + I_{BC}^2 + 2I_{CA}I_{BC}\sin(\varphi_{CA} - \varphi_{BC} + 30°)}. \quad (11.26)$$

При обратном чередовании фаз в каждой из формул (11.24), (11.25) и (11.26) необходимо поменять индексы углов ($AB$ на $CA$, $BC$ на $AB$, $CA$ на $BC$). Ввиду того что при проектировании порядок чередования фаз неизвестен, определяют линейные токи для обоих вариантов следования фаз.

Эта задача может быть решена с использованием символического метода и преобразованием звезды в треугольник и обратно.

## 11.8. Расчет проводов по наименьшему расходу цветного металла

При расчете линии, имеющей ответвления, при заданной общей потере напряжения возникает вопрос, как распределить заданную потерю напряжения между участками линии. Здесь возможны различные решения, однако всегда есть оптимальное, при котором обеспечивается наименьший расход цветного металла проводов. Теоретически эта задача решается путем составления уравнения, связывающего объем металла всех проводов линии с параметрами линии, в том числе с переменной потерей напряжения на одном из участков.

Если взять первую производную объема металла по этой переменной и приравнять ее нулю, можно получить значение сечения этого участка, отвечающее наименьшему

Таблица 11.4. **Коэффициенты приведения моментов**

| Линия | Ответвление | Коэффициент приведения момента |
|---|---|---|
| Трехфазная с нулевым проводом | Однофазное | 1,85 |
| То же | Двухфазное с нулевым проводом | 1,39 |
| Двухфазная с нулевым проводом | Однофазное | 1,33 |
| Трехфазная без нулевого провода | Двухфазное (двухпроводное) | 1,15 |

расходу цветного металла проводов. Однако этот метод весьма трудоемок и практически распространения в проектировании не получил. С достаточной точностью можно при определении сечения проводов каждого участка, мм², пользоваться приближенной формулой

$$s = \frac{M_{\text{прив}}}{C\Delta U}, \qquad (11.27)$$

где $M_{\text{прив}} = \Sigma M + \Sigma \alpha m$ — приведенный момент нагрузки, кВт·м; $\Sigma M$ — сумма моментов нагрузки данного и всех последующих по направлению потока энергии участков (включая ответвления с тем же числом проводов в линии, что и данный участок); $\Sigma \alpha m$ — сумма моментов нагрузки всех последующих по направлению потока энергии участков с другим числом проводов, умноженных на коэффициент приведения моментов $\alpha$, принимаемый по табл. 11.4.

Распределение допустимых потерь напряжения по участкам сети целесообразно производить по условиям наибольшей экономичности (по наименьшим расчетным затратам). Эти вопросы рассматриваются в гл. 16. Во многих случаях условие экономии цветных металлов не соответствует минимальным расчетным затратам, однако вопросы экономии цветных металлов все еще являются актуальными, поэтому расчет сети по наименьшему расходу цветного металла следует считать целесообразным.

## 11.9. Расчет простой замкнутой сети

В ряде случаев при выборе схем питающих линий квартир либо внутриквартирной групповой сети целесообразно применять простые замкнутые сети. Расчет такой сети мо-

жет выполняться, как обычной разомкнутой, если предварительно определить точку токораздела. Простая замкнутая сеть с несколькими сосредоточенными нагрузками и однородным сечением представлена на рис. 11.4.

Мощность, кВт, (или ток), передаваемая по линии от источника $A$, может быть определена по формуле

$$P_A = \frac{p_1 L_1 + p_2 L_2 + p_3 L_3}{L_4}. \qquad (11.28)$$

Расчетом определяется точка, нагрузка которой питается от двух источников (зачерненный треугольник на рис. 11.4). Эта точка называется точкой токораздела. Сумма составляющих нагрузки от источников питания $A$ и $Б$ равна $P_A + P_Б = p_1 + p_2 + p_3$.

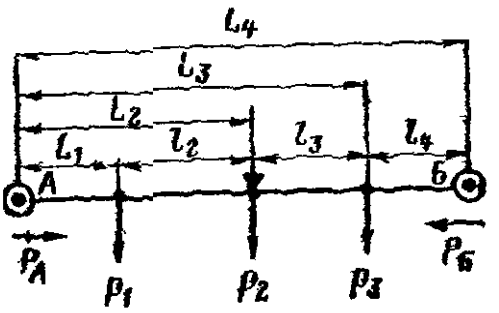



Рис. 11.4. Схема простой замкнутой сети

После определения точки токораздела замкнутая линия условно разрезается в этой точке и дальнейший расчет ведется, как для двух разомкнутых линий.

С принципиальной точки зрения выполнение расчета замкнутой внутридомовой сети осложняется тем обстоятельством, что из-за перетекания токов по участкам сети задача становится неопределенной, поскольку число квартир, участвующих в создании нагрузки на данном участке, неизвестно. Точное решение задачи возможно лишь при применении специальных методов. Использование их требует трудоемких расчетов, выполнение которых наиболее целесообразно на электронной вычислительной машине. Тем не менее изложенная методика расчета при простой замкнутой сети дает приближенные, но возможные для использования результаты, позволяющие оценить преимущества замкнутой сети.

### 11.10. Особенности трехфазных четырехпроводных сетей освещения с газоразрядными лампами

Как известно, нелинейность характеристик люминесцентных, ртутных и других газоразрядных ламп, а также наличие в их цепи элементов индуктивности и емкости вызывают появление высших гармонических составляющих тока, существенно изменяющих нагрузку нулевого провода

даже при равномерной нагрузке фаз. Исследования показали, что ток в нулевом проводе может достигать значений, близких к значению тока в фазном проводе. При коэффициенте мощности примерно 0,95, обусловленном применением светильников с компенсацией $\cos\varphi$, что обязательно для жилых и общественных зданий, ток в нулевом проводе достигает 85—87 % фазного. Вместе с тем надо учитывать, что частота переменного тока в нулевом проводе равна трехкратной частоте тока в фазных проводах, т. е. 150 Гц.

Математический анализ вопроса с точным учетом всех факторов весьма сложен. В связи с этим [26, 27] были предприняты попытки рассмотреть вопрос о потерях напряжения в таких сетях с учетом ряда допущений, приемлемых для практических целей: а) предполагается, что форма кривой тока близка к трапецеидальной; б) составляющие тока выше третьей гармоники не учитываются; в) напряжение в конце линии принято синусоидальным, что близко к действительности. Мгновенные значения фазных напряжений в конце линии, В, могут быть выражены следующим образом

$$u_{к1} = \sqrt{2}\,U_к \sin\omega t;$$

$$u_{к2} = \sqrt{2}\,U_к \sin(\omega t - 120°);$$

$$u_{к3} = \sqrt{2}\,U_к \sin(\omega t - 240°),$$

где $U_к$ — действующее значение фазного напряжения в конце линии В.

Мгновенное значение фазного напряжения в начале линии определяется как сумма мгновенных значений напряжения в конце линии и падений напряжения, вызываемых токами первой и третьей гармоник. При этом учтем, что в нулевом проводе протекает сумма токов высших гармоник, кратных трем, и взаимно уничтожаются все высшие гармонические, сдвинутые на 120 и 240 °.

С учетом сказанного мгновенное значение напряжения первой фазы в начале линии, В, при одинаковых сечениях фазных и нулевого проводников может быть выражено уравнением

$$u_{н1} = U_к\sqrt{2}\sin\omega t + a_1 I\sqrt{2}\,r\sin(\omega t - \varphi) +$$
$$+ a_1 I\sqrt{2}\,x\cos(\omega t - \varphi) + a_3 I\sqrt{2}\,r\sin(3\omega t - \varphi_3) +$$
$$+ a_3 I\sqrt{2}\,3x\cos(3\omega t - \varphi_3) + 3a_3 I\sqrt{2}\,r \times$$
$$\times \sin(3\omega t - \varphi_3) + 3a_3 I\sqrt{2}\,3x\cos(3\omega t - \varphi_3),$$

где $a_1$ — коэффициент амплитуды первой гармоники; $a_3$ — то же третьей гармоники; $\varphi$ — угол сдвига фаз между током и напряжением на нагрузке, принимаемый равным сдвигу фаз первой гармоники; $\varphi_3$ — угол сдвига фаз третьей гармоники.

После соответствующих преобразований и определения коэффициентов $a_3=0{,}33$ (предполагая, что ток в нулевом проводе равен фазному) и $a_1=\sqrt{1-a_3^2}=0{,}94$, а также переходя к действующим значениям, получили формулу для напряжения в конце линии, В

$$U_н=\sqrt{U_н^2+0{,}88I^2(r\cos\varphi+x\sin\varphi)^2-2{,}64I^2r^2-16{,}72I^2x^2}-$$
$$-0{,}94I(r\cos\varphi+x\sin\varphi). \qquad (11.29)$$

Потеря напряжения, В, легко определяется как разность напряжений в начале и конце линии

$$\Delta U=U_н-U_к, \qquad (11.30)$$

и в процентах

$$\Delta U=\frac{U_н-U_к}{U_н}100. \qquad (11.31)$$

Следует, однако, помнить, что линейная потеря напряжения в данном случае не может быть получена путем умножения $\Delta U$ на $\sqrt{3}$, так как в линейных напряжениях исчезают гармонические составляющие, кратные трем, но зато действуют все остальные нечетные гармоники.

В ряде случаев возможно применение некомпенсированных балластных устройств, при которых ток в нулевом проводе составляет около 50 % фазного, поэтому формула (11.29) будет иметь несколько иной вид, В:

$$U_к=\sqrt{U_н^2+0{,}96I^2(r\cos\varphi+x\sin\varphi)^2-1{,}44I^2r^2-5I^2x^2}-$$
$$-0{,}98I(r\cos\varphi+x\sin\varphi). \qquad (11.32)$$

Для проектиой практики важно знать, в каких случаях целесообразно вести расчеты потерь напряжения по относительно сложным выражениям (11.29) и (11.32). Для этой цели выражения (11.29) и (11.32) были несколько преобразованы, причем первые их части разложены в ряд и ограничены первыми двумя членами, вторые части сохранены без изменений. Это позволило вывести формулы предельных длин кабельных и воздушных линий, при которых

*Таблица 11.5.* **Предельные длины кабельных и воздушных линий до 1000 В, для которых расчеты потерь напряжения могут проводиться без учета высших гармонических тока**

| Сечение мм² | Ток нагрузки, А | Предельная длина кабельной линии, м | | Ток нагрузки, А | Предельная длина воздушной линии, м | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | cos φ=0,9 | cosφ=0,5 | | cos=0,9 | cosφ=0,5 |
| 4 | 38 | 116 | 76 | — | — | — |
| 6 | 46 | 143 | 98 | — | — | — |
| 10 | 65 | 170 | 116 | — | — | — |
| 16 | 90 | 198 | 140 | 105 | 154 | 139 |
| 25 | 115 | 250 | 180 | 135 | 157 | 181 |
| 35 | 135 | 286 | 225 | 170 | 136 | 197 |
| 50 | 165 | 321 | 277 | 215 | 106 | 199 |
| 70 | 200 | 342 | 332 | 265 | 78 | 183 |
| 95 | 240 | 340 | 386 | 320 | 57 | 155 |
| 120 | 270 | 327 | 434 | 375 | 43 | 151 |

ошибка по сравнению с расчетом по обычным формулам не превышает 10 % (табл. 11.5). Если приведенные длины превышают указанные в табл. 11.5, расчеты целесообразно вести по выражениям (11.29) и (11.32).

Приведенные в табл. 11.5 предельные длины при токах нагрузки $I$, отличающихся от максимально допустимых, должны быть пересчитаны в отношении $I_{доп}/I$.

Отметим в заключение, что высшие гармонические напряжения и тока увеличивают потери электроэнергии и сокращают срок службы изоляции. Вновь подчеркнем, что допустимые нагрузки проводов трехфазных линий, прокладываемых в каналах или трубах, принимаются и при равномерной нагрузке фаз, как для четырех проводов в одной трубе.

Следует также принимать схему соединений трансформаторов, питающих газоразрядные источники света (при удельном весе их нагрузки более 20 %, что бывает часто при питании общественных зданий), треугольник — звезда, а при использовании трехжильных кабелей с алюминиевой оболочкой принимать такие сечения, при которых пропускная способность оболочки, используемой в качестве рабочего нуля, не ниже расчетного тока линии. В некоторых случаях это может вызвать повышение сечения кабелей на ступень. Отметим, что вопросы влияния высших гармонических в осветительных сетях с газоразрядными

источниками света подлежат в дальнейшем глубокому изучению.

**Пример 11.1.** Определить потерю напряжения в конце трехфазной линии 380/220 В, проложенной в трубах, схема которой приведена на рис. 11.5 ($\cos\varphi=0{,}9$).

Решение. 1. Определяем активное сопротивление провода сечением 50 мм² (см. стр. 158)

$$r_0 = 0{,}64 \text{ Ом/км}.$$

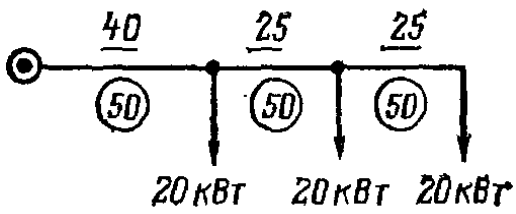



Рис. 11.5. Схема к примеру 11.1. Подчеркнутые цифры — длина, м; в кружках — сечения проводников, мм²

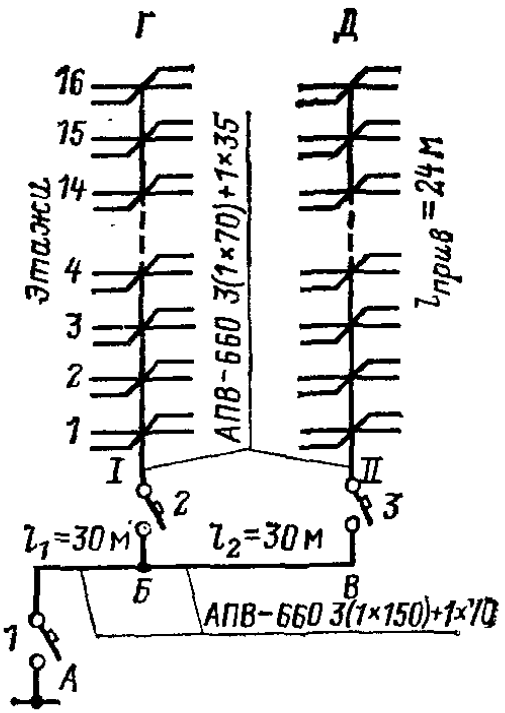



Рис. 11.6. Схема к примеру 11.2.

Индуктивное сопротивление для сечений выше 16 мм² принимается $x_0=0{,}06$ Ом/км.

2. Определяем потерю напряжения по формуле (11.15)

$$\Delta U = \frac{10^5}{380^2}(0{,}64 + 0{,}06\cdot 0{,}48)\cdot(20\cdot 0{,}04 + 20\cdot 0{,}065 + 20\cdot 0{,}09) = 1{,}8\%.$$

3. Определяем потерю напряжения по формуле (11.16)

$$\Delta U = \frac{10^5}{380^2}(0{,}64 + 0{,}06\cdot 0{,}48)(60\cdot 0{,}04 + 40\cdot 0{,}025 + 20\cdot 0{,}025) = 1{,}8\%.$$

Результаты расчетов по формулам (11.15) и (11.16) совершенно одинаковые.

**Пример 11.2.** Выполнить расчет питающей четырехпроводной линии в 16-этажном жилом доме. Дом оборудован стационарными электрическими плитами установленной мощностью 5,8 кВт. Напряжение сети 380/220 В; допустимую потерю напряжения в линии принять 2,3 %. Защиту линии и стояков выполнить автоматическими выключателями с комбинированными расцепителями. На каждом этаже по четыре квартиры общей площадью по 45 м² каждая. Остальные исход-

ные данные приведены на рис. 11.6. Провода проложены в трубах и каналах строительных конструкций.

Решение. 1. Определяем расчетную нагрузку на стояке. Для этого, пользуясь данными табл. 3.1, принимаем удельную нагрузку квартиры при общем количестве квартир 64, присоединенных к стояку, $P_{уд} = 1{,}3$ кВт/квартира. Эта же нагрузка будет на участке *БВ*. При этом учитываем, что для квартир площадью до 55 м² надбавка к удельной нагрузке не производится. Следовательно, $P_{БГ} = P_{ВД} = 1{,}3 \cdot 64 = 83{,}2$ кВт.

2. Определяем расчетную нагрузку на участке *АБ* (128 квартир). На основании табл. 3.1 с интерполяцией $P_{уд} = 1{,}04$ кВт/квартира. Таким образом, $P_{АБ} = 1{,}04 \cdot 128 = 133$ кВт.

3. Определяем расчетные токи, принимая $\cos\varphi = 0{,}98$ в соответствии с указаниями, приведенными в табл. 3.3,

$$I_{ВГ} = I_{ВД} = \frac{83{,}2 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}98} = 129 \text{ А};$$

$$I_{АБ} = \frac{133 \cdot 10^3}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 0{,}98} = 206 \text{ А}$$

4. В соответствии с условием принимаем автоматические выключатели с комбинированными расцепителями серии А37 (см. табл. 10.3). Для выключателей *2* и *3* $I_{авт} \geqslant I_{max}$ или $I_{авт} \geqslant 129$ А. Принимаем трехполюсный автоматический выключатель типа А3716ФУ3 на номинальный ток 160 А с расцепителем $I_р = 160$ А.

Для выключателя *1* $I_{авт} \geqslant 206$ А. Прииимаем А3726ФУ3 на номинальный ток 250 А с расцепителем $I_р = 250$ А.

Прииятые номинальные токи расцепителя отличаются друг от друга на две ступени стандартной шкалы, что согласно время-токовым характеристикам этих аппаратов обеспечивает селективную работу защиты.

5. Выбираем предварительно сечения проводов по условиям допустимого нагрева. С этой целью, пользуясь ПУЭ, принимаем сечения стояков (участки *БГ* и *ВД*), выполненных проводами марки АПВ-660 сечением 50 мм² ($I_{доп} = 130$ А). Учитывая, что при сечениях более 25 мм² сечение нулевого провода может приниматься равным половине сечения фазного провода, сечение нулевого провода принимаем равным 25 мм². Поправки на температуру окружающей среды не вводим, поскольку температура в доме не превышает 25 °С.

6. Проверяем принятое сечение на соответствие характеристикам защитных аппаратов. По табл. 10.5 с учетом того, что данная линия защищается от перегрузки, следует, что $K_з = 1$, поэтому $I_{доп} = 160$ А.

По условию соответствия току защитного аппарата приходится принять сечение фазного провода 70 мм² ($I_{доп} = 165$ А) и сечение ну-

левого провода 35 мм². Записываем на схеме АПВ-660 3(1×70)+1×35.

7. Аналогично выбираем и проверяем сечение линии *АБ*:

а) по нагреву принимаем предварительно провода марки АПВ-660 3(1×120)+1×50, для которых $I_{доп}=220$ А;

б) $I_{доп}\geqslant 250$ А. И в данном случае по условию соответствия защитному аппарату приходится принять АПВ-660 3(1×150)+1×70 ($I_{доп}=255$ А).

8. Производим расчет линии по потере напряжения. Учитывая, что коэффициент мощности сети равен 0,98, расчет ведем без учета индуктивного сопротивления проводов.

Распределение допустимой потери напряжения между отдельными участками линии целесообразно производить из условий минимальных затрат цветного металла. Расчеты показали, что допустимая потеря напряжения должна быть принята с округлением на участке *АБ* — 1 % и на участке *БВД* — 1,3 %. Тогда

$$\Delta U_{АБ}=\frac{Pl}{Cs}=\frac{133\cdot 30}{46\cdot 150}=0{,}73\ \%;$$

$$\Delta U_{БВД}=\frac{83{,}2\cdot 30}{46\cdot 150}+\frac{83{,}2\cdot 24}{46\cdot 70}=0{,}96\ \%;$$

$$\Sigma\Delta U_{АД}=0{,}73+0{,}96=1{,}69\ \%,$$

т. е. меньше допустимого по условию примера значения 2,3 %;

$$\Delta U_{БГ}=\frac{83{,}2\cdot 24}{46\cdot 70}=0{,}6\ \%;$$

$$\Sigma\Delta U_{АГ}=0{,}73+0{,}6=1{,}33\ \%.$$

По результатам расчетов видно, что определяющим фактором при выборе сечений проводов в данном случае оказались требования по соотношениям допустимых токовых нагрузок и номинальных токов расцепителей автоматических выключателей.

Пользуясь допущением ПУЭ (см. табл. 10.5), можно было бы сохранить сечения 50 и 120 мм², поскольку допустимые токи этих сечений больше, чем токи нагрузки. Однако в сетях питания квартир, требующих защиты не только от КЗ, но и от перегрузки, как правило, этими допущениями не пользуются. При этом учитывается невозможность контроля токовой нагрузки в условиях жилого здания. Кроме того, реконструкция электросети в жилых зданиях обычно производится редко, поэтому удельные нагрузки могут со временем превысить установленные на перспективу. Нетрудно видеть, что столь значительное округление в меньшую сторону может привести к недопустимому перегреву жил проводов (см. гл. 9).

В данном примере, поскольку сеть защищается не только от КЗ, но и от перегрузки, должен быть выполнен расчет на срабатывание ап-

паратов защиты в конце линии при однофазных КЗ. Методика такого расчета приведена в гл. 15.

**Пример 11.3.** Определить сечение проводов, проложенных в трубе, и выбрать защитный аппарат на ответвлении к трехфазному короткозамкнутому электродвигателю мощностью 17 кВт.

Номинальный ток электродвигателя $I_{ном,э}=32{,}6$ А; кратность пускового тока $K_i=7$. Условия пуска легкие. Температура в помещении 25 °С. Линия подлежит защите только от КЗ.

Решение. 1. По условиям нагрева принимаем предварительно сечение $s=10$ мм² ($I_{доп}=47$ А); $I_{доп}>I_{ном,э}$.

2. Выбираем предохранители типа ПН-2 (см. табл. 10.1). Плавкие вставки выбираются по двум условиям (см. табл. 10.4).

$$I_{вс} \geqslant I_{ном,э} = 32{,}6 \text{ А};$$

$$I_{вс} = \frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{7 \cdot 32{,}6}{2{,}5} = 91 \text{ А}.$$

Принимаем предохранители ПН-2-100 с номинальным током плавкой вставки $I_{вс}=100$ А.

3. Проверяем принятое сечение на соответствие номинальному току плавкой вставки. Линия защищается только от КЗ (см. табл. 10.5)

$$I_{доп} = 0{,}33 I_{вс} = 0{,}33 \cdot 100 = 33 \text{А},$$

$$33 < 47 \text{ А}.$$

Таким образом, сохраняется сечение, выбранное из условий допустимого нагрева АПВ-660 3(1×10).

4. Для защиты ответвления к данному электродвигателю выберем трехполюсный автоматический выключатель серии АЕ20 (см. табл. 10.2). Принимаем номинальный ток теплового максимального расцепителя регулируемого автоматического выключателя по двум условиям (табл. 10.4):

$$I_р \geqslant 1{,}25 I_{ном,э} = 1{,}25 \cdot 32{,}6 = 41 \text{ А};$$

$$I_{уст,эо} \geqslant 1{,}2 I_{пуск} = 1{,}2 \cdot 7 \cdot 32{,}6 = 264 \text{ А}.$$

Принимаем по табл. 10.2 трехполюсный автоматический выключатель регулируемый с температурной компенсацией АЕ2046-10Р без дополнительных контактов и расцепителей на номинальный ток 63 А с номинальным током теплового расцепителя $I_р=50$ А и уставкой номинального тока расцепителя $0{,}9 \cdot 50=45$ А. Ток уставки электромагнитного расцепителя мгновенного действия $I_{уст,эо}$ данных автоматических выключателей составляет $12 I_р$ т. е. $12 \cdot 50=600>264$ А.

5. Проверяем принятое сечение на соответствие защитному аппарату. Для этого определяем ток срабатывания комбинированного расцепителя

$$I_{ср} = 1{,}25 \cdot I_р = 1{,}25 \cdot 45 = 56 \text{ А}.$$

Согласно табл. 10.5 при защите только от КЗ допустимый ток проводника должен быть

$$I_{\text{пов}} \geqslant 0{,}8 I_{\text{ср}} = 0{,}8 \cdot 56 = 44{,}8\ \text{А} < 47\text{А}.$$

Таким образом, определяющим является условие допустимого нагрева и сохраняется принятое сечение АПВ-660 3(1×10).

## Глава двенадцатая

# РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПО УСЛОВИЯМ ПУСКА КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Быстро протекающие процессы изменения (снижения и повышения) напряжения называются **колебаниями напряжения.**

Согласно ГОСТ 13109—67* «Нормы качества электрической энергии у ее электроприемников, присоединенных к электрическим сетям общего назначения» и новой редакции п. 2.1 данного документа (изменение № 2, введенное в действие с 1 августа 1979 г.) колебания напряжения оцениваются:

а) размахом изменений напряжения — разностью между следующими друг за другом экстремумами огибающей действующих значений напряжения. Если огибающая действующих значений напряжения имеет горизонтальные участки, то размах изменений напряжения отпределяется как разность между соседним экстремумом и горизонтальным участком или как разность между соседними горизонтальными участками, В

$$\delta U = U_{max} - U_{min},$$

или в процентах от $U_{\text{ном}}$

$$\delta U = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{\text{ном}}} 100;$$

б) частотой изменений напряжения

$$f = \frac{m}{t},$$

где $m$ — количество изменений напряжения со скоростью изменений более 1 % в секунду за время $t$;

в) интервалами ($\Delta t$) между следующими друг за другом изменениями напряжения, причем если интервалы времени между концом одного изменения и началом следу-

ющего происходят в том же направлении менее чем за 0,04 с, то эти изменения рассматриваются как одно.

Допустимые значения размахов напряжения, %, в зависимости от числа изменений напряжения на зажимах ламп накаливания приведены на рис. 12.1. Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт «Тяжпромэлектропроект» рекомендует пользоваться кривой рис. 12.1 и для газоразрядных ламп [30].

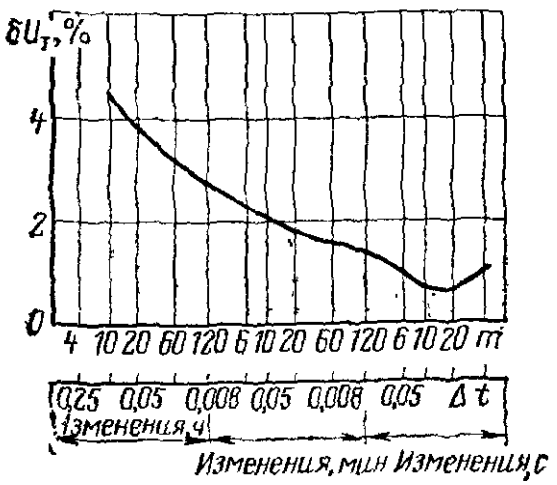



Рис. 12.1. Допустимые размахи изменений напряжения в зависимости от частоты изменений

Характерным примером таких изменений напряжения в сети является снижение напряжения, вызываемое пуском короткозамкнутого асинхронного электродвигателя, пусковой ток которого в 4—8 раз больше его номинального тока. Из-за этого в первый момент пуска в сети возникает резкое снижение напряжения, длящееся сравнительно малое время, затем по мере разгона двигателя и уменьшения пускового тока напряжение сиова повышается. Для лифтов можно принимать количество включений в час 60. При подключении к одной секции шин нескольких ($n$) лифтов число включений принимается $60n$.

При проектировании электрических сетей жилых н общественных зданий возможность совмещенного питания рабочего освещения и силовых электроприемников, в первую очередь лифтов, должна быть проверена расчетом[1]. Этим расчетом определяется как возможность прямого пуска двигателя, так и размахи изменений напряжения на шинах вводно-распределительного устройства здания, к которому помимо силовых электроприемников может быть присоединена осветительная нагрузка.

Методически расчет дополнительной потери напряжения, В, возникающей при пуске электродвигателя, основан на приближенной формуле

$$\Delta U_{д} = \sqrt{3}\, I_{пуск} (r \cos \varphi_{п} + x \sin \varphi_{п}), \qquad (12.1)$$

[1] Сеть эвакуационного и аварийного освещения присоединяется к силовой сети независимо от значения размахов изменений напряжения.

где $\cos\varphi_п$ — коэффициент мощности электродвигателя при пуске.

Если сеть состоит из участков, сопротивления которых $\sum_1^n r$ и $\sum_1^n x$, а сопротивления питающего трансформатора $r_т$ и $x_т$, то выражение в скобках правой части уравнения (12.1), обозначаемое через А, Ом, примет вид

$$A = \left(\sum_1^n r + r_т\right)\cos\varphi_п + \left(\sum_1^n x + x_т\right)\sin\varphi_п.$$

Если принять, что пусковой ток электродвигателя, $I'_{пуск}$, уменьшается практически пропорционально уменьшению напряжения на его зажимах

$$I'_{пуск} = I_{пуск} U_д / U_{ном} = K_i I_{ном,д} U_д / U_{ном}, \qquad (12.2)$$

где $U_д$ — напряжение на зажимах электродвигателя при его пуске, В; $K_i$ — кратность пускового тока (по каталогу)[1], $I_{ном,д}$ — номинальный ток электродвигателя (по каталогу), А, то формула (12.1) примет вид

$$\Delta U_д = \sqrt{3} K_i U_д I_{ном,д} A / U_{ном}. \qquad (12.3)$$

Напряжение на зажимах электродвигателя $U_д$ будет равно разности между напряжением холостого хода питающего трансформатора и полными потерями напряжения в сети, которые в свою очередь складываются из потери напряжения, вызванной нагрузкой до пуска электродвигателя, и дополнительной потери напряжения, вызванной пусковым током электродвигателя,

$$U_д = U_х - \Delta U_с - \Delta U_д = 1{,}05 U_{ном} - (\Delta U_с + \Delta U_д). \qquad (12.4)$$

Нетрудно показать, что с учетом сказанного формула (12.3) после подстановок и преобразований примет вид

$$\Delta U_д = \frac{173 K_i I_{ном,д} A (1{,}05 U_{ном} - \Delta U_с)}{U_{ном}(U_{ном} + \sqrt{3} K_i I_{ном,д} A)}, \qquad (12.5)$$

где $\Delta U_д$ выражена в процентах.

[1] Кратность пускового тока, принимаемая по каталогу, может быть несколько превышена за счет апериодической слагающей тока в течение первых двух-трех полупериодов, что имеет значение при выборе уставок аппаратов защиты, особенно для электродвигателей мощностью 50 кВт и более. При расчете размахов изменения напряжения апериодическая составляющая учитываться не должна.

Для большинства практических случаев формулу (12.5) можно упростить, если принять, что для режима максимальной расчетной нагрузки, $\Delta U_с$ составляет 0,08 $U_{ном}$. Тогда $\Delta U_д$, %, равна

$$\Delta U_д = \frac{167 K_i I_{ном.д} A}{U_{ном} + 1{,}73 K_i I_{ном.д} A}. \quad (12.6)$$

Для определения $A$ в формулах (12.5) и (12.6) нужно знать коэффициент мощности при пуске электродвигателя. Коэффициент мощности в первый момент после включения можно определять как среднее арифметическое из двух вычисленных значений по формулам (12.7) и (12.8).

$$\cos\varphi_п = \cos\varphi_{ном}\left[\frac{m_п}{(1 - s_{ном}) K_i} + \frac{1}{3} K_i (1 - \eta_{ном})\right]; \quad (12.7)$$

$$\cos\varphi_п = \frac{\eta_{ном} \cos\varphi_{ном} (m_п + 0{,}025 K_i^2)}{(1 - s_{ном}) K_i}, \quad (12.8)$$

где $m_п = M_{пуск}/M_{ном}$ — кратность пускового (начального) момента электродвигателя (по каталогу); $s_{ном}$ — номинальное скольжение; $\eta_{ном}$ — КПД при номинальной нагрузке электродвигателя, отн. ед.

Возможность прямого пуска короткозамкнутого электродвигателя определяется из условия

$$U_{д*}^2 m_п \geqslant 1{,}1 m_{мех} K_з, \quad (12.9)$$

где $U_{д*}$ — напряжение на зажимах электродвигателя в долях номинального напряжения; $m_{мех} = M_{мех}/M_{ном}$ — требуемая кратность начального момента приводимого механизма; $K_з$ — коэффициент загрузки электродвигателя; 1,1 — коэффициент запаса.

При определении значений кратности начальных моментов $m_{мех}$ некоторых механизмов можно руководствоваться следующими данными:

| | |
|---|---|
| Вентиляторы | 0,4—0,5 |
| Компрессоры центробежные и поршневые | 0,4 |
| Насосы центробежные и поршневые | 0,4 |
| Лифты пассажирские и грузовые | 1,7—1,8 |
| Станки металлообрабатывающие (токарные, строгальные, фрезерные) | 0,3 |

Устойчивая работа отдельных включенных электродвигателей не будет нарушена при пуске еще одного электродвигателя, если максимальные их моменты будут больше

моментов сопротивления приводимых механизмов. В этом случае

$$U_д^2 m_{max} \geqslant 1{,}1 K_з, \qquad (12.10)$$

где $m_{max}=M_{max}/M_{ном}$ — кратность максимального момента электродвигателя (по каталогу).

Устойчивость работы пусковых аппаратов электродвигателей, работающих от рассматриваемой сети, не нарушается, так как магнитные пускатели и контакторы не отключаются при снижении напряжения на их зажимах до 60—65 % номинального. В связи с этим в большинстве случаев проверка нормальной работы пусковой аппаратуры остальных электродвигателей не требуется.

Расчетом снижения напряжения на зажимах электродвигателя при его пуске определяется также и размах изменений напряжения на шинах ВРУ, к которому может быть присоединена осветительная нагрузка. Наиболее серьезным случаем, требующим обязательной проверки на колебание напряжения, является пуск лифта. Здесь следует иметь в виду, что помимо собственного электродвигателя лифта, создающего пусковой ток в момент включения, существенную роль играет электромагнитный тормоз, включение которого в сеть (одновременно с электродвигателем) вызывает дополнительный пусковой ток тормоза. Расчеты, выполненные для различных схем зданий, показали, что дополнительное снижение напряжения, вызванное включением электромагнитного тормоза, составляет 0,3—0,5 %. В практических расчетах это дополнительное снижение напряжения может приниматься равным 0,4 %.

Нужно иметь в виду, что в любых случаях не следует допускать снижения напряжения более чем на 15 % ($U_{д*} \geqslant \geqslant 0{,}85$), поскольку при этом может не включиться пусковая аппаратура и не сработает электромагнитный тормоз.

Дополнительное снижение напряжения, вызванное включением тормоза, можно не учитывать при проверке возможности пуска электродвигателя лифта. Дело в том, что тормоз обычно глухо подключен параллельно обмоткам электродвигателя, поэтому напряжение на обмотку тормоза подается через основные контакты контактора одновременно с включением электродвигателя. Как только якорь тормоза начинает втягиваться, ток в его обмотке быстро снижается, и лишь после освобождения заторможенной лебедки становится возможным пуск электродвигателя. Следовательно, наличие электромагнитного тормоза лишь

несколько увеличивает время пуска электродвигателя, что должно учитываться при расчете электропривода и выборе мощности и типа электродвигателя. Вместе с тем пусковой ток тормоза, накладываясь на пусковой ток электродвигателя, ухудшает режим работы электроосвещения, ввиду чего этот ток необходимо учитывать при определении размахов изменений напряжения в осветительной сети при пуске лифта.

Аналогичную методику расчета можно использовать для определения размахов изменений напряжения в линиях, к которым подключены рентгеновские аппараты, ток которых в режиме фотографирования достигает большого значения, однако длительность процесса не превышает 0,1—0,2 с. Правильный выбор параметров сети и обеспечение необходимого уровня напряжения (85—90 % $U_{ном}$) имеют важное значение для получения высококачественных рентгеновских снимков.

**Пример 12.1.** Определить возможность пуска электродвигателя лифта мощностью 4,5 кВт серии АСМ 52-6, включеиного в сеть по схеме рис. 12.2 в точке *г*. Определить допустимость присоединения к шинам ВРУ осветительной нагрузки. Выяснить влияние пуска электродвигателя на работу другого электродвигателя лифта. Дом двухсекционный. Общее число лифтов 4.

Решение. 1. Определяем параметры сети, руководствуясь каталожными данными,

$$r_т = 5,7 \text{ мОм}; \quad x_т = 17,2 \text{ мОм};$$

$$r_{а,б} = 0,34 \cdot 0,15 = 49,5 \text{ мОм}; \quad x_{а,б} = 0,06 \cdot 0,15 = 9 \text{ мОм};$$

$$r_{б,в} = 1.98 \cdot 0,06 = 119 \text{ мОм}; \quad x_{б,в} = 0,09 \cdot 0,06 = 5,4 \text{ мОм};$$

$$r_{в,г} = 1,98 \cdot 0,03 = 59,5 \text{ мОм}; \quad x_{в,г} = 0,09 \cdot 0,03 = 2,7 \text{ мОм}.$$

2. По каталогу принимаем параметры электродвигателей:

$$I_{ном,д} = 12 \text{ А}; \quad K_i = 4,5; \quad m_п = 2,2; \quad m_{max} = 2,3.$$

3. Определяем коэффициент мощности при пуске двигателя по формулам (12.7) и (12.8):

$$\cos \varphi_п = 0,52.$$

4. Определяем значение $A$ для точки *б*:

$$A_б = [(49,5 + 5,7)\,0,52 + (9 + 17,2)\,0,85]\,10^{-3} = 0,051 \text{ Ом}.$$

5. Определяем значение $A$ для точки *в*:

$$A_в = [(49,5 + 5,7 + 119)\,0,52 + (9 + 17,2 + 5,4)\,0,85]\,10^{-3} = 0,12 \text{ Ом}$$

6. Определяем значение $A$ для точки *г*:

$$A_г = [(49,5 + 5,7 + 119 + 59,5)\,0,52 + (9 + 17,2 + 5,4 +$$

$$+2,7)\,0,85]\,10^{-3} = 0,15 \text{ Ом}.$$

7. Определяем дополнительную потерю напряжения при пуске электродвигателя в точках *б*, *в*, *г*, по формуле (12.6):

$$\Delta U_{д.} = \frac{167 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,051}{380 + 1,73 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,051} = 1,19\%;$$

$$\Delta U_{д.в} = \frac{167 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,12}{380 + 1,73 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,12} = 2,76\ \%;$$

$$\Delta U_{д.г} = \frac{167 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,15}{380 + 1,73 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,15} = 3,42\ \%.$$

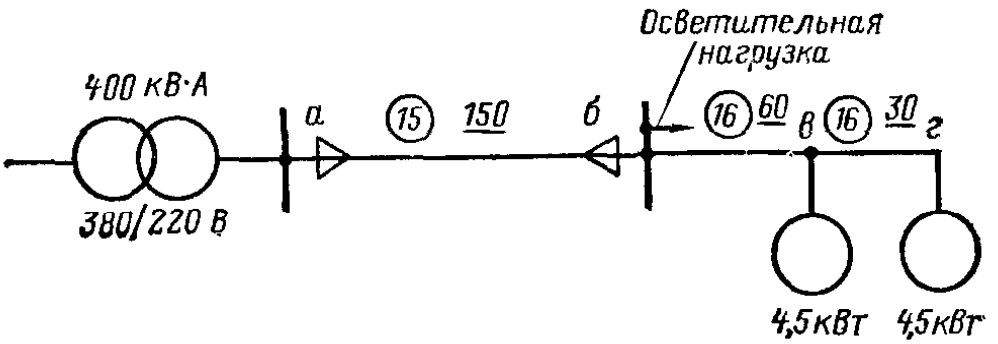



Рис. 12.2. Схема к примеру 12.1. Подчеркнутые цифры указывают длины, м, цифры в кружках — сечения жил кабелей и проводов, мм²

8. Определяем по формуле (12.4) напряжение на зажимах электродвигателя при его пуске (полная потеря напряжения в сети принимается равной 8 %) в долях номинального напряжения:

$$U_{д.г*} = 1,05 - (0,08 + 0,034) \approx 0,94.$$

9. Проверяем возможность пуска электродвигателя по формуле (12.9), принимая коэффициент загрузки равным единице

$$0,94^2 \cdot 2,2 \geqslant 1,1 \cdot 1,7 \cdot 1, \text{ т. е. } 1,94 > 1,87.$$

Расчет показывает, что прямой пуск двигателя обеспечивается.

10. Напряжение на зажимах работающего двигателя (точка *в*)

$$U_{д.в*} = 1,05 - (0,08 + 0,028) = 0,95.$$

11. Проверяем условия нормальной работы двигателя второго лифта, руководствуясь формулой (12.10),

$$0,95^2 \cdot 2,3 \geqslant 1,1 \cdot 1;\ 2,07 > 1,1$$

и убеждаемся в том, что второй двигатель будет продолжать работать.

12. Определяем снижение напряжения на вводном устройстве в точке *б* при пуске двигателя лифта. Полное снижение напряжения в точке *б* складывается из снижения напряжения при пуске двигателя и потери напряжения при включении электромагнитного тормоза:

$$\Delta U_{б\Sigma} = 1,19 + 0,4 = 1,59\ \%.$$

В рассматриваемом двухсекционном доме установлено четыре лифта. При числе включений каждого лифта до 60 в час общее число включений лифтовых установок в час составит 240. Из кривой рис. 12.1 видно, что допустимое снижение напряжения составляет примерно 2,3 %. Таким образом, присоединение осветительной нагрузки к силовому вводу в данном случае допустимо.

## Глава тринадцатая

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

Передача электроэнергии неизбежно сопровождается потерями мощности и энергии в трансформаторах и линиях. Указанные потери достигают 12—15 % всей выработанной энергии и покрываются за счет увеличения мощности источников питания и пропускной способности всех элементов сети, т е. за счет повышения капиталовложений. Кроме того, потери энергии влекут за собой перерасход топлива на электростанциях энергосистем, что особенно актуально в современных условиях.

Потери мощности и энергии обязательно учитываются при технико-экономическом сопоставлении различных. вариантов схем электроснабжения. О них необходимо помнить при выборе наивыгоднейшего режима эксплуатации электроустановок. До последнего времени этим вопросам не уделялось должного внимания при проектировании внутренних сетей, хотя даже оплачиваемые потребителем потери электроэнергии в этих сетях все равно требуют расхода остродефицитного топлива. Ниже излагается кратко методика расчета потерь мощности и энергии в основных элементах электрических сетей.

Общие потери активной мощности в трансформаторе, кВт, определяются из выражения

$$\Delta P_{т} = \Delta P_{ст} + \Delta P_{м} \beta^2, \qquad (13.1)$$

где $\Delta P_{ст} = \Delta P_{х}$ — потери активной мощности в стали трансформатора при номинальном напряжении, кВт; $\Delta P_{м} = \Delta P_{к}$ — то же в обмотках при номинальной нагрузке трансформатора, кВт; $\beta = S/S_{ном,т}$ — отношение действительной нагрузки к номинальной мощности трансформатора (коэффициент загрузки трансформатора).

Потери реактивной мощности в трансформаторе состоят из потерь на намагничивание (они практически не зависят от нагрузки) и потерь, обусловленных потоками рассеяния,

которые находятся в зависимости от нагрузки трансформатора

Указанные потери, квар, определяются из выражения

$$\Delta Q_т = \Delta Q_х + \Delta Q_к \beta^2. \qquad (13.2)$$

Величины $\Delta P_{ст} = \Delta P_х$ и $\Delta P_м = \Delta P_к$ приводятся в каталогах на трансформаторы, $\Delta Q_х$ и $\Delta Q_к$, квар, определяются по каталожным данным:

$$\Delta Q_х = \sqrt{\left(\frac{I_х S_{ном}}{100}\right)^2 - \Delta P_{ст}^2} \approx I_х S_{ном}/100; \qquad (13.3)$$

$$\Delta Q_к = 3 I_{в\ м.т}^2 x_т \cdot 10^{-3} \approx \frac{u_к S_{ном.т}}{100}, \qquad (13.4)$$

где $u_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора (по каталогу), %; $I_х$ — ток холостого хода трансформатора, %; $x_т$ — индуктивное сопротивление трансформатора, Ом.

Потери активной мощности в линиях трехфазной электрической сети с равномерной нагрузкой фаз, кВт, равны

$$\Delta P_л = 3 I_{max}^2 r_л \cdot 10^{-3} \qquad (13.5)$$

и соответственно реактивной мощности, квар

$$\Delta Q_л = 3 I_{max}^2 x_л \cdot 10^{-3}. \qquad (13.6)$$

Иногда потери мощности в линии переменного тока выражают в процентах расчетной мощности

$$\Delta P_л = \frac{\Delta P_л \cdot 100}{P_{max}}. \qquad (13.7)$$

Если реактивная составляющая потери напряжения мала и ею можно пренебречь, то можно установить связь между потерями напряжения, %, и мощности, %. Действительно, в данном случае для трехфазной сети

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_{max\ л} \cos\varphi}{U_{ном}} 100;$$

$$\Delta P'_л = \frac{3 I_{max}^2 r_л}{P_{max}} 100.$$

Тогда

$$\Delta P'_л = \frac{\Delta U}{\cos^2\varphi}. \qquad (13.8)$$

Переходя к расчету потерь энергии, необходимо ввести понятие о *времени наибольших потерь*. Это есть условное время, в течение которого при передаче электрической энергии с максимальной нагрузкой $I_{max}$ потери энергии были бы такими же, какие имеют место при работе по действительному переменному графику нагрузки.

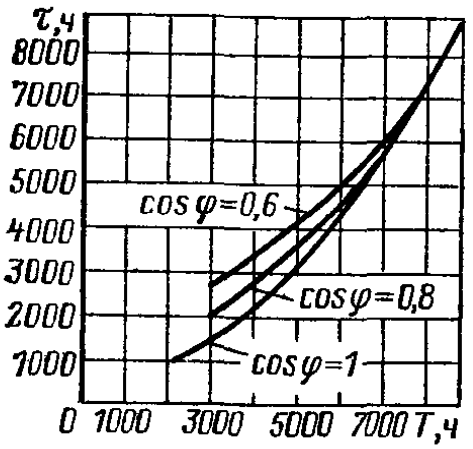



Рис. 13.1. Зависимость времени наибольших потерь от продолжительности использования максимума нагрузки

Время наибольших потерь $\tau$ можно определять из кривых зависимости этого времени от годовой продолжительности использования максимума нагрузки $T_{max}$, о котором уже говорилось в других главах, и коэффициента мощности данного участка сети (рис. 13.1)[1].

Потери активной энергии в трансформаторах определяются как сумма произведений потерь мощности, не зависящих от нагрузки, на полное время работы трансформатора $t$ в часах и потерь мощности, зависящих от нагрузки, на время наибольших потерь. Таким образом, годовые потери активной энергии в трансформаторе, кВт·ч, будут равны

$$\Delta W_{а,т} = \Delta P_{ст} t + \Delta P_{м} \beta^2 \tau. \qquad (13.9)$$

Потери реактивной энергии, квар·ч, в трансформаторе

$$\Delta W_{р,т} \approx \frac{I_{х} S_{ном.т} t}{100} + \frac{u_{к} S_{ном,т} \beta^2 \tau}{100} \qquad (13.10)$$

и соответственно в линиях

$$\Delta W_{а,л} = 3 I_{max}^2 r_{л} \tau \cdot 10^{-3}; \qquad (13.11)$$

$$\Delta W_{р,л} = 3 I_{max}^2 x_{л} \tau \cdot 10^{-3}. \qquad (13.12)$$

При определении $\tau$ по кривым рис. 13.1 не учитываются изменения коэффициента мощности в течение года и форма годового графика нагрузок. Если известен годовой расход не только активной, но и реактивной энергии, то число

[1] Как упоминалось в гл. 3, $T_{max}$ имеет различные значения на разных участках сети. Поэтому потери энергии определяются для каждого участка сети отдельно, а затем суммируются.

часов использования максимума нагрузки, а следовательно, и $\tau$ определяется более точно.

1. Определяется годовое число часов использования максимума активной и реактивной нагрузки:

$$T_{maxa} = W_a/P_{max}, \quad (13.13)$$

$$T_{maxp} = W_p/Q_{max}. \quad (13.14)$$

Таблица 13.1. **Годовое число часов использования расчетного максимума нагрузки**

| Потребитель | Нагрузка | | |
|---|---|---|---|
| | общая | силовая | световая |
| Предприятия общественного питания: | | | |
| столовые | — | 1500—3000 | 1600—2400 |
| рестораны | 3300—4700 | 3800—5000 | 3000—4000 |
| Продовольственные магазины | — | 2000—3000 | 1700—2300 |
| Промтоварные магазины (с кондиционированием) | 4100—4200 | — | — |
| Корпуса больниц: | | | |
| лечебные | 2200—3200 | — | — |
| хирургические | 3300—3800 | — | — |
| Поликлиники | 1900—2200 | — | — |
| Аптеки | 1300—1600 | — | — |
| Гостиницы[1]: | | | |
| без ресторанов | 3300—5000 | 2500—4500 | 3800—4000 |
| с ресторанами | 4800—5000 | 4200—4500 | 3800—4300 |
| Административные здания (с кондиционированием) | 2500—3500 | 4400—6400 | 1100—1200 |
| Предприятия бытового обслуживания: | | | |
| комбинаты | 2300 | — | — |
| фотографии | 3400 | — | — |
| ателье | — | 1300 | 3900 |
| Школы односменные: | | | |
| без пищеблока | 500—700 | 1300—1500 | 300—400 |
| с пищеблоком | 800 | — | — |
| Школы двухсменные без пищеблока | — | 1300—2300 | 1700—2000 |
| Жилые здания: | | | |
| не оборудованные стационарными электроплитами | 3000 | — | — |
| оборудованные стационарными электроплитами | 3400 | — | — |

[1] Бо́льшие значения относятся к гостиницам с кондиционированием воздуха, меньшие — без кондиционирования.

2. Полное число часов использования максимума

$$T_{max} = \sqrt{T_{max\,a}^2 \cos^2 \varphi_{max} + T_{max\,p}^2 \sin^2 \varphi_{max}}; \quad (13.15)$$

$$\cos \varphi_{max} = P_{max} / \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2}; \quad \sin \varphi_{max} = Q_{max} / \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2}.$$

3. Время потерь определения из выражения

$$\tau = (0{,}124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 8760. \quad (13.16)$$

Годовое число часов использования расчетного максимума нагрузки можно принимать по табл. 13.1.

## Глава четырнадцатая

# ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ПО МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Наряду с требуемыми техническими характеристиками электрических сетей важно обеспечить необходимую прочность и долговечность электропроводок.

Механическая прочность проводов и кабелей существенно зависит от условий прокладки, усилий, которым подвергаются провода и кабели в процессе монтажа, а в дальнейшем и при эксплуатации (например, при подключении переносных электроприемников) — от окружающей среды, в которой проложены провода, и, конечно, механических свойств материалов проводников. Отметим, что медные проводники значительно прочнее, чем алюминиевые, особенно в отношении количества перегибов, которые неизбежны при проведении монтажных работ. Однако они дефицитны и их использование строго ограничено.

Естественно, что для переносных электроприемников требуются, как правило, провода и шнуры с гибкими медными жилами. Механическая стойкость проводов имеет важное значение и для обеспечения пожарной и электробезопасности.

Проводники должны быть достаточно стойкими и при КЗ, когда вследствие резкого повышения токов они (во всяком случае за время до отключения аварийного участка) испытывают значительные динамические воздействия.

Правила устройства электроустановок разрешают не производить механических расчетов проводов в сетях до 1000 В (за исключением воздушных сетей и тросов) при соблюдении наименьших сечений токопроводящих жил, указанных в табл. 14.1. Выполнение этих требований является обязательным для всех видов электропроводок.

Таблица 14.1. **Наименьшие сечения проводников по механической прочности**

| Проводники | Сечение, мм² | |
|---|---|---|
| | медных | алюминиевых |
| Шнуры для присоединения бытовых электроприемников | 0,35 | — |
| Кабели для присоединения переносных и передвижных электроприемников в промышленных установках | 0,75 | — |
| Скрученные двухжильные провода с многопроволочными жилами для стационарной прокладки на роликах | 1 | — |
| Незащищенные изолированные провода для стационарной прокладки внутри помещений: | | |
| а) непосредственно по основаниям, на роликах, клицах и тросах. | 1 | 2,5 |
| б) на лотках, в коробах (кроме глухих): | | |
| для жил, присоединяемых к винтовым зажимам | 1 | 2 |
| для жил, присоединяемых пайкой: | | |
| однопроволочных. | 0,5 | — |
| многопроволочных (гибких) | 0,35 | — |
| в) на изоляторах | 1,5 | 4 |
| Незащищенные изолированные провода в наружных электропроводках: | | |
| а) по стенам, конструкциям или опорам на изоляторах; вводы от воздушной линии | 2,5 | 4 |
| б) под навесами на роликах | 1,5 | 2,5 |
| Кабели и защищенные изолированные провода для стационарной прокладки (без труб, рукавов и глухих коробов): | | |
| для жил, присоединяемых к винтовым зажимам | 1 | 2 |
| для жил, присоединяемых пайкой, однопроволочных | 0,5 | — |
| то же многопроволочных (гибких) | 0,35 | — |
| Незащищенные и защищенные изолированные провода для стационарной прокладки в трубах, металлических рукавах и глухих коробах | 1 | 2 |
| Защищенные и незащищенные провода и кабели в замкнутых каналах или замоноличенных[1] в строительные конструкции или под штукатуркой | 1 | 2 |
| Групповые линии квартирной сети | — | 2 |
| Вводы в квартиры к расчетным счетчикам | — | 4 |

Продолжение табл. 14.1

| Проводники | Сечение, мм² | |
|---|---|---|
| | медных | алюминиевых |
| Питающие линии и стояки в жилых зданиях для питания квартир | — | 6 |

[1] См. гл. 18.

## Глава пятнадцатая

# УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1000 В

### 15.1. Определения и расчет токов короткого замыкания

При коротких замыканиях возникают значительные механические силы в токовекущих частях электрических аппаратов, шин, изоляторов. Последствием этих механических сил могут быть разрушения аппаратов и конструкций РУ. Кроме того, токи КЗ вызывают дополнительный нагрев токоведущих частей электрических аппаратов, шин РУ и жил кабелей, что может привести к выходу их из строя из-за опасного повышения температуры. Нередко КЗ становятся причиной пожара и порчи имущества.

Процессы, возникающие при КЗ, их физическая сущность и методы расчета изучены достаточно глубоко и рассмотрены в специальной литературе. В настоящей главе даются самые общие положения, имеющие актуальное значение лишь для сетей до 1000 В, типичных для электрооборудования жилых и общественных зданий.

Остановимся на некоторых основных понятиях и определениях, а также параметрах, необходимых для расчетов.

**Коротким замыканием** называется непосредственное соединение между любыми точками разных фаз или фазы с землей и нулевым проводом электрической цепи, которое не предусмотрено нормальными условиями работы установки. Ток КЗ зависит от мощности источника питания, электрической удаленности места КЗ от него, т. е. от сопротивления цепи КЗ, от вида КЗ (трехфазного, двухфазного, однофазного, однофазного и двухфазного на землю), а также момента возникновения КЗ и длительности его действия. Относительная вероятность различных видов КЗ, по статистическим данным, характеризуется следую-

щими показателями: трехфазное — 5, двухфазное — 30 и однофазное — 65 %. Приведенные данные относятся к внешним электрическим сетям и системам, однако можно полагать, что приведенные цифры действительны с известной долей приближения и для внутренних сетей.

Мгновенное значение полного тока КЗ $i_к$, А, можно разложить на две составляющие: периодическую $i_п$ и апериодическую $i_а$:

$$i_к = i_п + i_а.$$

Наибольшего значения ток КЗ достигает в том случае, когда КЗ возникает при прохождении тока предшествующего режима (тока нагрузки) через нуль; при этом периодический ток имеет амплитудное значение, А

$$i_{п0} = -i_{а0}.$$

**Ударным током** называется наибольшее мгновенное значение тока КЗ. Этого значения ток КЗ достигает по истечении первого полупериода с момента возникновения КЗ, т. е. через 0,01 с.

Отношение ударного тока КЗ $i_у$ к амплитуде периодической составляющей тока КЗ $I_{п,max}$ называется **ударным коэффициентом**

$$k_у = i_у / I_{п,max}. \qquad (15.1)$$

Апериодическая составляющая тока КЗ, А, изменяется по закону

$$i_a = i_{а0} e^{-t/T_а} = I_{п,max} e^{-t/T_а}, \qquad (15.2)$$

где $T_а = x/(314r)$ — постоянная времени затухания, с; $t$ — время, с; $r$ — активное сопротивление цепи КЗ, Ом; $x$ — индуктивное сопротивление цепи КЗ, Ом.

Апериодическая составляющая (иногда ее называют свободным током) затухает быстро и практически исчезает через 0,15 с.

В результате процессов, происходящих в генераторах электрических станций при КЗ, периодическая составляющая тока КЗ тоже затухает и через некоторое время достигает своего установившегося значения. Начальное значение периодической составляющей называют **сверхпереходным током** $I''$. При достаточно большом удалении места КЗ от генерирующего источника, что характерно для сетей жилых и общественных зданий, влияние затухания периодической составляющей незначительно и может в расчетах

не учитываться. Ударный ток КЗ, А, может быть выражен следующим образом:

$$i_{у} = I_{п,max} + I_{а(0,01)} = \sqrt{2} I_{п} + \sqrt{2} I_{п} e^{-0,01/T_{а}}, \quad (15.3)$$

где $I_{п}$ — действующее значение периодической составляющей тока КЗ, А; $k_{у}$ — ударный коэффициент,

$$k_{у} = 1 + e^{-0,01/T_{а}}. \quad (15.4)$$

Согласно сказанному выше получаем значение ударного тока

$$i_{у} = \sqrt{2} k_{у} I''. \quad (15.5)$$

При выборе аппаратов иногда требуется знать наибольшее действующее значение тока КЗ. Оно определяется по приближенной формуле, А

$$I_{д} = I'' \sqrt{1 + 2(k_{у} - 1)^{2}} \quad (15.6)$$

## 15.2. Особенности расчета токов короткого замыкания в установках до 1000 В

Характерной особенностью расчета токов в сетях до 1000 В является необходимость учета активных сопротивлений элементов цепи КЗ, которые в кабельных сетях и внутридомовых сетях, выполняемых проводами в трубах и каналах строительных конструкций, значительно превышают индуктивные сопротивления. Существенное влияние на суммарное сопротивление цепи в таких сетях оказывают сопротивления контактов коммутационных аппаратов, максимальных расцепителей автоматических выключателей, обмоток трансформаторов тока, а также переходные сопротивления контактных соединений и дуги, возникающей в месте КЗ. Все активные сопротивления шин, проводов, кабелей при КЗ увеличиваются из-за повышенного нагрева при КЗ.

В расчетах следует также учитывать сопротивления обмоток силовых трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А, так как они соизмеримы с сопротивлениями короткозамкнутой цепи. Таким образом, при расчетах токов КЗ в сетях до 1000 В недопустимо учитывать только индуктивные сопротивления, как это принято при расчетах токов КЗ в сетях выше 1000 В.

В большинстве случаев расчет токов КЗ может выполняться без учета затухания его периодической составляю-

шей. Практически при мощности системы, превышающей номинальную мощность питающего трансформатора в 50 раз, ток КЗ можно считать незатухающим, как для системы бесконечной мощности.

Поскольку активное сопротивление цепи КЗ обычно значительно превышает индуктивное $r \gg x$, апериодическая составляющая тока КЗ затухает весьма быстро, ударный коэффициент при КЗ во внутренней сети здания или на вводе в дом может приниматься равным единице и лишь на шинах питающей подстанции он возрастает до $K_у = 1{,}1$.

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ (в нашем случае это и сверхпереходный ток, и его установившееся значение) в килоамперах определяется по формуле

$$I_п = I'' = I_\infty = U_{ном} / \left(1{,}73 \sqrt{r_\Sigma^2 + x_\Sigma^2}\right), \qquad (15.7)$$

где $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, В; $r_\Sigma$ — суммарное активное сопротивление цепи КЗ, мОм; $x_\Sigma$ — суммарное индуктивное сопротивление, мОм.

Как отмечалось, на ток КЗ существенно влияют переходные сопротивления. При отсутствии достоверных данных об этих величинах переходные сопротивления могут

Таблица 15.1. Значения активных и индуктивных сопротивлений

| Наименование | Активное сопротивление $r$, мОм | Индуктивное сопротивление $x$, мОм |
|---|---|---|
| Трансформаторы тока при коэффициенте трансформации: | | |
| 20/5 | 42 | 67 |
| 30/5 | 20 | 30 |
| 40/5 | 11 | 17 |
| 50/5 | 7 | 11 |
| 75/5 | 3 | 4,8 |
| 100/5 | 1,7 | 2,7 |
| 150/5 | 0,8 | 1,2 |
| 200/5 | 0,4 | 0,7 |
| Катушки расцепителей автоматических выключателей при $\theta = 65$ °С и номинальном токе, А: | | |
| 50 | 5,5 | 2,7 |
| 70 | 2,4 | 1,3 |
| 100 | 1,3 | 0,9 |
| 200 | 0,4 | 0,3 |

приниматься для распределительных щитов на подстанциях равными 15, *на шинах ВРУ здания* 20, *на последующих* щитах 25 мОм.

Активные и индуктивные сопротивления трехфазных силовых трансформаторов на стороне 0,4/0,23 кВ приведены ниже.

| Мощность трансформатора, кВ·А . . . . . | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|
| Активное сопротивление, мОм/фаза . . . . | 17 | 10,2 | 5,7 | 3,2 | 2,1 |
| Индуктивное сопротивление, мОм/фаза . . . | 42 | 30,3 | 17,2 | 13,4 | 8,5 |

Значения активных и индуктивных сопротивлений некоторых аппаратов приведены в табл. 15.1.

## 15.3. Упрощенное определение тока трехфазного короткого замыкания

Для уменьшения трудоемкости выполнения расчетов токов трехфазного КЗ, связанной с определением сопротивлений каждого из элементов короткозамкнутой сети, применяется упрощенный метод расчета, обеспечивающий достаточную для практических целей точность [32]. Этот метод основан на использовании потерь напряжения и расчетного тока нагрузки, всегда известных из обычных расчетов проводов и кабелей на потерю напряжения и нагрев.

Приняты следующие допущения, влияющие как на увеличение, так и на уменьшение тока КЗ (ошибка в расчетах при этом, как показывает проектная практика, не превышает 10 %):

1) не учитывается сопротивление сети высшего напряжения;

2) применяется алгебраическое сложение полных сопротивлений;

3) в качестве расчетного принимается номинальное напряжение электроприемников, а не напряжение холостого хода питающего трансформатора;

4) не учитываются переходные сопротивления контактов.

Как известно, расчет тока КЗ может вестись в относительных единицах. При этом периодическая составляющая тока КЗ, А, определяется из выражения

$$I_{\text{п}}^{(3)} = I_{\text{б}}/z_{r,\text{б}}, \qquad (15.8)$$

где $I_б$ — условный базовый ток, А; $z_{r,б}$ — относительное суммарное полное базовое сопротивление цепи,

$$z_{r,б} = \sqrt{3}\, I_б z / U_{ном}. \qquad (15.9)$$

С другой стороны, падение напряжения в рассматриваемой точке сети, %, равно

$$\Delta U = \sqrt{3}\, I_{max} z \cdot 100 / U_{ном}, \qquad (15.10)$$

где $I_{max}$ — расчетный ток данного участка сети, А.

Разделив (15.9) на (15.10), получим, отн. ед.

$$z_{r,б} = \Delta U I_б / (100 I_{max}). \qquad (15.11)$$

С учетом принятых выше допущений имеем

$$z_{r,б} = z_{r,б,л} + z_{r,б,т},$$

где $z_{r,б,л}$ — относительное базовое полное сопротивление линии, определяемое аналогично по формуле $z_{r,б,л} = \Delta U_л I_б / 100 I_{max}$; $z_{r,б,т}$ — относительное базовое полное сопротивление трансформатора.

Величину $z_{r,б,т}$ можно выразить следующим образом, отн. ед.:

$$z_{r,б,т} = u_к I_б / (100 I_{ном,т}),$$

где $u_к$ — напряжение КЗ трансформатора (по каталогу), %; $I_{ном,т}$ — номинальный ток трансформатора, А.

Теперь выражение периодической составляющей тока трехфазного КЗ для цепи, состоящей из $n$ участков, примет вид, А

$$I_п^{(3)} = \frac{100}{\sum_1^n \frac{\Delta U_л}{I_{max}} + \frac{u_к}{I_{ном,т}}}. \qquad (15.12)$$

Обычно при проектировании сетей до 1000 В, выполняемых кабелями и проводами, проложенными в трубах или каналах строительных конструкций, известны активные составляющие потерь напряжения, %, на каждом участке линий

$$\Delta U_a = \sqrt{3}\, I_{max} r \cos\varphi \cdot 100 / U_{ном}.$$

Найдем отношение падения напряжения на данном участке линии к активной составляющей потери напряжения на этом же участке и обозначим его $K_1$:

$$K_1 = \Delta U_л / \Delta U_a = z_л / (r \cos\varphi) = z_0 / (r_0 \cos\varphi) \approx 1/\cos\varphi,$$

где $z_0$ и $r_0$ — полное и активное сопротивления 1 км линии, Ом/км.

Теперь выражение (15.12) может быть легко преобразовано в основную расчетную формулу для определения тока трехфазного КЗ, А

$$I_{\text{п}}^{(3)} = \frac{100}{\sum_{1}^{n} \frac{K_1 \Delta U_{\text{а}}}{I_{max}} + \frac{u_{\text{к}}}{I_{\text{ном,т}}}}. \qquad (15.13)$$

В формулу (15.13) входят лишь величины, всегда известные при проектировании.

Коэффициент $K_1$ практически не зависит от сечения линии, что объясняется незначительным индуктивным сопротивлением кабелей и проводов, проложенных в трубах. Значения коэффициента $K_1$ для любых сечений проводников в зависимости от коэффициента мощности могут быть определены по следующим данным:

| Коэффициент мощности | 0,6 | 0,65 | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 | 0,95 | 1,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Коэффициент $K_1$ | 1,67 | 1,55 | 1,44 | 1,35 | 1,27 | 1,18 | 1,11 | 1,06 | 1,01 |

Значения $u_{\text{к}}/I_{\text{ном,т}}$ для серийных масляных силовых трансформаторов при низшем напряжении 400/230 В составляют:

| Мощность трансформатора, кВ·А | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $u_{\text{к}}/I_{\text{ном, т}}$ | $30 \cdot 10^{-3}$ | $18{,}5 \cdot 10^{-3}$ | $11{,}8 \cdot 10^{-3}$ | $7{,}4 \cdot 10^{-3}$ | $5{,}7 \cdot 10^{-3}$ | $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ |

Как показывают сравнительные расчеты, определение тока КЗ упрощенным методом дает несколько завышенное значение тока КЗ в удаленных точках сети (в пределах 10—11 %) по сравнению со значением, вычисленным по формуле (15.7), что создает некоторый вполне допустимый запас.

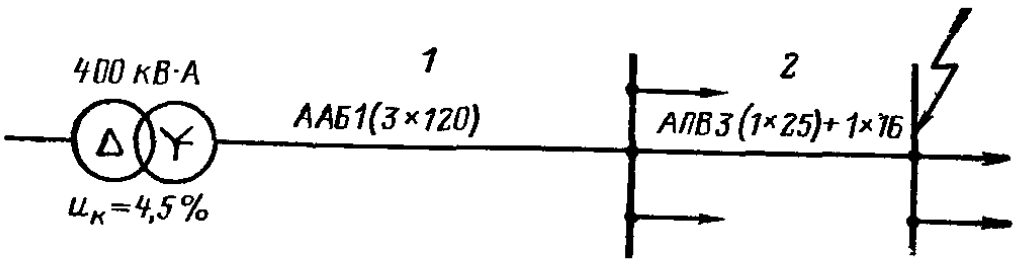



Рис. 15.1. Схема и исходные данные к примеру 15.1.

Участок *1*: $P_{max1}$=100 кВт; $\cos\varphi_1$=0,8; $I_{max1}$=190 А; $L_1$=200 м; $\Delta U_{a1}$=3,7 %

Участок *2*: $P_{max2}$=40 кВт; $\cos\varphi_2$=0,9; $I_{max2}$=68 А; $L_2$=40 м; $\Delta U_{a2}$=1,4 %

**Пример 15.1.** Выполнить расчет тока трехфазного КЗ упрощенным методом в точке сети, схема и исходные параметры которой приведены на рис. 15.1.

Решение. Руководствуясь приведенными выше данными, находим $K_{11}=1{,}27$; $K_{12}=1{,}11$ и $u_к/I_{ном,т}=7{,}4\cdot10^{-3}$. Затем по формуле (15.13) определяем ток трехфазного КЗ

$$I_{II}^{(3)}=\frac{100}{\frac{1{,}27\cdot3{,}7}{190}+\frac{1{,}11\cdot1{,}4}{68}+7{,}4\cdot10^{-3}}=1{,}82\text{ кА}.$$

## 15.4. Выбор электрических аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания

Правила устройства электроустановок предписывают, какие виды электрического оборудования должны выбираться с учетом динамической и термической стойкости при коротких замыканиях.

Применительно к установкам до 1000 В ПУЭ (гл. 1—4) предусматривают, что по режиму КЗ в электроустановках до 1000 В должны проверяться щиты и токопроводы. Аппараты защиты, в них устанавливаемые, должны обладать способностью отключать КЗ, не разрушаясь. При этом в качестве расчетного должен приниматься наибольший возможный ток КЗ сети. Эти требования всегда должны соблюдаться при проектировании ВРУ, электрощитов, при определении стойкости шин, изоляторов и других опорных конструкций.

Полное удовлетворение требований ПУЭ в отношении защитных аппаратов не всегда экономически оправдывается. В связи с этим в некоторых нормативных документах допущены отступления, позволяющие более гибко подходить к выбору аппаратов. Эти отступления основаны на крайне малой вероятности появления предельно возможных токов КЗ. Испытания показали [33], что действующие значения токов КЗ, полученные расчетным путем, практически не могли быть достигнуты. Так, для случая привинченной между шинами медной перемычки сечением 6—25 мм$^2$ предельно возможный ток составил 60—87 % расчетного, для случая свободно лежащего на шинах медного бруса — 56, для случая перекрытия по изоляции — 32—56 %.

Существует ряд причин, вызывающих снижение тока КЗ. Как уже указывалось, одной из них являются переходные сопротивления контактов, точный учет которых крайне

затруднен. Поэтому вполне допустимо производить выбор аппаратов по так называемому *одноразовому току* или, как его иногда называют, *току одноразовой предельной коммутационной способности.* Таким током можно считать предельный ток, при котором аппарат может выполнить коммутационную операцию 1 раз без пожара, увечья персонала или выхода из строя установки, даже если после этого аппарат не сможет выполнять свои функции и потребует ремонта. Значения одноразового тока приводятся в каталогах и информационных заводских материалах.

Разрешается также установка динамически нестойких аппаратов, если перед группой таких аппаратов устанавливается стойкий аппарат, являющийся своеобразным «сторожем». Нестойкие аппараты рекомендуется выносить на отдельные панели щитов.

На вводах в здания, как правило, устанавливаются токоограничивающие предохранители (большей частью ПН-2). Выбор аппаратов, установленных после таких предохранителей, может производиться по расчетному току КЗ, но не более наибольшего значения тока, пропускаемого предохранителями с плавкими вставками данного типа. Это же относится к защите некоторыми типами автоматических выключателей в токоограничивающем исполнении.

В свете изложенного выше можно сделать следующие основные выводы и рекомендации:

1. Шины, изоляторы и другие опорные конструкции вводных устройств, щитов, шкафов и токопроводов должны быть стойки к наибольшим значениям токов КЗ.

2. Аппараты, устанавливаемые на ВРУ, щитах, щитках, токопроводах в зданиях, могут выбираться по «одноразовому току», значения которого должны даваться заводами-изготовителями. Практически это означает, что при удалении ВРУ от питающей подстанции на расстояние 100 м и более расчеты токов КЗ становятся неактуальными, что подтверждается практикой проектирования и опытом эксплуатации электрооборудования зданий. При установке щитов непосредственно в подстанциях выбор аппаратов должен производиться из условий динамической стойкости при КЗ.

3. Аппараты защиты могут выбираться по наибольшему пропускаемому току плавких вставок предохранителей и автоматических выключателей с токоограничивающим действием, установленных впереди (по направлению потока энергии) этих аппаратов.

## 15.5. Упрощенное определение токов однофазного короткого замыкания

Правила устройства электроустановок требуют определения тока однофазного КЗ с целью проверки нормальной работы аппаратов защиты и действенности системы зануления.

Упрощенная методика определения тока однофазного КЗ основана на использовании потери напряжения и расчетного тока нагрузки, всегда известных при обычных расчетах сети на нагрев и потерю напряжения [34]. При этом приняты следующие допущения, не снижающие требуемой достоверности результатов: не учитываются сопротивления сети высшего напряжения; применяется алгебраическое сложение полных сопротивлений; в качестве номинального напряжения сети принимается номинальное фазное напряжение электроприемников, а не напряжение холостого хода питающего трансформатора.

Согласно ПУЭ ток однофазного КЗ, А, может быть выражен формулой, которая выведена на основании метода симметричных составляющих и учитывает сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей короткозамкнутой цепи

$$I_{к}^{(1)} = U_{ф} \Big/ \left( z_{п} + \frac{z'_{т}}{3} \right), \qquad (15.14)$$

где $U_{ф}$ — номинальное фазное напряжение сети, В; $z_{п}$ — полное сопротивление петли, созданной фазным и нулевым проводами, Ом; $z'_{т}$ — полное сопротивление трансформатора току замыкания на корпус, Ом.

Выражая сопротивления в относительных единицах, приведенных к базовому току $I_{б}$, можно написать, А

$$I_{к}^{(1)} = I_{б} \Big/ \left( z_{r,б,п} + \frac{z'_{r,б,т}}{3} \right). \qquad (15.15)$$

Полное сопротивление петли, отн. ед., созданной фазным и нулевым проводами, для участка сети будет равно

$$z_{r,б,п} = \frac{I_{max} L \sqrt{(r_{ф0} + r_{н0})^2 + x_{п0}^2}}{U_{ф}} \frac{I_{б}}{I_{max}}, \qquad (15.16)$$

где $r_{ф0}$ — активное сопротивление 1 км фазного провода, Ом/км; $r_{н0}$ — то же нулевого провода; $x_{п0}$ — реактивное сопротивление петли, созданной фазным и нулевым провода-

ми, Ом/км; $I_{max}$ — расчетный ток линии, А; $L$ — длина участка, км.

Активная составляющая потери напряжения, %, может быть выражена формулой

$$\Delta U_{\text{а}} = I_{max} r_{\text{ф0}} L \cos\varphi \cdot 100/U_{\text{ф}}. \qquad (15.17)$$

Найдем отношение

$$\frac{z_{r,\text{б,п}}}{\Delta U_{\text{а}}} = \frac{\sqrt{(r_{\text{ф0}} + r_{\text{н0}})^2 + x_{\text{п0}}^2}\, I_{\text{б}}}{r_{\text{ф0}} \cos\varphi I_{max} \cdot 100} = K' \frac{I_{\text{б}}}{100 I_{max}}, \qquad (15.18)$$

откуда

$$z_{r,\text{б,п}} = \frac{K' \Delta U_{\text{а}} I_{\text{б}}}{100 I_{max}}. \qquad (15.19)$$

Выразив полное сопротивление трансформатора также в относительных единицах и приведя его к базовому току, можем записать

$$z_{r,\text{б,т}} = \frac{z_{\text{т}}' I_{\text{ном,т}}}{U_{\text{ф}}} \frac{I_{\text{б}}}{I_{\text{ном,т}}} = \frac{I_{\text{б}} z_{\text{т}}}{U_{\text{ф}}}. \qquad (15.20)$$

Таблица 15.2. **Коэффициент $K'$**

| Сечение фазного провода, мм² | Провода в трубах и каналах | | | | Кабели |
|---|---|---|---|---|---|
| | Сечение нулевого провода, мм² | $K'$ при cosφ | | | Сечение нулевой жилы, мм² |
| | | 0,6 | 0,8 | 1 | |
| 2,5 | 2,5 | 3,3 | 2,5 | 2,0 | — |
| 4 | 2,5 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 2,5 |
| 6 | 4 | 4,2 | 3,2 | 2,5 | 4 |
| 10 | 6 | 4,3 | 3,2 | 2,6 | 6 |
| 16 | 10 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 10 |
| 25 | 16 | 4,3 | 3,3 | 2,6 | 16 |
| 35 | 16 | 5,3 | 4,0 | 3,2 | 16 |
| 50 | 25 | 5,0 | 3,8 | 3 | 25 |
| 70 | 35 | 5,2 | 4 | 3,1 | 25 |
| 95 | 50 | 4,8 | 3,6 | 2,9 | 35 |
| 120 | 70 | 4,5 | 3,4 | 2,7 | 35 |
| 150 | 70 | 5,1 | 3,9 | 3,1 | 50 |
| 185 | 95 | 4,7 | 3,5 | 2,8 | 50 |

Подставляя полученные значения в (15.15), получаем выражение для тока однофазного КЗ, А

$$I_{к}^{(1)} = \frac{1}{\frac{K' \Delta U_{а}}{100 I_{max}} + \frac{z'_{т}}{3U_{ф}}}. \qquad (15.21)$$

Для сети, состоящей из $n$ участков, формула (15.21) имеет вид, А

$$I_{к}^{(1)} = \frac{1}{\sum_{1}^{n} \frac{K' \Delta U_{а}}{100 I_{max}} + \frac{z'_{т}}{3U_{ф}}}. \qquad (15.22)$$

Оценим значения ошибок в сторону увеличения и снижения тока КЗ по принятым допущениям:

1. Алгебраическое сложение полных сопротивлений может дать ошибку в сторону снижения тока КЗ примерно на 5 %.

2. Принятие в расчетной формуле номинального напряжения электроприемников вместо напряжения холостого хода трансформатора также дает ошибку в сторону снижения тока КЗ на 5 %.

| Кабели четырехжильные | | | Кабели трехжильные | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $K'$ при cos φ | | | Сечение оболочки, мм² | $K'$ при cos φ | | |
| 0,6 | 0,8 | 1 | | 0,6 | 0,8 | 1 |
| — | — | — | — | — | — | — |
| 4,3 | 3,3 | 2,6 | — | — | — | — |
| 4,2 | 3,2 | 2,5 | 32,8 | 1,9 | 1,5 | 1,2 |
| 4,3 | 3,2 | 2,6 | 37,6 | 2,1 | 1,6 | 1,3 |
| 4,3 | 3,3 | 2,6 | 43,3 | 2,2 | 1,7 | 1,3 |
| 4,3 | 3,3 | 2,6 | 45,2 | 2,4 | 1,9 | 1,5 |
| 5,3 | 4 | 3,2 | 56,8 | 2,5 | 1,9 | 1,5 |
| 5 | 3,8 | 3 | 66,8 | 2,7 | 2,1 | 1,6 |
| 6,3 | 4,8 | 3,8 | 83,6 | 2,9 | 2,2 | 1,7 |
| 5,9 | 4,4 | 3,5 | 103,8 | 2,9 | 2,2 | 1,7 |
| 7,1 | 5,4 | 4,3 | 117,6 | 3,0 | 2,3 | 1,8 |
| 6,4 | 4,9 | 3,8 | 128 | 3,6 | 2,7 | 2,2 |
| 8,9 | 6,8 | 5,4 | 165 | 3,6 | 2,6 | 2,1 |

3. Как показывают расчеты, неучтенные переходные сопротивления вызывают ошибку в сторону некоторого повышения тока КЗ не более чем на 5 % для всех возможных практических случаев.

Учитывая, что приведенные факты влияют как на снижение, так и на увеличение тока КЗ, выражения (15.21) и (15.22) следует считать достаточно точными для проектной практики.

Коэффициенты $K'$, вычисленные для наиболее распространенных сечений проводов, проложенных в трубах, четырехжильных и трехжильных кабелей с алюминиевой оболочкой, используемой в качестве нулевого провода, приведены в табл. 15.2.

В табл. 15.3 приведены значения $z_т'/3U_ф$ для некоторых силовых трансформаторов, отнесенные к напряжению 400/230 В (средние данные при высшем напряжении 10 кВ), рассчитанные по [35].

Таблица 15.3. Значения $z_т'/3U_ф$

| Масляные трансформаторы | | | Сухие трансформаторы | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Мощность трансформатора, кВ·А | Схема соединений | $z_т'/3U_ф$ | Мощность трансформатора, кВ·А | Схема соединений | $z_т'/3U_ф$ |
| 100 | У/$У_н$ | $1{,}18\cdot10^{-3}$ | 160 | Д/$У_н$ | $0{,}25\cdot10^{-3}$ |
| 160 | У/$У_н$ | $0{,}74\cdot10^{-3}$ | 250 | Д/$У_н$ | $0{,}16\cdot10^{-3}$ |
| 250 | У/$У_н$ | $0{,}47\cdot10^{-3}$ | 400 | Д/$У_н$ | $0{,}1\cdot10^{-3}$ |
| 400 | У/$У_н$ | $0{,}29\cdot10^{-3}$ | 630 | Д/$У_н$ | $0{,}06\cdot10^{-3}$ |
| 400 | Д/$У_н$ | $0{,}1\cdot10^{-3}$ | — | — | — |
| 630 | У/$У_н$ | $0{,}19\cdot10^{-3}$ | 1000 | Д/$У_н$ | $0{,}04\cdot10^{-3}$ |
| 630 | Д/$У_н$ | $0{,}06\cdot10^{-3}$ | — | — | — |
| 1000 | У/$У_н$ | $0{,}13\cdot10^{-3}$ | — | — | — |
| 1000 | Д/$У_н$ | $0{,}04\cdot10^{-3}$ | — | — | — |

Примечание. У — соединение в звезду; $У_н$ — соединение в звезду с выведенной нейтральной точкой; Д — соединение в треугольник.

Правила устройства электроустановок регламентируют следующие требования, обеспечивающие быстрое срабатывание защиты при однофазных КЗ в конце защищаемого участка линии:

1. При защите предохранителями или автоматическими выключателями с обратнозависимой от тока характеристикой ток замыкания на корпус или на нулевой провод должен превышать не менее чем в 3 раза номинальные токи

плавких вставок предохранителей или тепловых расцепителей автоматических выключателей.

2. При защите автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), ток КЗ в петле фаза — нуль должен быть не менее тока уставки мгновенного срабатывания, умноженного на коэффициент разброса (по заводским данным) и на коэффициент запаса 1,1. При отсутствии заводских данных разрешается принимать коэффициенты разброса для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А—1,3; для прочих автоматических выключателей 1,14.

**Пример 15.2.** Определить ток однофазиого КЗ в точке, показаниой на рис. 15.1. (пример 15.1).

Решение. 1. По табл. 15:2 прииимаем значеиия $K'$ для отдельных участков сети: $K_1'=2{,}3$; $K_2'=2{,}95$.

2. По табл. 15.3 определяем $Z_т'/3U_ф=0{,}1\cdot10^{-3}$.

3. Определяем по формуле (15.22) ток однофазиого КЗ

$$I_к^{(1)}=\frac{1}{\frac{2{,}3\cdot3{,}7}{100\cdot190}+\frac{2{,}95\cdot1{,}4}{100\cdot68}+0{,}1\cdot10^{3}}=863\text{ А}.$$

## Глава шестнадцатая

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

## 16.1. Методология технико-экономического сравнения вариантов

Электрические установки жилых и общественных зданий отличаются, как уже отмечалось в гл. 7 и 8, многовариантностью возможных проектных решений. Выбор наиболее целесообразного и экономичного из возможных вариантов производится на основании технико-экономических расчетов по «Типовой методике определения эффективности капитальных вложений», утвержденной Госпланом СССР, Госстроем СССР, Академией наук СССР [43].

Выявление наиболее экономичного варианта производится по минимуму приведенных затрат, учитывающих годовые эксплуатационные расходы и окупаемость капитальных вложений.

Варианты, отличающиеся по приведенным затратам менее чем на 3 % (при исключении одинаковых составляющих

затрат), считаются равноэкономичными. В пределах зоны равноэкономичности выбор оптимального варианта следует производить исходя из инженерной оценки тех качеств, которые не могли быть полностью учтены в затратах (надежность, расход электроэнергии, перспективность, условия получения оборудования, электробезопасность, расход цветного металла и т. п.).

Конечно, во всех случаях должно быть обеспечено выполнение технических требований правил и норм.

При сооружении электроустановки в один этап расчетные затраты, тыс. руб/год, определяются согласно [43] по выражению

$$З = E_н K + И, \qquad (16.1)$$

где $E_н$ — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,12* (срок окупаемости 1/0,12=8,3 года)*; $K$ — суммарные капитальные вложения тыс. руб.; $И$ — ежегодные издержки производства (эксплуатационные расходы), включающие затраты на компенсацию потерь энергии в сетях, тыс. руб/год.

При сравнении вариантов, в которых рассматривается развитие электрической сети во времени, капитальные вложения и ежегодные издержки по каждому варианту определяются с учетом разновременности затрат по годам расчетного периода $T_{р,пер}$. При этом учет разновременности затрат рассматриваемых вариантов осуществляется путем их приведения к какому-либо году $\tau_{прив}$, одинаковому для всех вариантов. В этом случае приведенные затраты определяются по следующим выражениям:

$$З = \sum_{t=1}^{T_{р,пер}} (E_н K_t + \Delta И_t)(1 + E_н)^{\tau_{прив} - t} \qquad (16.2)$$

$$З = \sum_{t=1}^{T_{р,пер}} (E_\Sigma K_t + \Delta И_м)(1 + E_н)^{\tau_{прив} - t}, \qquad (16.3)$$

где $E_п$ — нормативный коэффициент, учитывающий разновременность затрат, равный 0,08*; $K_t$ — капитальные вложения, тыс. руб.; $\Delta И_t = И_t - И_{t-1}$ — изменение издержек в

* Согласно методике определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений [59] $E_н = 0{,}15$, а $E_п = 0{,}1$.

** $E_р = 0{,}035$; $E_{к,р} = 0{,}029$; $E_з = 0{,}04$. При $E_н = 0{,}12$ $E_\Sigma = 0{,}224$. Приведенные данные рекомендуются Указаниями по проектированию городских электрических сетей ВСН 97—75 Минэнерго СССР.

каждом году расчетного периода по сравнению с предыдущим годом, тыс. руб/год.

Издержки производства определяются по формуле

$$И_t = И_р + И_{к,р} + N_з + И_м, \qquad (16.4)$$

где $И_р$ — амортизационные отчисления на реновацию; $И_{к,р}$ — то же на капитальный ремонт; $И_з$ — затраты на эксплуатацию, включающие затраты на текущий ремонт; $И_м$ — затраты на электроэнергию, приобретение потерь сырья и компенсацию потерь энергии в сети.

Коэффициент суммарных ежегодных отчислений от капитальных вложений $E_\Sigma$ определяется по выражению[1]

$$E_\Sigma = E_н + E_р + E_{к,р} + E_з. \qquad (16.5)$$

Формулы (16.2) и (16.3) равноценны, однако расчеты проще вести по формуле (16.3), при которой ежегодные издержки, пропорциональные капитальным вложениям, определяются в процентах от последних $E_\Sigma K_t$ и складываются с издержками на покрытие прироста $\Delta И_м$ от стоимости потерь. Для электрических сетей до 1000 В можно принимать $E_\Sigma = 0{,}224$** (см. сноску стр. 202).

В гл. 13 приведена методика определения потерь мощности и энергии. Затраты на компенсацию потерь энергии определяются с учетом коэффициента попадания максимума потерь в максимум энергосистемы согласно Указаниям по проектированию городских электрических сетей ВСН 97—75 Минэнерго СССР в зависимости от времени наибольших потерь и района строительства, а также потерь в звеньях электрической сети более высокого напряжения (10, 35, 110, 220 кВ и т. д.).

## 16.2. Выбор оптимальных схем питающих и групповых электросетей жилых зданий

Многовариантность проектных решений и учет многих факторов требуют использования для технико-экономических расчетов ЭВМ, так как эти расчеты весьма трудоемки. В целях выбора наиболее рациональных общих решений схем питающих сетей жилых зданий высотой 9—30 этажей МНИИТЭП были выполнены на ЭВМ технико-экономические расчеты ряда вариантов построения схем.

[1] Индексы к значениям коэффициентов отчислений аналогичны индексам к значениям издержек, указанных в формуле (16.4).

Результаты расчетов и вытекающие из них рекомендации широко используются в проектной практике. Приведем основные положения методики расчетов.

Сравнение технико-экономических показателей и выбор оптимального варианта схемы производились по минимуму расчетных затрат, приведенных к началу эксплуатации сети (нулевой год). В приведенных затратах учитывались капиталовложения и ежегодные эксплуатационные расходы для рассматриваемого расчетного периода.

Внутренние сети зданий характеризуются значительным сроком службы. Потребность в их реконструкции в течение первых 10—15 лет эксплуатации, как правило, может возникнуть при высоких темпах ежегодного прироста нагрузок (7—8 %), которые на практике пока не встречались. Поэтому в расчетах было принято, что реконструкция внутренних сетей зданий в течение расчетного периода (15 лет) не производится. При определении затрат для первого года предполагается, что завершение строительства и ввод в эксплуатацию совпадает во времени (что практически имеет место в жилищном строительстве). Поэтому первоначальные капиталовложения и эксплуатационные расходы за первый год после строительства (он же первый год эксплуатации) приводятся к нулевому году с помощью коэффициента приведения затрат

$$E_1 = 1/(1 + E_{\text{п}}), \qquad (16.6)$$

где $E_{\text{п}}$ — коэффициент приведения затрат, принимается раным 0,08.

Годовые эксплуатационные расходы зависят от темпов прироста нагрузок и имеют постоянную и переменную слагающие. К первой при отсутствии реконструкции относятся амортизационные отчисления на реновацию и капитальный ремонт, а также затраты на обслуживание сети, ко второй — потери электроэнергии в сети, зависящие от роста нагрузок.

Коэффициент отчислений от капитальных вложений на реновацию определяется по ведомственным нормам или формуле

$$E_{\text{р}} = \frac{E_{\text{н}}}{(1 + E_{\text{п}})^{t_{\text{сл}}} - 1}, \qquad (16.7)$$

где $t_{\text{сл}}$ — срок службы электрооборудования сети.

Затраты на компенсацию потерь электроэнергии состоят из постоянной части (потери, определяемые нагрузкой в

начале эксплуатации сети) и переменной части, обусловленной приростом нагрузок. Для сетей городского типа можно считать, что ежегодное изменение нагрузки пропорционально темпу прироста и определяется по формуле

$$P = P_0 A^t .$$

Обозначим

$$E_2 = A^2/(1 + E_н),$$

где $A$ — коэффициент прироста нагрузок, который может приниматься 1,03 для домов с газовыми плитами и 1,01—1,015 для домов с электроплитами.

С учетом изложенного суммарные за расчетный период затраты $З$ (руб.), приведенные к началу эксплуатации, будут равны

$$З = E_Σ K E_1 + C_0 [\Delta P_0 E_2 + \sum_{t=1}^{t=T_{р,пер}} (\Delta P_t - \Delta P_{t-1}) E_1^t], \quad (16.8)$$

где $K$ — первоначальные капиталовложения, руб.; $C_0$ — стоимость 1 кВт·года потерь электроэнергии руб/(кВт×год); $\Delta P_0$ и $\Delta P_t$ — потери мощности в сети в начальный и $t$-й годы эксплуатации.

Учитывая, что потери мощности пропорциональны квадрату коэффициента прироста нагрузок

$$\Delta P = \Delta P_0 A^{2t}$$

и принимая

$$E_2^{(T_{р,пер}+1)} = E_2^{T_{р,пер}},$$

после преобразования получаем

$$З = E_Σ K E_1 + C_0 \Delta P_0 (1 - E_1) \frac{E_2^{T_{р,пер}} - E_2}{E_2 - 1}. \quad (16.9)$$

Выражение (16.9) упрощает вычисления по суммированию потерь по формуле (16.8) и позволяет определить потери мощности по нагрузкам в первый и последний годы расчетного периода. Следовательно, отпадает необходимость в расчете на все промежуточные годы. Сравнение параметров сети, выбранных с учетом влияния экономических факторов, с полученными на основании только технических характеристик (нагрев, потери напряжения) показало, что в последнем случае годовые приведенные затраты часто

**Таблица 16.1. Пределы допустимых потерь напряжения, при которых параметры электрической сети имеют значения, близкие к оптимальным**

| Элементы сети | Количество этажей | Потери напряжения, %, при количестве секций в здании | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2—7 | 8—10 |
| **Газифицированные здания** | | | | |
| Стояки | 5—8 | 0,6—0,7 | 0,4—0,6 | 0,5—0,8 |
| | 9—12 | 0,7—0,8 | 0,6—0,7 | 0,5—0,7 |
| | 13—14 | 0,8—1 | 0,7—0,9 | 0,6—0,8 |
| Горизонтальные питающие линии внутри зданий | 5—8 | 0,2—0,3 | 0,9—1,1 | 0,9—1,1 |
| | 9—12 | 0,2—0,3 | 1,1—1,5 | 1,5—1,7 |
| | 13—14 | 0,2—0,3 | 1,6—1,8 | 1,7—1,8 |
| Внешняя питающая кабельная линия длиной до 100 м | 5—8 | 2—1,7 | 2,2—1,7 | 2,2—1,8 |
| | 9—12 | 2,1—1,8 | 2,3—1,9 | 2,6—2 |
| | 13—14 | 2,4—2 | 2,4—2,1 | 2,7—2,2 |
| То же от 100 до 200 м | 5—8 | 4,5—4,3 | 4,2—3,8 | 4,1—3,6 |
| | 9—12 | 4,6—4,4 | 3,8—3,3 | 3,5—3,1 |
| | 13—14 | 4,5—4,2 | 3,2—2,8 | 3,2—2,9 |
| **Дома с электроплитами** | | | | |
| Стояки | 5—8 | 0,2—0,4 | 0,2—0,5 | 0,3—0,5 |
| | 9—12 | 0,2—0,4 | 0,4—0,6 | 0,3—0,5 |
| | 13—16 | 0,3—0,5 | 0,5—0,7 | 0,4—0,6 |
| | 17—22 | 0,5—0,6 | 0,5—0,7 | 0,6—0,7 |
| | 23—30 | 0,6—0,7 | 0,6—0,8 | 0,7—0,9 |
| Горизонтальные питающие линии внутри зданий | 5—8 | 0,2—0,4 | 1,1—1,3 | 1,2—1,6 |
| | 9—12 | 0,3—0,4 | 1,2—1,6 | 1,6—1,8 |
| | 13—16 | 0,3—0,4 | 1,5—1,8 | 1,7—2 |
| | 17—22 | 0,4—0,5 | 1,7—1,9 | 1,8—2,1 |
| | 23—30 | 0,4—0,5 | 1,9—2,1 | 2—2,2 |
| Внешняя питающая кабельная линия длиной до 100 м | 5—8 | 1,6—1,4 | 1,9—1,5 | 2,1—1,7 |
| | 9—12 | 1,8—1,6 | 2—1,7 | 2—1,9 |
| | 13—16 | 2,2—1,7 | 2,2—1,8 | 2,5—2 |
| | 17—22 | 2,3—1,8 | 2,4—2 | 2,6—2,2 |
| | 23—30 | 2,5—2 | 2,7—2,2 | 2,8—2,4 |
| То же от 100 до 200 м | 5—8 | 4,8—4,5 | 4,2—3,7 | 4—3,4 |
| | 9—12 | 5—4,8 | 3,9—3,3 | 3,6—3,2 |

Продолжение табл. 16.1

| Элементы сети | Количество этажей | Потери напряжения, %, при количестве секций в здании | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2—7 | 8—10 |
| | 13—16 | 4,9—4,6 | 3,5—3 | 3,4—2,9 |
| | 17—22 | 4,6—4,4 | 3,3—2,9 | 3,1—2,7 |
| | 23—30 | 4,5—4,3 | 3—2,6 | 2,8—2,4 |

Примечания: 1. Пределы допустимых потерь напряжения определены только по экономическому критерию (наименьшим приведенным затратам). При этом в большинстве случаев суммарные потери напряжения не выходят за пределы допустимых по ПУЭ. Однако для весьма протяженных линий и высоких зданий и при значительном удалении от ТП (что возможно в редких случаях) суммарные потери напряжения по табл. 16.1 могут оказаться выше допустимых по ПУЭ. В этих случаях их следует пропорционально уменьшить до пределов, предусмотренных ПУЭ.

2. По опыту проектирования потери напряжения во внутриквартирных групповых линиях общего освещения могут приниматься равными 0,8—1 %. Потери напряжения в штепсельной сети и линиях питания электроплит в этих случаях можно не рассматривать, поскольку они не выходят за пределы, установленные соответствующим ГОСТ.

3. Как правило, приведенное в табл. 16.1 распределение потерь напряжения незначительно отклоняется от распределения, рассчитанного по наименьшему расходу цветного металла (см. гл. 11).

оказываются выше оптимальных на 15—20 %. Следовательно, учет экономических факторов вполне оправдан.

Целесообразные схемы и оптимальное число питающих линий, количество ВРУ приведены в гл. 7. Наиболее экономичное распределение допустимых потерь напряжения между питающими кабелями, внутренними горизонтальными и вертикальными питающими линиями зданий (стояками) приведены в табл. 16.1.

*Внутриквартирные электрические групповые сети* жилых зданий являются важным звеном системы электроснабжения. Несмотря на то что на долю внутриквартирного электрооборудования приходится примерно 40—50 % капиталовложений в электрические сети городского типа, вопросам технически правильного и экономичного их построения должного внимания не уделялось. Учитывая важность этих вопросов в последнее время МНИИТЭП [44], Ленинградским политехническим институтом им. М. И. Калинина [45] предприняты попытки рассмотреть групповые сети квартир по техническим и экономическим критериям с учетом перспективного роста нагрузок. В результате этой работы были изданы временные рекомендации по проектированию групповых электрических сетей квартир с электроплитами без электроотопления и электроводонагрева, со-

Таблица 16.2. **Технико-экоиомические показатели радиальной и кольцевой групповых линий питаиия штепсельных розеток (сечение провода марки АППВС 2,5 мм²)**

| Вариаиты | Расчетный ток, А | Потери на. пряжеиия, % | Потери мощ. ности, Вт | Длина про. вода, м | Капитальные вложеиия, руб/квартира | Годовые расчетные затраты, руб/ квартира |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Двухкомнатиая квартира: | | | | | | |
| радиальиая лииия | 11,5 | 4 | 115 | 89 | 12,8 | 4,03 |
| кольцевая (замкиутая) линия | 6,1 | 1,2 | 44 | 124 | 15,7 | 3,65 |
| Трехкомиатная квартира: | | | | | | |
| радиальная лииия | 12,3 | 4,4 | 121 | 112 | 16,2 | 4,65 |
| кольцевая (замкнутая) линия | 6,4 | 1,4 | 33 | 139 | 18,6 | 4,06 |

оружаемых в Москве. Несмотря на некоторую неопределенность размещения бытовых электроприборов и их подключения, получены достаточно обоснованные данные для выбора параметров групповых сетей, подтверждающие практику проектирования, в частности применение кольцевой замкнутой схемы питания линий штепсельных розеток.

В табл. 16.2 приведены для сопоставления технико-экономические показатели радиальной и кольцевой групповых линий питания штепсельных розеток, из которых видно, что расчетные годовые затраты при кольцевой схеме ниже, чем при радиальной. Кроме того, по условиям допустимой потери напряжения при радиальной схеме пришлось бы увеличивать сечение проводов. При кольцевой схеме пропускная способность проводов возрастает в 1,5—2 раза.

## 16.3. Элементы технико-экономических расчетов электроустановок общественных зданий

Вопросы оптимизации электрических сетей, в частности внутренних сетей общественных зданий, пока еще не доведены до такой стадии, при которой можно было бы получить обобщенные и достоверные математические выражения, пригодные для проектной практики. Поэтому приходится в ряде случаев наряду с разносторонней оценкой тех-

нических факторов (надежность, безопасность, расход цветного металла и т. д.) прибегать к технико-экономическому сопоставлению предполагаемых вариантов проектных решений. Методика этих расчетов изложена в § 16.1. Здесь остановимся лишь на некоторых частных случаях.

В книге С. А. Клюева [41] приведены следующие формулы для определения расчетных затрат, необходимых для сопоставления вариантов устройства осветительных установок, содержащих $N$ светильников:

капитальные затраты

$$K = N(An + Б + M + \gamma + 0{,}001\,\alpha p C n), \qquad (16.10)$$

эксплуатационные расходы

$$И = N\left\{\frac{T_{max}\,An}{t_{сл}} + [\alpha p T_{max}\,qn + \beta\alpha p\tau\,q'n + 100(Б + M + \gamma) + 0{,}1\alpha p C n + 1000 mB]\,10^{-3}\right\}. \qquad (16.11)$$

Полные расчетные затраты определяются по уже известной формуле

$$З = E_{н} K + И = 0{,}12K + И. \qquad (16.12)$$

В этих формулах следующие обозначения: $n$ — число ламп в одном светильнике; $p$ — мощность одной лампы, Вт; $t_{сл}$ — номинальный срок службы лампы, ч; $T_{max}$ — максимальное число часов использования осветительной установки в год; $q$ — стоимость электроэнергии, руб/(кВт·ч); $q'$ — затраты на компенсацию потерь энергии, руб/(кВт·ч); $\tau$ — время наибольших потерь, ч; $m$ — число чисток светильников в год; $A$ — цена одной лампы, руб.; $Б$ — цена одного светильника, руб.; $M$ — стоимость монтажа одного светильника, руб.; $C$ — стоимость монтажа электрической части осветительной установки на 1 кВт установленной мощности лампы, включая потери мощности в ПРА (для газоразрядных ламп), руб/кВт; $B$ — стоимость одной чистки светильника руб.; $\alpha$, $\beta$, $\gamma$ — коэффициенты, указанные в табл. 16.3.

В приведенные формулы внесены некоторые уточнения для учета неравномерности графика нагрузки и затрат на компенсацию потерь энергии. Естественно, что сравнение вариантов должно вестись только для установок, создающих одинаковые осветительные условия.

Другим примером технико-экономических расчетов может быть методика, предложенная в [46] и позволяющая

Таблица 16.3. Коэффициенты α, β, γ

| Коэффициент | Лампы накаливания | Люминесцентные лампы | Лампы ДРЛ, ДРИ и т. п. | |
|---|---|---|---|---|
| | | | без конденсаторов | с конденсаторами на групповой линии |
| $\alpha$ | 1 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| $\beta$ | $\Delta U/100$ | $\Delta U/(\cos^2\varphi \cdot 100)$ | $\Delta U/(\cos^2\varphi \cdot 100)$ | $\frac{\Delta U_{пит}}{100\cos^2\varphi_{пит}} + \frac{\Delta U_{гр}}{100\cos^2\varphi_{гр}}$ |
| $\gamma$ | 0 | 0 | 0 | $K + M_к$ |

Обозначения: $\Delta U$ — потеря напряжения в осветительной сети от источника питания (трансформатора) до средней лампы, %; $\Delta U_{пит}$ — потеря напряжения в питающей сети от трансформатора до группового щитка, %; $\Delta U_{гр}$ — потеря напряжения в групповой сети от щитка до средней лампы, %; $M_к$ — стоимость монтажа конденсаторов, приходящихся на один светильник с лампой ДРЛ, руб.; $K$ — стоимость конденсаторов, приходящихся на один светильник с лампами ДРЛ, устанавливаемых на групповых линиях; $\cos\varphi$, $\cos\varphi_{пит}$, $\cos\varphi_{гр}$ — коэффициенты мощности осветительной установки с люминесцентными лампами, в питающей сети и в групповых сетях. Коэффициент $\gamma$ вводится в расчеты только для тех зданий, где требуется компенсация реактивной мощности.

распределить допустимую потерю напряжения $\Delta U$ в разветвленной линии исходя из минимума расчетных затрат.

Пусть токи на участках равномерно нагруженной трехфазной четырехпроводной линии будут $I_1$ и $I_2$, А; $P_1$ и $P_2$ — мощности на этих же участках, кВт; $\Delta U_1$ и $\Delta U_2$ потери напряжения; $s_1$ и $s_2$ — сечения проводов, мм²; $L_1$ и $L_2$ — длины участков, м; $\rho$ — удельное сопротивление, Ом·мм²/м; $a$ — постоянная составляющая стоимости проводов и монтажных работ, руб/м; $b$ — переменная составляющая, зависящая от сечения, руб/мм². Остальные обозначения указаны выше. Запишем выражения расчетных затрат для обоих участков:

$$З = E_\Sigma L_1 (a + bs_1) + \frac{3I_1^2 \rho L_1 \tau q' \cdot 10^{-3}}{s_1} +$$

$$+ E_\Sigma L_2 (a + bs_2) + \frac{3I_2^2 \rho L_2 \tau q' \cdot 10^{-3}}{s_2}.$$

Известно, что

$$s_1 = P_1 L_1/(C\Delta U_1); \quad s_2 = P_2 L_2/(C\Delta U_2) = P_2 L_2/[C(\Delta U - \Delta U_1)];$$

$$I_1 = P_1 \cdot 10^3/(\sqrt{3} U_{ном} \cos\varphi); \quad I_2 = P_2 \cdot 10^3/(\sqrt{3} U_{ном} \cos\varphi).$$

Обозначим далее

$$aE_\Sigma = A; \quad bE_\Sigma / C = B; \quad \rho\tau q' C 10^3/(U^2_{\text{ном}} \cos^2 \varphi) = D.$$

Тогда выражение для затрат в окончательном виде

$$З = A(L_1 + L_2) + BP_1 L_1^2/\Delta U_1 + D P_1 \Delta U_1 + BP_2 L_2^2/(\Delta U - \\ - \Delta U_1) + DP_2(\Delta U - \Delta U_1). \qquad (16.13)$$

Определим потери напряжения на первом участке при минимуме расчетных затрат:

$$\frac{dЗ}{d\Delta U_1} = D(P_1 - P_2) + BP_2 L_2^2/(\Delta U - \Delta U_1)^2 - BP_1 L_1^2/\Delta U_1^2 = 0. \qquad (16.14)$$

Получение достаточно простого выражения для $\Delta U_1$ из (16.14) затруднительно, однако путем подстановки чисел для конкретного случая определение $\Delta U_1$ для $З_{min}$ вполне возможно.

Отметим в заключение достаточно простую методику использования *экономических интервалов*. Для этого определяются граничные токи, А, исходя из условия равенства затрат для смежных сечений:

$$E_\Sigma L(a + bs_1) + 3I^2 \rho L \tau q' \cdot 10^{-3}/s_1 = E_\Sigma L(a + bs_2) + \\ + 3I^2 \rho L \tau q' \cdot 10^{-3}/s_2.$$

Принимая $E_\Sigma = 0{,}22$; $\rho = 0{,}03$ Ом·мм²/м; $q' = 0{,}02$ руб/(кВт·ч); $b = 0{,}04$ руб/(м·мм²), после простых преобразований получаем ток, А

$$I = \sqrt{\frac{4900 s_1 s_2}{\tau}}. \qquad (16.15)$$

Ниже для примера приведена табл. 16.4 экономических интервалов для трехфазных четырехпроводных линий, выполненных проводом АПВ-500 и проложенных скрыто в винипластовых трубах. Отметим, что сдвоенные и строенные линии экономических интервалов не имеют. Таблицы экономических интервалов могут быть составлены для любых проводок, и пользование ими упрощает вычислительную работу. При пользовании обычными методами расчетов целесообразно принимать сечения в пределах указанных экономических интервалов (конечно, с учетом прочих условий — допустимого нагрева и т. д.).

Таблица 16.4. **Экономические интервалы для трехфазных четырехпроводных сетей**

| Сечения, мм² | Экономические интервалы при τ=1000 ч/год | | Экономические интервалы при τ=2000 ч/год | |
|---|---|---|---|---|
| | Ток, А | Плотность тока, А/мм² | Ток, А | Плотность тока, А/мм² |
| 2,5 | 7 | 2,8 | 4,9 | 2 |
| 4 | 7—11 | 1,75—2,75 | 4,9—7,8 | 1,25—1,95 |
| 6 | 11—17 | 1,83—2,83 | 7,8—12 | 1,3—2 |
| 10 | 17—28 | 1,7—2,8 | 12—20 | 1,2—2 |
| 16 | 28—44 | 1,75—2,75 | 20—31 | 1,24—1,94 |
| 25 | 44—65 | 1,75—2,6 | 31—46 | 1,24—1,83 |
| 35 | 65—92 | 1,85—2,6 | 46—64,5 | 1,3—1,83 |
| 50 | 92—130 | 1,83—2,6 | 64,5—92 | 1,3—1,83 |
| 70 | 130—180 | 1,85—2,6 | 92—127 | 1,3—1,83 |
| 95 | 180—240 | 1,9—2,5 | 127—170 | 1,77—1,84 |

# Раздел пятый
# КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В электроустановках жилых и общественных зданий применяются различные вводно-распределительные устройства, этажные и квартирные щитки, силовые распределительные пункты, щитки с понижающими трансформаторами, шкафы и пункты с элементами автоматики противопожарных устройств. Они являются комплектными устройствами для приема и распределения электроэнергии в четырехпроводных электрических сетях до 1000 В. В комплектных устройствах смонтированы коммутационные и защитные аппараты, измерительные приборы, в отдельных случаях — аппаратура автоматики.

Типизация конструктивных решений строительной части зданий позволила унифицировать элементы их электроустановок и создать достаточно стабильную номенклатуру комплектных устройств. В свою очередь это открыло дорогу для их крупносерийного производства.

В современных жилых и общественных зданиях в основном выполняются скрытые электропроводки. Открытые проводки применяют лишь в подсобных помещениях —

подвалах, технических подпольях, на этажах, чердаках и в технических помещениях. При проектировании необходимо учитывать, что скрытые проводки в помещениях с нормальной средой имеют преимущества перед открытыми проводками как по условиям эстетическим, гигиеническим, безопасности и долговечности, так и, как правило, по стоимости и трудоемкости их монтажа. Поэтому всегда следует отдавать предпочтение скрытым электропроводкам. На выбор вида и трассы прокладки скрытых электропроводок влияют размещение электроприемников и планировочные решения. Не меньшее значение имеют конструктивное выполнение стен и перекрытий здания, способы изготовления строительных конструкций и методы их монтажа.

Как было указано в гл. 7, электрические сети подразделяются на питающие и групповые (в силовых сетях — распределительные). В жилых зданиях наибольший объем электромонтажных работ приходится на выполнение групповых электропроводок в квартирах, поэтажных коридорах и на лестничных клетках. Поэтому первостепенное внимание должно быть уделено наиболее экономичному и индустриальному способу их выполнения. В зависимости от вида применяемых проводок выбираются марки проводов, электроустановочные и электромонтажные изделия.

## Глава семнадцатая

# КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА

### 17.1. Вводно-распределительные устройства

Вводные (ВУ) или вводно-распределительные устройства устанавливаются в зданиях в местах ввода внешних питающих сетей и предназначены для присоединения к ним внутренних электрических сетей зданий и распределения электрической энергии. Схемы присоединения к внешним сетям, а также распределения электрической энергии в зданиях разнообразны. Однако, несмотря на разнообразие, они состоят по существу из сравнительно ограниченного числа отличающихся друг от друга элементов. В схемах вводной части ими являются один или два рубильника или переключателя с предохранителями, один или два автоматических выключателя, два автоматических выключателя или два контактора с аппаратурой АВР, а также все перечисленное выше в сочетании с аппаратурой измерения или учета.

В крупных зданиях число вводных коммутационных и защитных аппаратов в зависимости от нагрузок может быть три и более. Для распределительной части типичны сборки групп автоматических выключателей или предохранителей, сборки с аппаратурой учета, общей для всей сборки, и с аппаратурой учета на отдельных группах, а также с рубильниками или автоматическими выключателями на вводах сборок. Все перечисленное в распределительной части может сочетаться с аппаратурой автоматического управления освещением.

Номинальные токи аппаратуры вводной части обычно 250, 400, 630 А и в крупных зданиях 1000 А и более, распределительной части 16, 25, 40, 63, 100, 250 А и лишь в отдельных случаях 400 А.

Вводно-распределительные устройства состоят из элементов вводной и распределительной частей в разных сочетаниях. Выполняются ВРУ в виде щитов одностороннего или двустороннего обслуживания, которые собирают из панелей или шкафов. Простейшие ВРУ выполняются в виде одиночных панелей, шкафов и ящиков.

Аппараты типовых элементов, перечисленные выше, крепят на металлоконструкции (рамах) и соединяют в соответствии со схемой данного элемента. Рамы со смонтированной аппаратурой являются нормализованными элементами ВРУ и устанавливаются на каркасах панелей или в шкафах, из которых собирают щиты. При этом соблюдается следующее. Раму с аппаратурой учета при установке в шкафу размещают в отдельном отсеке, имеющем дверь, которая запирается независимо от других дверей шкафа. Перегородками разделяют аппаратуру вводов (неавтоматическую и автоматическую) питающих линий, отходящих от разных вводов, и аппаратуру, устанавливаемую в одном шкафу (на одной панели), присоединяемую к разным линиям, отключаемым независимо. Разделение перегородками необходимо для обеспечения безопасности при обслуживании. Рамы с аппаратурой, установленные на панелях или в шкафах, соединяют друг с другом шинами (в том числе изолированными) или проводами.

Во ВРУ, выполненных в виде щитов одностороннего или двустороннего обслуживания, токоведущие части не защищены от прикосновения и попадания на них посторонних предметов. Поэтому такие ВРУ устанавливают в специальных помещениях — электрощитовых. Кроме того, установка в электрощитовых вызвана необходимостью ограни-

чения доступа к рукояткам управления, которые выведены на фасады щитов.

В щитах, расположенных в шкафах, рукоятки управления установлены за дверями. Их запирают различными замками, и ключи передают соответствующему персоналу. Кроме того, у ВРУ этого типа исключена возможность случайного прикосновения к токоведущим частям и попадания на них посторонних предметов. Следовательно, их можно устанавливать в любых помещениях с нормальной средой, где перед фасадом ВРУ имеется проход шириной не менее 1—1,2 м. Кончно, при этом следует стремиться, чтобы ВРУ не устанавливались там, где часто проходят люди, что всегда вызывает неудобства при ремонтных и других работах.

Питающие кабельные линии вводятся снизу. К вводным зажимам каждого из переключателей вводного шкафа возможно присоединение четырех кабелей сечением до 150 мм$^2$. Вывод проводов или кабелей линий, отходящих от распределительных шкафов, возможен вверх (через крышки шкафов) или вниз. Все проводники, соединяющие аппаратуру, установленную в разных шкафах, проходят в верхней части этих шкафов.

Вводно-распределительное устройство является комплектным электрическим устройством заводского изготовления и поставляется отдельными шкафами или блоками из нескольких шкафов со всеми соединительными проводниками между ними, которыми могут быть как шины, так и изолированные провода. Заказ выполняется по опросному листу, образец которого приведен на рис. 17.1.

Указанные конструкции ВРУ устанавливают у стены в электрощитовых или других помещениях. Для ввода кабелей снизу во вводные шкафы и для вывода линий вниз из распределительных шкафов в полу в месте установки ВРУ должны быть выполнены приямки или открытый канал. В объем работ на месте монтажа входят установка шкафов над приямками или каналом; скрепление каркасов шкафов друг с другом; крепление шкафов к основанию (каждый шкаф крепится четырьмя болтами, дюбелями или штырями диаметром 12 мм); закрытие открытых боковых сторон крайних шкафов ВРУ торцевыми панелями (если эти панели не были установлены на заводе); прокладка нулевой шины (общей для всего ВРУ) в нижней части шкафов; прокладка и присоединение всех проводников между шкафами (дополнительных работ по оконцеванию не

требуется, так как эти проводники поставляются с полной монтажной готовностью, т. е. мерной длины и оконцованные); выполнение присоединения жил всех подходящих и отходящих линий; регулировка аппаратуры; установка патронов предохранителей (если они не были установлены на заводе).

В крупных городах — Москве, Ленинграде и др. применяют специальные серии ВРУ, предназначенные для уста-

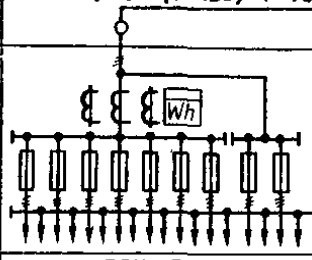
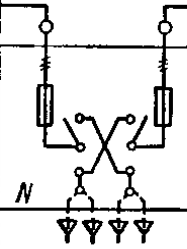
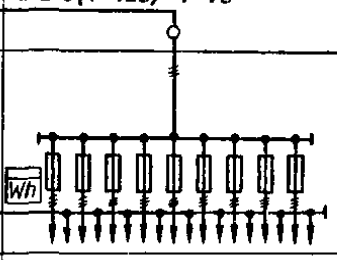
| | | | |
|---|---|---|---|
| Данные междушкафных соединений | АПВ 3(1×120)+1×70 | | АПВ 3(1×120)+1×70 |
| Схема ВРУ |  |  |  |
| Тип шкафа | ВРУ-Р15 | ВРУ-В2 | ВРУ-Р14 |
| Номер группы | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 | | 1 2 3 4 5 6 7 8 9 |
| Номинальный ток расцепителя или п. вк. пр. авки, А | 100 100 80 80 50 50 50 80 50 | | 30 30 30 30 50 50 50 80 80 |
| Кат.. ж ый номер автоматического выключателя | | | |
| Данные счетчика | СА4-И672М 380/220 В, 300/5А | | СА4-И672ПМ 380/220 В, 30 А |
| Данные трансформатора тока | ТК-20, 300/5А | | |

Рис. 17.1. Опросный лист для заказа ВРУ жилого дома

новки в многоэтажных зданиях. Так, например, в Москве изготовляются серийно и широко применяются ВРУ-78. На рис. 17.2 показаны вводная и распределительная панели этих ВРУ.

В серию входят вводные и распределительные шкафы, в том числе шкафы с АВР и специальные шкафы для подключения противопожарных установок. Во вводных шкафах имеются рубильники и переключатели до 630 А включительно, амперметры, вольтметры и счетчики. В распределительных шкафах имеются разнообразнейшие сочетания автоматических выключателей на разные номинальные токи и исполнения, обеспечивающие распределение энергии в жилых и общественных зданиях высотой до 25 этажей. В набор распределительных шкафов входят шкафы, в которых устанавливаются аппараты защиты общедомовых линий и автоматического управления лестничным и наружным освещением.

Для установки в специальных запирающихся помещениях ВРУ-78 поставляются без задних, боковых стенок и дверей (в исполнении 1Р00). Широкое распространение имеют также панельные щиты одностороннего обслуживания типа

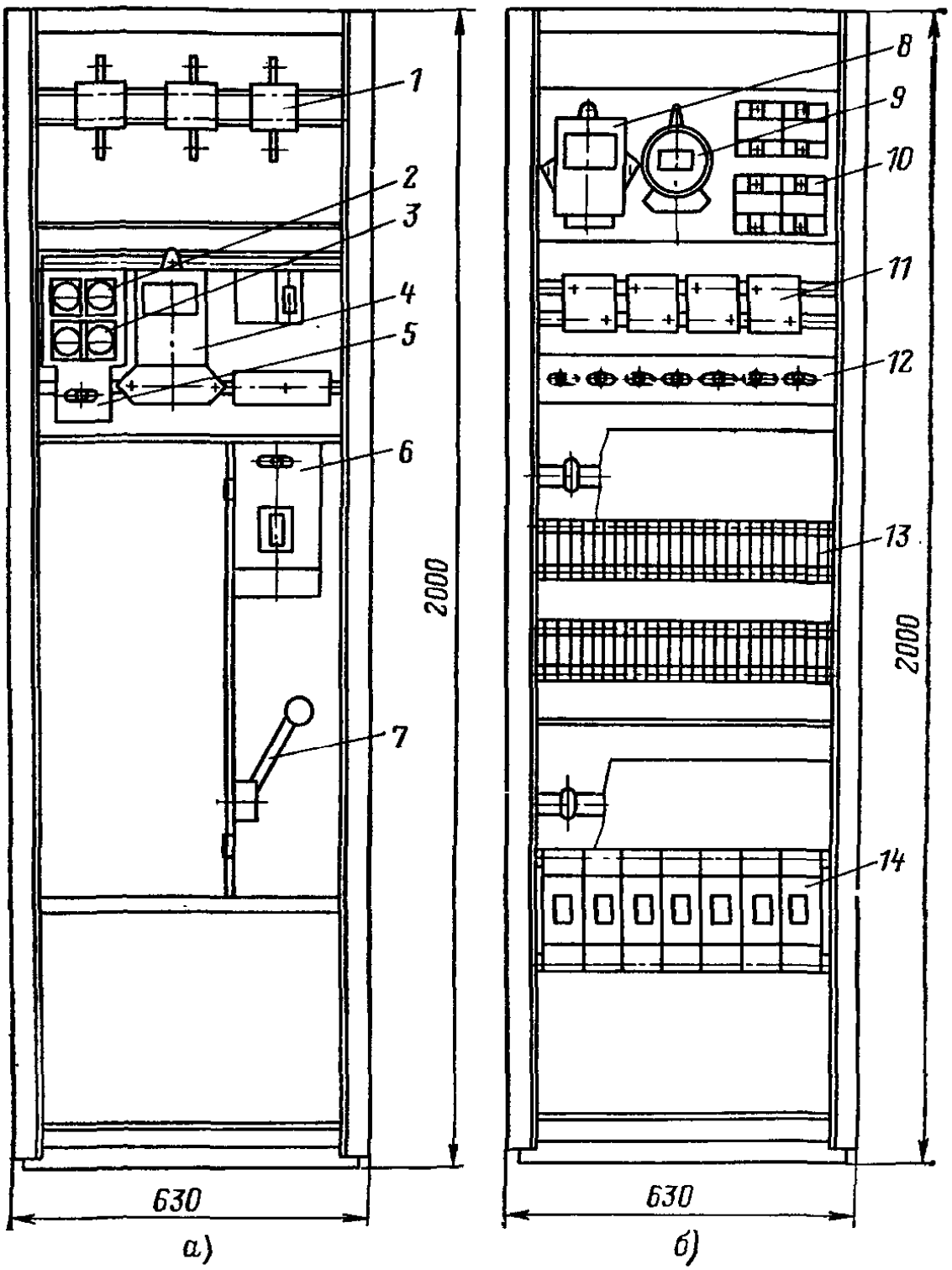



Рис. 17.2. Шкафы ВРУ-78 со снятыми дверьми:

*а* — вводный шкаф; *б* — распределнтельная панель; *1* — трансформаторы тока; *2* — амперметры; *3* — вольтметры; *4* — счетчнк; *5* — вольтметровый переключатель; *6* — выключатель; *7* — переключатель вводный; *8* — реле временн 2РВМ; *9* — фотовыключатель; *10* — реле промежуточные; *11* — пускателн магнитные; *12* — выключатель; *13* — автоматическне выключатели однополюсные АЕ1031; *14* — автоматические выключатели трехполюсные АЕ2046

ЩО-70 с большим набором различных схем на предохранителях и автоматических выключателях.

Следует отметить, что для успешного крупносерийного производства ВРУ и полного обеспечения такими устройствами массового жилищного и гражданского строительства необходима дальнейшая типизация и унификация этих устройств. Прогрессивная тенденция крупноблочного, объемного изготовления комплектных устройств, бесспорно, должна отразиться на конструкции ВРУ. Целесообразно выполнение ВРУ в виде одинарных блоков-шкафов со всей полностью соединенной аппаратурой. Некоторый избыток в аппаратуре против требуемой по проекту, установленной в таких ВРУ, всегда может быть компенсирован сокращением запасных аппаратов, передаваемых заводом-поставщиком заказчику.

## 17.2. Распределительные пункты и щитки

Распределительные пункты и щитки подразделяются:

а) по типам аппаратов на отходящих линиях — с предохранителями, с автоматическими выключателями;

б) по схемам электрических соединений — для четырех-, трех- или двухпроводных отходящих линий, с вводными или без вводных аппаратов;

в) по роду защиты от воздействия окружающей среды (виды защиты регламентированы ГОСТ);

г) по способу установки — навесные, напольные и утопленные.

Существуют щитки, предназначенные специально для жилых зданий, и щитки и распределительные пункты, предназначенные для установки в различных общественных зданиях.

В жилых зданиях применяются щитки следующих видов:

а) этажные (лестничные) защитные с аппаратурой защиты вводов в квартиры; б) этажные (лестничные) учетные с аппаратурой защиты групповых линий квартир, счетчиками и коммутационными аппаратами, устанавливаемыми перед счетчиками; в) этажные (лестничные), совмещенные со счетчиками и аппаратурой, такими же, как в этажных лестничных учетных щитках, и, кроме того, имеющие дополнительное отделение, в котором размещаются устройства телефонной, радиотрансляционной и телевизионной сетей; г) квартирные с аппаратурой защиты групп, счетчи-

ками и коммутационными (допускающими коммутацию под нагрузкой) аппаратами на вводах.

Для перечисленных щитков стандарт рекомендует автоматические выключатели, но допускает также применение резьбовых предохранителей. Этажный щиток для установки в нише представляет собой раму с шасси и дверью. На шасси рамы, на отдельных основаниях укреплены счет-

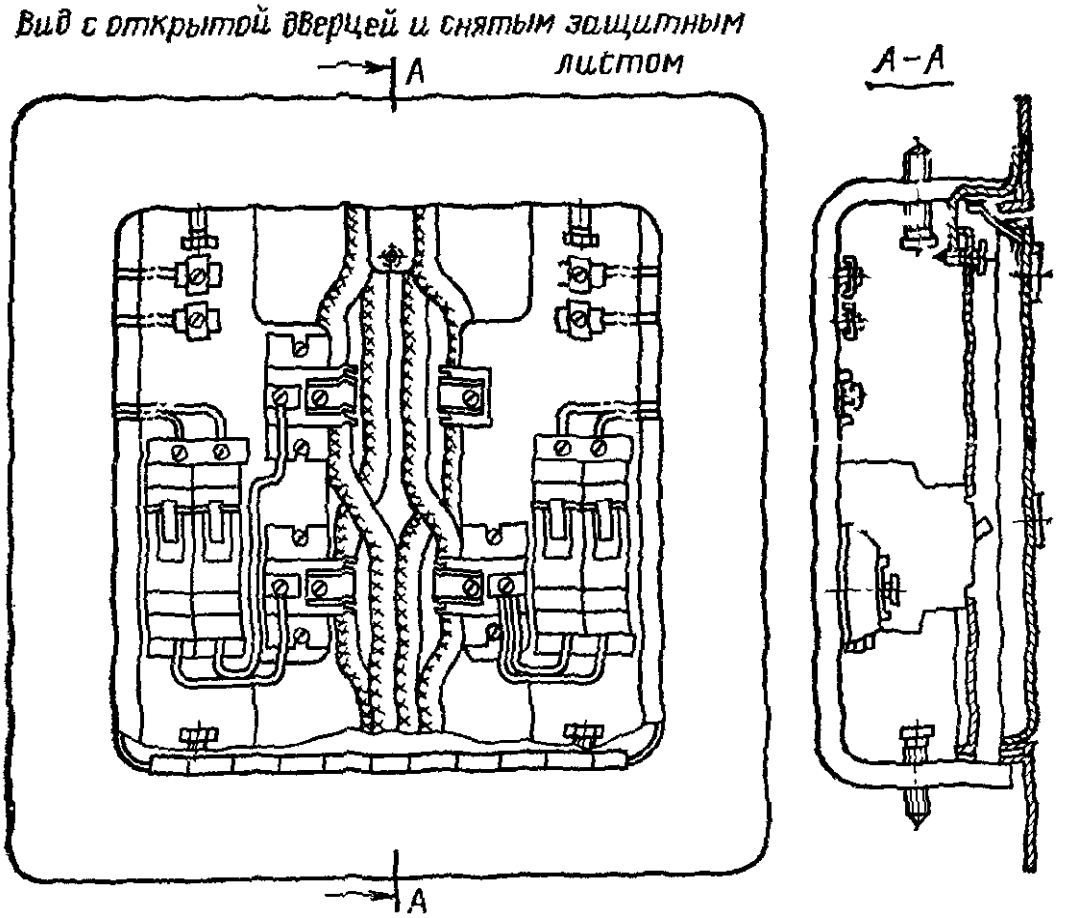



Рис. 17.3. Этажный щиток с аппаратурой защиты

чики, защитные и коммутационные аппараты и зажимы. В пределах щитка выполнены все соединения. Этажные щитки защитные содержат только защитную аппаратуру вводов в квартиры и применяются, когда счетчики и защитная аппаратура групповых линий квартир установлены на квартирных щитках.

На рис. 17.3 показан этажный щиток для присоединения четырех квартирных щитков. На шасси рамы справа и слева установлены четыре автоматических выключателя, ответвительные зажимы для присоединения автоматических выключателей к проводам магистрали (стояка) и зажимы для присоединения нулевых проводов вводов в квартиры к

нулевому проводу питающей линии. Щиток укрепляется в нише при помощи четырех распорных болтов, имеющихся на шасси. Провода магистрали, таким образом, проходят в нише, но они не мешают установке или снятию щитка и могут прокладываться как до, так и после его установки. Дверца щитка удерживается в закрытом положении защелкой.

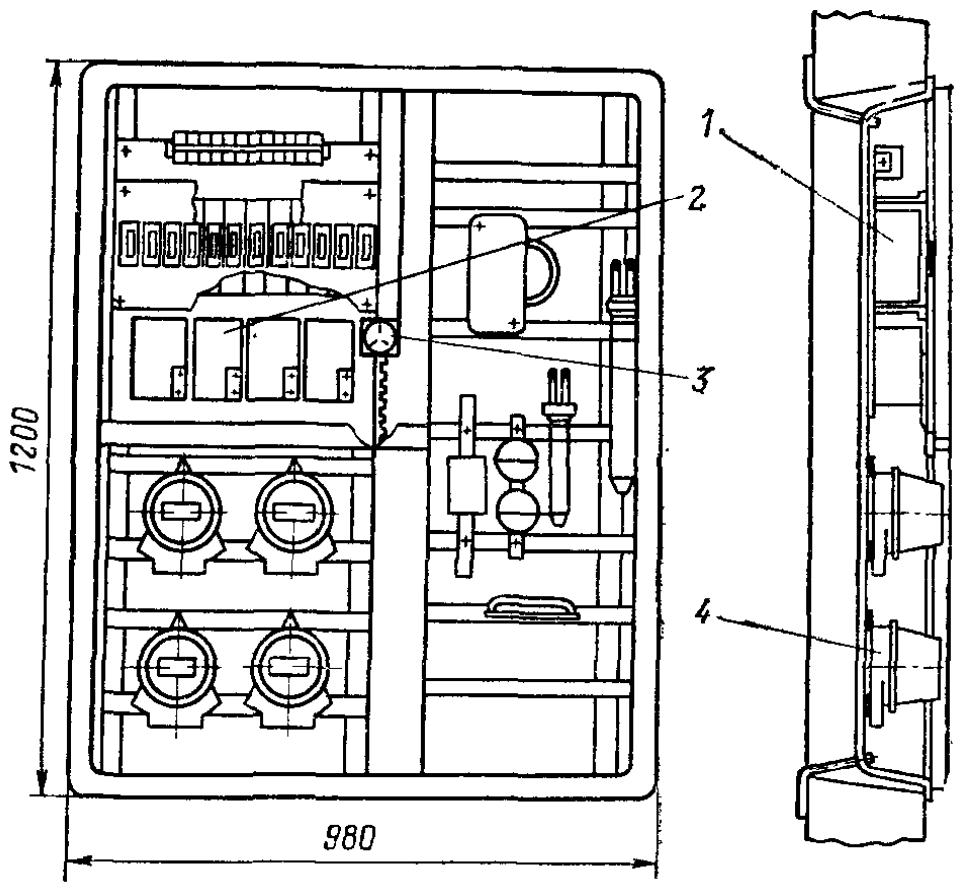



Рис. 17.4. Этажный щиток типа ШЛС-4:

*1* — выключатель автоматический АЕ1031; *2* — выключатель автоматический АП50; *3* — розетка У-94-0; *4* — счетчик однофазный типа СО

На этажных щитках учетных (обычно запирающийся электрошкаф) сосредоточена вся защитная аппаратура и счетчики квартир. В пределах щитка (т. е. до ответвительных зажимов) выполнены все соединения. В верхнем отсеке, куда имеют доступ жильцы, расположены автоматические выключатели для защиты групповых квартирных сетей и автоматические или пакетные выключатели для полного отключения квартирной сети.

В нижнем отсеке, куда доступ имеют только работники энергосбыта, установлены счетчики. Перед циферблатами счетчиков в двери имеются окна, закрытые стеклами.

Щиток укрепляется в нише при помощи четырех распорных болтов, имеющихся на шасси.

Этажный щиток совмещенный отличается от этажного учетного щитка наличием отсека для аппаратуры телефонных, радиотрансляционных и телевизионных сетей.

**Этажный щиток совмещенный** типа ШЛС-4, применяемый в Москве, для установки в нишах показан на рис. 17.4. На рис. 17.5 показан общий вид установки щитка ШЛС-4 в специальном железобетонном электроблоке. В этом же блоке размещаются шкафы ШАС, в которых устанавливаются (только на первом этаже) автоматические выключатели для защиты стояков и их отключения при ремонтах. В верхней части блока устанавливается обрамление ОД-9 с дверкой для протяжки проводов.

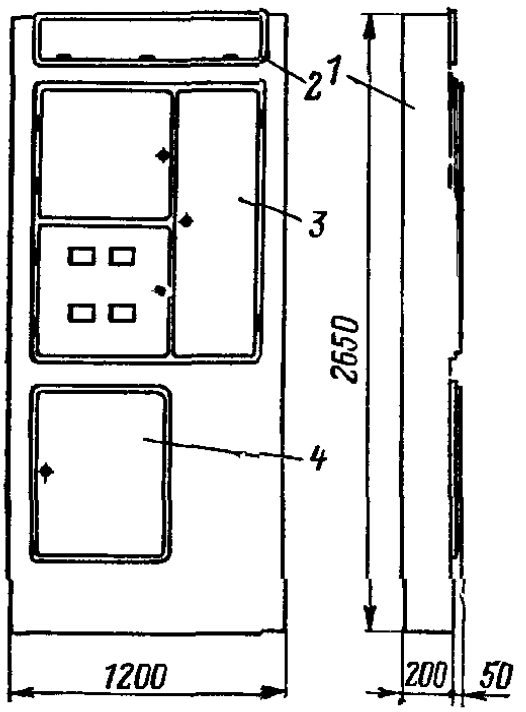



Рис. 17.5. Общий вид установки этажных щитков в электроблоке:

*1* — электроблок; *2* — обрамление; *3* — распределительный шкаф ШЛС-4; *4* — шкаф с автоматическим выключателем защиты стояка типа ШАС

**Квартирные щитки** содержат счетчики и аппаратуру защиты групповых линий квартирной сети и применяются, если счетчики и аппаратура не вынесены на этажные щитки. Существуют конструкции таких щитков для установки в нише ЩУН и на стене ЩУС.

**Комплектный этажный распределительный токопровод (КЭРТ).** Перспективным для жилищного строительства является устройство типа КЭРТ, заменяющее собой щитки, устанавливаемые на этаже, а также бетонные электроблоки.

Токопровод КЭРТ представляет собою шкафную металлическую конструкцию заводского изготовления, которая поступает на строительную площадку в смонтированном виде. На строительстве необходимо выполнить межэтажные соединения проводов стояка (методом опрессования) и прокладку групповой сети и сетей связи. В КЭРТ предусмотрена возможность установки автоматических выключателей защитного отключения, а также прокладки в квартиры сетей переговорно-запорных устройств.

В общественных зданиях применяются магистральные, групповые щитки и распределительные пункты для управления и защиты от КЗ и перегрузок групповых осветительных и силовых распределительных сетей.

Существующие конструкции подразделяются:

по типам аппаратов на отходящих линиях — с предохранителями, с автоматическими выключателями;

по схемам электрических соединений — для четырех-, трех-, двухпроводных отходящих линий, с вводными или без вводных аппаратов;

по роду защиты от воздействия окружающей среды;

по способу установки — навесные, утопленные, напольные;

по наличию аппаратуры для дистанционного управления освещением.

Из наиболее распространенных отметим распределительные пункты серии ПР9000, ПР-11, ПР-21, ПР-24, силовые распределительные пункты СУ9500 и групповые распределительные щитки серии СУ9400, осветительные щитки серий ОЩ и ОЩВ, ЩО, ЩОА, ЩОАУ (с уплотнением), УОЩВ и др.

Для силовых электроустановок находят применение шкафы станций управления ШСУ и ШУ, в которых на заводах по заказным схемам встраиваются блоки управления с магнитными пускателями, переключателями выбора схемы управления (автоматического или ручного), кнопочными постами, сигнальной арматурой и сборками зажимов. Широкая номенклатура щитов станций управления позволяет использовать их для управления самыми различными электроприводами.

## Глава восемнадцатая

# ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

### 18.1. Установочные провода

Электропроводки в жилых и общественных зданиях выполняются в основном незащищенными изолированными установочными проводами с алюминиевыми жилами, защищенными проводами, а также кабелями марок АНРГ, АВРГ, АВВГ и т. п.

*Характеристики установочных проводов.* **Провод марки АПВ** — одножильный с алюминиевой жилой и поливинил-

хлоридной изоляцией на 380 и 660 В, изготовляется сечением 2,5—120 мм²* и применяется для прокладки в трубах, пустотах несгораемых строительных конструкций, коробах, в пластмассовых плинтусах и на лотках.

**Провод марки АППВС** — двухжильный или трехжильный плоский с алюминиевыми жилами и поливинилхлоридной изоляцией, изготовляется сечением 2,5—6 мм² на 380 В и применяется для скрытой прокладки под штукатуркой, а также в осветительных сетях для прокладки в каналах, пустотах несгораемых строительных конструкций и замоноличивания в строительные конструкции.

**Провод марки АППВ** — двухжильный или трехжильный плоский с разделительной пленкой, с алюминиевой жилой и поливинилхлоридной изоляцией, изготовляется сечением 2,5—6 мм² на 380 и 660 В и применяется для открытой прокладки непосредственно по несгораемым конструкциям. Этот провод часто применяется также при замоноличивании в строительные конструкции.

**Провод марки АПН** — одно-, двух- и трехжильный с алюминиевыми жилами и найритовой резиновой изоляцией, изготовляется сечением 2,5 и 4 мм², а одножильные также 6 мм², на 500 В и применяется для скрытой прокладки под штукатуркой, а также допускается для применения в пустотах строительных конструкций. Находит некоторое применение для открытой прокладки с креплением путем приклеивания.

**Провод марки АПР** — одножильный с резиновой изоляцией, в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, изготовляется сечением 2,5—400 мм² на 660 В и применяется для открытой прокладки на роликах и изоляторах, а также допускается для прокладки в трубах и коробах в сухих и влажных помещениях.

**Провод марки АПРВ** — одножильный с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке, изготовляется сечением 2,5—6 мм² на 660 В и применяется для открытой прокладки на роликах и изоляторах, а также допускается для прокладки в трубах и коробах в сухих и влажных помещениях.

**Провод марки АПРТО** — с алюминиевыми жилами и резиновой изоляцией с хлопчатобумажной пропитанной оплеткой на 660 В для прокладки в стальных трубах, изго-

---

* Разработаны и организуется производство алюминиевых проводов сечением 2, 3, 5, 8 мм².

товляется одножильный сечением 2,5—400 мм² и с числом жил 2; 3 и 3+1 — сечением 2,5—120 мм². Применение проводов марки АПРТО в других условиях нецелесообразно.

**Провод марки АПП** — с алюминиевой жилой и изоляцией из полиэтилена пониженной горючести на 660 В для прокладки в трубах из негорючего или трудногорючего материала в каналах несгораемых строительных конструкций, изготовляется одножильный сечением 2,5—35 мм².

**Провод марки АППР** — с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией пониженной горючести на 660 В для неподвижной прокладки по деревянным основаниям в жилых и производственных сельскохозяйственных помещениях, изготовляется одно- и двухжильным сечением 2,5 и 4 мм².

**Провод марки АПРН** — с алюминиевой жилой и резиновой изоляцией в хлорпреновой оболочке пониженной горючести на 660 В для неподвижной прокладки в сухих и сырых помещениях в трубах, каналах негорючих строительных конструкций, а также в наружных установках, изготовляется одножильным сечением 2,5—95 мм².

Провода с медными жилами разрешается применять только во взрывоопасных помещениях классов В-I и В-Iа, кинопроекционных, выпрямительных, перемоточных, зрительных залах при числе мест 800 и более, на сценах, а также для гибких вводов к электродвигателям, установленным на виброосновaниях. Кроме того, по требованиям СНиП провода с медными жилами применяются для проводок в стиральных помещениях прачечных и химчисток.

Провода с медными жилами сечением до 1 мм² включительно применяются в цепях пожарной сигнализации, диспетчеризации, слабых токов, измерительных и некоторых других цепях автоматики.

Специальный провод нагревостойкий с медными жилами с изоляцией из кремнийорганической резины **марки РКГМ** сечением 0,75—120 мм² на 660 В применяется для подключения светильников и некоторых силовых электроприемников при повышенной температуре окружающей среды.

**Выбор марки проводов.** При выборе марки проводов следует учитывать, что в стандартах и технических условиях на провода указывается преимущественная область их применения, т. е. условия, для которых они предназначаются. Однако в практике строительства приходится прокладывать провода и в других условиях, а при выполнении скрытых проводок часто провода одной цепи на протяжении

ее трассы прокладываются в разных условиях. Так, например, во внутриквартирной проводке в стенах провода могут быть проложены под штукатуркой, но эти же провода при переходе в перекрытия проложены в пустотах, каналах, трубах и т. д. В таких случаях следует выбирать провода исходя из условий наиболее тяжелых и протяженных участков трассы, допуская на коротких участках отступления от рекомендаций по преимущественному применению проводов. Предпочтение при этом следует отдавать проводам с поливинилхлоридной изоляцией.

Рекомендации по области применения проводов в зависимости от вида проводки, способа прокладки проводов и характеристики окружающей среды даны в Указаниях по выбору и применению установочных электрических проводов.

## 18.2. Прокладка питающих и распределительных сетей

Выбор видов электропроводок, способов прокладки и характеристики проводов и кабелей должен производиться по табл. 18.1, заимствованной из ПУЭ. Однако, учитывая необходимость обеспечения противопожарной безопасности ПУЭ, предусматривают ряд дополнительных условий, исходя из которых вид проводки должен соответствовать указаниям табл. 18.2.

Ниже излагаются конкретные рекомендации по устройству электропроводок в жилых и общественных зданиях.

**Электропроводки в жилых зданиях.** *Прокладка питающих сетей* от ВРУ к квартирам, для освещения лестниц, к лифтам и другим приемникам общедомового назначения осуществляется по техническому подполью или подвалу открыто в тонкостенных металлических или винипластовых трубах[1], а также в коробах и лотках [2].

Трубы и лотки в подпольях и подвалах в зависимости от конструкции здания крепятся к стенам на скобах или кронштейнах или подвешиваются к перекрытиям. Ответвления в трубных проводках выполняются в металлических ответвительных коробках или протяжных ящиках. Трубы соеди-

[1] Открытая прокладка винипластовых труб в зданиях высотой 10 этажей и более запрещается.

[2] Прокладка на лотках незащищенных изолированных проводов в техподпольях разрешается при отсутствии в них газопроводов, относительной влажности не более 65 % и в тех случаях, когда в подполья имеет доступ только обученный персонал. Высота прокладки проводов в этом случае не нормируется.

Таблица 18.1. **Выбор видов электропроводок, способов прокладки и характеристик проводов и кабелей**

| Способ прокладки | Характеристики проводов и кабелей | Условия окружающей среды |
|---|---|---|
| | **Открытые электропроводки** | |
| На изолирующих опорах: | | |
| на роликах и клицах | Провода незащищенные одножильные | В сухих и влажных помещениях |
| то же | Провода скрученные двухжнльные | В сухих помещениях |
| на изоляторах, а также на роликах, предназначенных для применения в сырых местах | Провода незащищенные одножильные | В помещениях всех видов и наружных установках; ролики для сырых мест (больших размеров) допускается применять только в местах, где нсключена возможность непосредственного попадания на электропроводку дождя или снега (под навесами) |
| Непосредственно на поверхности стен, потолков и на струнах, полосах и других несущих конструкциях | Кабели в неметаллической и металлической оболочках | В наружных установках |
| То же | Провода незащищенные и защищенные одно- и многожильные, кабели в неметаллической и металлической оболочках | В помещениях всех видов |
| На лотках и в коробах с открываемыми крышками | То же | В помещениях всех видов и наружных установках |
| На тросах | Специальные провода с несущим тросом. Провода незащищенные и защищенные одно- и многожильные. Кабели в неметаллической и металлической оболочках | В помещениях всех видов. В наружных установках — только специальные проводы с несущим тросом для наружных установок или кабели |

**Открытые и скрытые электропроводки**

| | | |
|---|---|---|
| В металлических гибких рукавах. В стальных трубах (обыкновенных и тонкостенных) и глухих стальных коробах. В неметаллических трубах и неметаллических глухих коробах из трудносгораемых материалов. В трубах изоляционных с металлической оболочкой | Провода незащищенные и защищенные одножильные и многожильные. Кабели в неметаллической оболочке | В помещениях всех видов и наружных установках. Исключения:<br>1. Запрещается применение изоляционных труб с металлической оболочкой в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках<br>2. Запрещается применение стальных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и в наружных установках |

**Скрытые электропроводки**

| | | |
|---|---|---|
| В неметаллических трубах из сгораемых материалов (несамозатухающий полиэтилен и т. п.). В замкнутых каналах строительных конструкций. Под штукатуркой | Провода незащищенные и защищенные одножильные и многожильные. Кабели в неметаллической оболочке | В помещениях всех видов и наружных установках. Исключения:<br>1. Запрещается применение изоляционных труб с металлической оболочкой в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках<br>2. Запрещается применение стальных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках |
| Замоноличенная в строительных конструкциях при их изготовлении | Провода незащищенные | В сухих, влажных и сырых помещениях |

Таблица 18.2. **Выбор электропроводок по условиям пожарной безопасности**

| Электропроводки | Прокладка по основаниям и конструкциям | | |
|---|---|---|---|
| | из сгораемых материалов | из трудносгораемых материалов | из несгораемых материалов |
| **Открытые электропроводки** | | | |
| Незащищенные провода | На роликах, изоляторах или с подкладкой под провода несгораемых материалов[1] | Непосредственно | Непосредственно |
| Защищенные провода и кабели в оболочке: | | | |
| из сгораемых материалов | То же | То же | То же |
| из трудносгораемых материалов | Непосредственно | » » | » » |
| из несгораемых материалов | » | » » | » » |
| Трубы и короба: | | | |
| из сгораемых материалов | Запрещается | Запрещается | Запрещается |
| из трудносгораемых материалов | Запрещается | Непосредственно | Непосредственно |
| из несгораемых материалов | Непосредственно | » | » |

**Скрытые электропроводки**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Незащищенные провода | С подкладкой несгораемых материалов[1] и последующим оштукатуриванием или защитой со всех сторон сплошным слоем других несгораемых материалов | Непосредственно | Непосредственно |
| Защищенные провода и кабели в оболочке: | | | |
| из сгораемых материалов | То же | То же | То же |
| из трудносгораемых материалов | С подкладкой несгораемых материалов[1] | » » | » » |
| из несгораемых материалов | Непосредственно | » » | » » |
| Трубы и короба: | | | |
| из сгораемых материалов | Запрещается | Замоноличенно, в бороздах и т. п.— в сплошном слое несгораемых материалов[2] | |
| из трудносгораемых материалов | С подкладкой под трубы несгораемых материалов[1] и последующим заштукатуриванием[3] | Непосредственно | Непосредственно |
| из несгораемых материалов | Непосредственно | » | » |

[1] Подкладка из несгораемых материалов должна выступать с каждой стороны провода, кабеля, трубы или короба не менее чем на 10 мм.

[2] Сплошным слоем несгораемого материала вокруг трубы (короба) может быть слой штукатурки, алебастрового, цементного раствора или бетона толщиной не менее 10 мм.

[3] Заштукатуривание трубы осуществляется сплошным слоем штукатурки или алебастра толщиной не менее 10 мм над трубой.

няются на муфтах или манжетах, допускаются сварные соединения.

Для экономии труб и уменьшения числа каналов в строительных конструкциях разрешается совместная прокладка в них проводов одного вида освещения (рабочего или эвакуационного) при числе проводов в трубе или канале не более 12-ти. При этом совместная прокладка взаимно резервируемых цепей, а также цепей рабочего и эвакуационного освещения запрещается. Допускается совмещение нулевых проводов питающих линий квартир и групповых линий лестничного освещения.

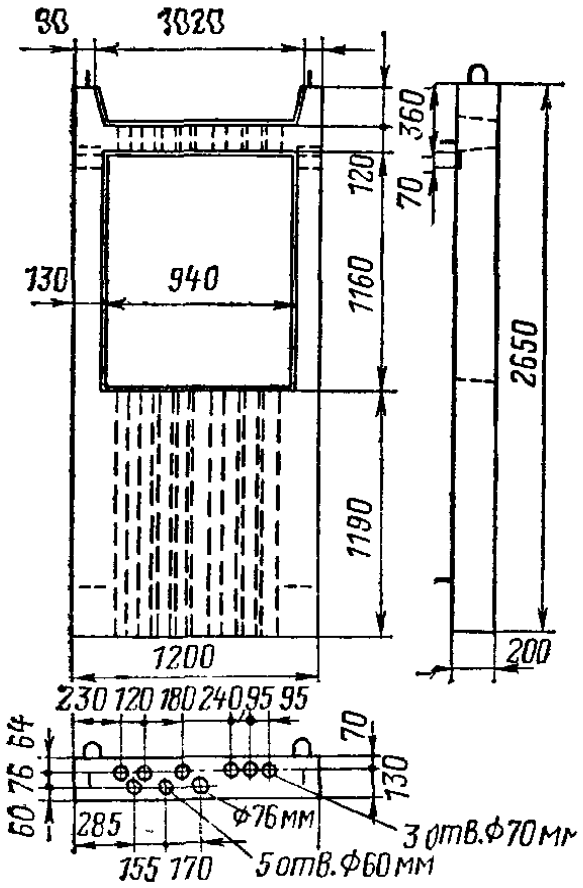



Рис. 18.1. Общий вид железобетонного электроблока

При большом числе параллельно прокладываемых труб их целесообразно монтировать блоками, изготовленными на заготовительных предприятиях монтажных организаций.

В случаях прокладки в технических подпольях и подвалах труб распределительных газопроводов выполнение в них электротехнических сетей должно соответствовать Указаниям по проектированию внутриквартальных инженерных коммуникаций в коллекторах, технических подпольях, технических коридорах и подвалах (СН 338—65).

Подъем проводов линий (стояков), питающих квартиры и освещение лестниц и поэтажных коридоров, осуществляется скрыто в каналах стен лестничной клетки или поэтажных коридоров. Прокладывать стояки внутри квартир не рекомендуется ввиду практической недоступности их для ремонта. Не разрешается совместная прокладка в общем канале сетей сильных и слабых токов. В этих же стенах устанавливаются поэтажные щитки и шкафы для питания квартир и разветвления сетей слабых токов. В кирпичных зданиях каналы и ниши для установки щитков выполняют-

ся в процессе строительства здания при помощи инвентарных труб и шаблонов.

В крупнопанельных и крупноблочных зданиях каналы для подъема электрических сетей и ниши для щитков выполняют в специальных бетонных электроблоках или электропанелях. Пример строительного задания на электроблок дан на рис. 18.1. Электроблоки и электропанели изготовляются на заводах в металлических формах; каналы и ниши образуются в них при помощи инвентарных труб и шаблонов.

Линии, питающие лифты, прокладываются в каналах электропанелей или в шахтах лифтов, а также в специальных совмещенных блоках, предназначенных для прокладки инженерных коммуникаций[1]. При питании нескольких лифтов от общей магистрали ко второму и последующим лифтам магистраль прокладывается в совмещенной кровле или по чердаку в трубах. В некоторых случаях прокладка по чердаку между секциями дома затруднена и осуществляется по техническому подполью. Кроме того, в отдельных каналах электропанелей прокладываются сети телевидения и радиотрансляции. Ни в коем случае нельзя совмещать в одном канале, трубе, коробе и с другими сетями линии питания и управления всех видов противопожарных устройств. Их следует прокладывать в отдельных каналах, коробах, трубах.

При установке светильников на промежуточных площадках в лестничной клетке провода для их питания прокладывают скрыто под штукатуркой, в каналах или замоноличивают в стене и лестничной площадке. Провода сети освещения технических подполий и подвалов в зависимости от конструкции перекрытия могут прокладываться скрыто в каналах либо открыто в трубах.

Следует отметить, что в крупнопанельных бескаркасных зданиях техническое подполье или подвал пересекает большое число опорных железобетонных стен, затрудняющих прокладку электрических сетей и осложняющих устройство электрического освещения. В этих стенах предусматриваются проемы для прокладки электрических, а также санитарно-технических сетей. Для прокладки питающих и общедомовых групповых сетей в трубах и каналах обычно применяют провода марок АПВ, АПР, реже — АПРТО, а в

---

[1] Для многоэтажных зданий последнее решение следует считать предпочтительным.

групповых сетях освещения также АППВС. Для освещения технических подполий, подвалов и чердаков следует применять светильники в защищенном исполнении с лампами накаливания, а при наличии газопроводов трубы, в которых проложены провода, должны соединяться на резьбе, выключатели должны выноситься из этих помещений.

*Групповые электрические сети квартир* состоят из подводки питания к светильникам общего освещения помещений, к штепсельным розеткам для присоединения светильников местного освещения и бытовых приборов, а в домах с электроплитами — к электроплитам.

В жилых комнатах светильники (люстры) общего освещения подвешивают, как правило, на потолке в центре комнаты. В глубоких комнатах светильник общего освещения часто смещают от центра. По мнению авторов, в спальных комнатах малого размера (до 10 м$^2$) в случаях затруднений с прокладкой проводов в перекрытиях можно для общего освещения допустить установку настенных светильников. В жилых комнатах площадью 12 м$^2$ и более предусматривается возможность установки многоламповых светильников с включением ламп двумя группами, для чего к светильнику прокладываются три провода и устанавливается сдвоенный выключатель или переключатель.

В кухнях малого размера, передних, ванных комнатах и уборных светильники могут устанавливаться на потолке или стене. В кухнях целесообразно предусматривать розетки для установки дополнительного светильника над рабочим столом хозяйки либо встроенного в кухонную мебель, а также подключения надплитного фильтра.

При строительстве жилых домов для комнат, кухонь и передних предусматривают установку только подвесных или стенных патронов, учитывая, что при въезде в квартиру жильцы устанавливают бытовые светильники по своему выбору. В этих помещениях проектами предусматриваются в месте выхода проводов из перекрытия подвеска патрона и установка крюка для светильника. В жилых комнатах разрешается вместо подвесных патронов устанавливать набор зажимов для подсоединения люстры или другого бытового светильника, а в кухне — набор зажимов и подвесной патрон, подключаемый к этим зажимам.

В ванных комнатах и уборных светильники с лампами накаливания и патроны должны быть из изолирующего материала. В ванных комнатах следует применять освети-

тельную арматуру с защитным стеклом и с заглубленным патроном или патроном с высоким изолирующим кольцом. При установке светильников с люминесцентными лампами они должны иметь специальную конструкцию патрона, исключающую прикосновение к токоведущим частям.

Штепсельные розетки в помещениях следует устанавливать с учетом вероятного размещения мебели и наиболее удобных мест подключения электрических приборов. В общей комнате желательно устанавливать одну или две сдвоенные розетки для присоединения приборов без увеличения протяженности сети. Широко применяются также надплинтусные штепсельные розетки. Высота установки розеток не регламентируется.

Выключатели для светильников общего освещения в жилых комнатах устанавливают внутри у входа в комнату; для светильников в ванной комнате и уборной выключатели должны располагаться снаружи — в передней или коридоре. Настенные выключатели размещаются на высоте 1,5 м.

Светильники в санузлах размещают так, чтобы проводка в стенах этих помещений была наименьшей длины и располагалась в удалении от труб водопровода и канализации.

Подпотолочные выключатели с управлением шнурком целесообразно применять в случаях, когда конструкции или технология изготовления стеновых панелей затрудняют применение настенных приборов для утопленного монтажа.

Способы скрытой прокладки групповой сети в квартирах, поэтажных коридорах, вестибюлях и других сухих помещениях жилых домов выбираются в зависимости от конструкции стен, перегородок, перекрытий и полов. В кирпичных и шлакобетонных оштукатуренных стенах проводка выполняется специальными проводами (АППВС) непосредственно под слоем штукатурки. В стенах из крупных бетонных блоков проводка выполняется в швах между блоками. Отдельные участки проводок выполняются в штрабах.

В гипсобетонных сборных стенах и перегородках из отдельных плит провода прокладывают в бороздах, выполненных при изготовлении плит или на месте строительства, с заделкой провода штукатурным или гипсовым раствором. В кирпичных, шлакобетонных, бетонных стенах и гипсобетонных сборных стенах и перегородках ниши для установки

разветвительных коробок и под выключатели и штепсельные розетки выполняют фрезерованием специальной коронкой к электродрели. Борозды выполняют также фрезерованием с помощью электродрели и специального приспособления или с помощью пневматического молотка и долбежника совковой формы. В гипсобетонных стеновых панелях «на комнату» провода прокладывают в каналах или закладывают в толщу панели при ее изготовлении (замоноличивание).

В перекрытиях из сборных многопустотных железобетонных плит провода прокладывают в пустотах плит или в неметаллических трубах, уложенных поверх плит перекрытия в подготовке пола. Наиболее экономичен первый способ, но применение его не всегда целесообразно из-за несовпадения направлений пустот и трассы проводки.

При выполнении полов из линолеума, когда поверх плит перекрытия часто имеется лишь тонкий выравнивающий слой подготовки, для выхода проводов к соответствующему отверстию плиты приходится выполнять обход проводки по стенам. Применявшаяся ранее прокладка алюминиевых проводов в подготовке пола (если она имеется) поверх плит перекрытия с заливкой цементным раствором на практике себя не оправдала из-за необходимости применения мокрого процесса, невозможности смены проводки в эксплуатации и недостаточной защиты проводок на время проведения работ по укладке пола.

В железобетонных сплошных панелях стен и перекрытий (в крупнопанельных зданиях) провода прокладывают в каналах, образуемых при изготовлении плит, или замоноличивают их в этих плитах. Устройство скрытой проводки в таких панелях с глухой заделкой (замоноличиванием) установочных проводов с алюминиевыми жилами в тело железобетонных панелей в случаях повреждения проводов в процессе монтажа или эксплуатации приводит практически к переходу на открытую прокладку. Поэтому такой способ прокладки допускается лишь в случаях серьезных технологических затруднений в выполнении каналов в железобетонных плитах. Кроме того, применение замоноличенных проводок допускается с некоторыми ограничениями. В частности, их запрещается закладывать в конструкции, если бетон имеет добавки, вредно действующие на изоляцию и жилы проводов (алюминат натрия, поташ и т. д.). Тепловая обработка при температуре не более 100° панелей должна продолжаться не более 24 ч. В настоящее вре-

мя замоноличенная проводка сохраняется еще при прокатном способе производства железобетонных конструкций.

Основным затруднением в применении канальной системы прокладки проводов в крупнопанельном строительстве в настоящее время является то, что по технологическим причинам как при кассетном, так и при прокатном способах изготовления панелей не всегда возможно образование протяженных прямых каналов без закладки труб, остав-

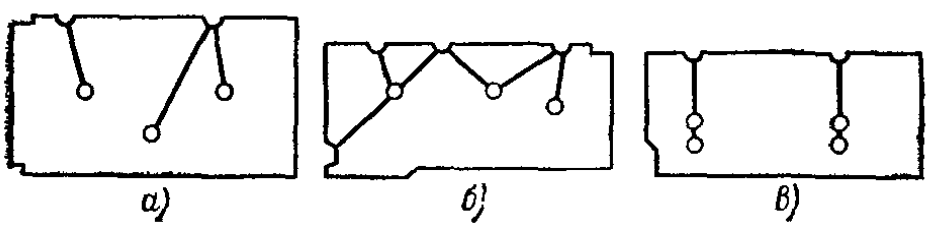



Рис. 18.2. Примеры выполнения каналов в железобетонных панелях перекрытий (*а* и *б*) и стеновых панелях (*в*)

ляемых в панелях. Чтобы избежать этого, прокладка проводов осуществляется по зигзагообразной трассе, состоящей из наклонных и поперечных каналов. Кроме того, находят применение каналы в плитах перекрытия посередине комнат с выходами к выключателям и штепсельным розеткам в наклонных каналах панелей стен. С развитием про-

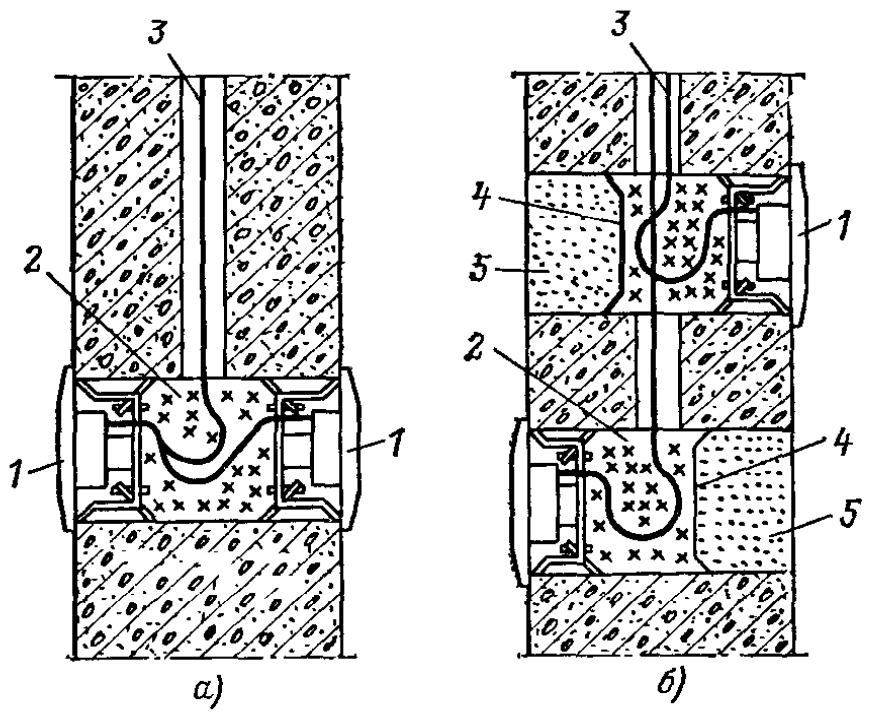



Рис. 18.3. Узлы установки штепсельных розеток в стеновых панелях для межкомнатной (*а*) и межквартирной перегородки (*б*):

*1* — штепсельная розетка; *2* — негорючий минераловатный заполнитель; *3* — провод; *4* — круглая стальная заглушка; *5* — заделка цементным раствором

изводства дешевых пластмассовых труб канальная система проводки с закладкой этих труб в панели найдет более широкое применение.

На рис. 18.2 приведены примеры устройства каналов в панелях стен и перекрытий, а на рис. 18.3 — узлы установки штепсельных розеток в стеновых панелях.

Следует отметить, что описанные выше виды проводок имеют серьезный недостаток, заключающийся в строго

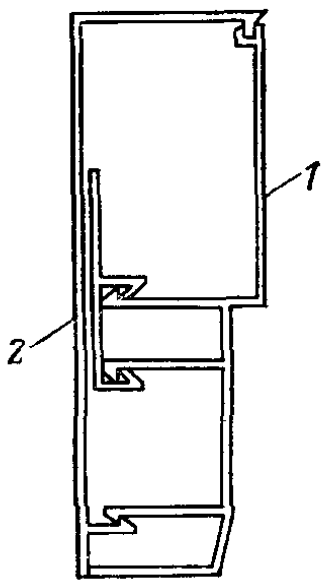



Рис 18.4

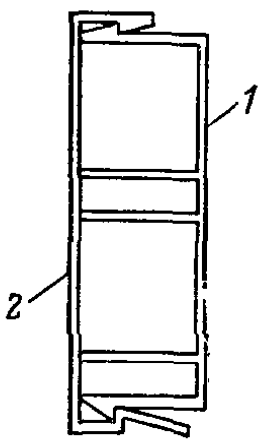



Рис 18.5

Рис. 18.4. Электротехнический пластмассовый плинтус:
*1* — основание; *2* — крышка

Рис. 18.5. Электротехнический пластмассовый наличник:
*1* — основание; *2* — крышка

фиксированном расположении штепсельных розеток, что часто затрудняет расстановку мебели и вызывает нарекания жильцов, применение различных удлинителей и разветвителей, не безопасных для людей. Указанные недостатки могут быть устранены при прокладке проводов в электротехническом плинтусе из трудносгораемой пластмассы.

В специальных электротехнических плинтусах провода прокладывают вдоль стен помещений у пола. Такие плинтусы позволяют проложить скрыто не только провода освещения и подключения бытовых приборов, но и сети телефона, радиотрансляции и телевидения; свести к минимуму число и длину каналов в панелях стен и перекрытий; в эксплуатации легко изменить расположение и установить до-

полнительные штепсельные розетки, место расположение телефона, телевизора и репродуктора радиотрансляции.

Система прокладки проводов в электротехнических плинтусах в сочетании с прокладкой проводов общего освещения в каналах наиболее подходит для жилых домов, строящихся из унифицированных конструкций по единому каталогу. Один из вариантов конструкций пластмассового

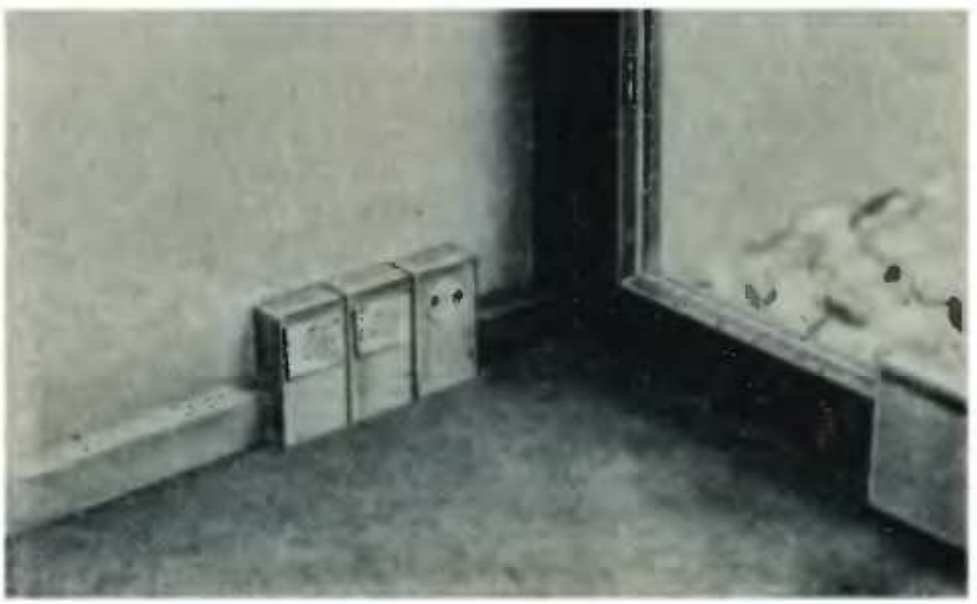


Рис. 18.6. Фрагмент установки электротехнического плинтуса в комплекте с электроустановочными изделиями

электротехнического плинтуса на четыре канала представлен на рис. 18.4.

Для огибания дверных проемов используется пластмассовый наличник (рис. 18.5). В настоящее время в Москве и некоторых других городах начато внедрение ряда способов крепления плинтусов и наличников путем пристрелки, высверливания отверстий в железобетоне с помощью ударно-вращательного инструмента, заделки специальных скоб для навешивания плинтуса, приклеивания специальным клеем. Эти способы следует считать перспективными.

Фрагменты устройства плинтусной проводки одной из зарубежных фирм приведен на рис. 18.6.

Для подводки питания к подвесным светильникам, устаналиваемым в жилых комнатах квартир при тонкостенной конструкции перекрытия, заслуживает внимания применяемый за рубежом способ открытой свободной подвески под потолком двухжильного или трехжильного провода в об-

щей пластмассовой оболочке. Такой способ подводки питания позволяет также в случае необходимости изменять в эксплуатации место расположения светильника в комнате, установив заранее крюки в соответствующих местах на потолке.

В многоэтажных зданиях из монолитного железобетона можно рекомендовать устройство электропроводок в пластмассовых трубах, закладываемых совместно со всеми комплектующими изделиями (коробки, крючкн для крепления светильников) в толщу бетона при сооружении здания, а также плинтусную электропроводку.

В зданиях из деревянных и других сгораемых конструкций наиболее простым решением следует считать открытую проводку на роликах или клицах.

**Электропроводки в общественных зданиях.** Наличие разветвленных и протяженных силовых и осветительных сетей, а также самых различных архитектурно-планировочных и технологических решений в зависимости от назначения зданий и помещений вызывает большие трудности в создании унифицированных электропроводок.

Вместе с тем при строительстве ряда зданий различного назначения (школы, детские учреждения, поликлиники, гостиницы, учебные корпуса профтехучилищ и т. п.) будут применяться в перспективе крупнопанельные конструкции перекрытий полной заводской готовности, включая полы. В этих зданиях практически исключена возможность прокладки электросетей в подготовке пола, данного или вышележащих этажей, которая в настоящее время широко применяется.

В связи с этим ведутся конструкторские и проектные работы по созданию системы коробов из металла и пластмасс в надлежащем эстетическом оформлении, предназначенных для прокладки всех видов электрических сетей. Кроме того, в некоторых зданиях используются разработанные для производственных зданий шинопровод ШОС и короб типа КЛ, в которых прокладываются провода осветительных сетей. Для этих же целей найдет применение однофазный шинопровод конструкции Главэлектромонтажа. В ряде случаев для прокладки питающих линий используются распределительные промышленные шинопроводы типа ШРА. Следует отметить, что применение коробов (особенно со штепсельными соединениями) повышает индустриализацию монтажных работ и резко упрощает смену проводки и светильников. Таким образом, намечается по-

степенный переход от скрытых электропроводок к открытым.

Остановимся на некоторых наиболее распространенных видах электропроводок, применяемых в общественных зданиях.

*Питающие линии* следует, как правило, выполнять сменяемыми: а) открыто — в винипластовых трубах, коробах из несгораемых материалов, а также небронированными кабелями. Могут применяться открытые прокладки на лотках в технических подпольях, этажах, подвалах при условии, что в этих помещениях не проложены трубопроводы с горючими газами и жидкостями и доступ в эти помещения имеет только квалифицированный персонал. В этом случае высота расположения лотков ПУЭ не регламентируется. В помещениях без повышенной опасности, куда могут иметь доступ посторонние лица (при напряжении сети выше 42 В), лотки следует располагать на высоте не менее 2 м, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — не менее 2,5 м; б) скрыто — в каналах строительных конструкций без труб[1], в пластмассовых трубах и коробах. В некоторых зданиях устраиваются специальные шахты с поэтажными перекрытиями, в которых устанавливаются этажные распределительные пункты и групповые щитки и прокладываются вертикальные участки питающих линий. Для входа в шахты на этажах имеются запирающиеся двери.

Следует иметь в виду, что пластмассовые трубы как при открытой, так и при скрытой проводке могут применяться с некоторыми ограничениями [47], которые должны учитываться *при проектировании.*

В целях экономии стальных труб нормы разрешают их применение лишь в тех случаях, когда применение пластмассовых труб запрещено, а также в некоторых случаях, оговоренных в [22].

*Групповые сети электрического освещения* должны, как правило, выполняться скрытыми сменяемыми в каналах и пустотах строительных конструкций, а при отсутствии такой возможности — в пластмассовых трубах.

Осветительные проводки в небольших общественных зданиях могут выполняться скрытыми специальными про-

---

[1] Устройство каналов в строительных конструкциях для общественных зданий ограничено необходимостью изготовления большого количества марок железобетонных изделий.

водами, не подлежащими замене, например АППВС, непосредственно по несгораемым основаниям, в бороздах, швах строительных конструкций, под штукатуркой и т. д.

В технических подпольях, подвалах, на чердаках, в насосных и тепловых пунктах, а также в деревянных зданиях проводки могут выполняться открыто с соблюдением требований табл. 18.1 и 18.2.

В помещениях без повышенной опасности осветительные сети прокладываются также в пластмассовых и металлических коробах, в пластмассовых электротехнических плинтусах, а также скрыто в получивших в последнее время распространение сборно-разборных перегородках в металлорукавах или других трубах.

В общественных зданиях часто применяются подвесные потолки, за которыми прокладываются санитарно-технические и электротехнические коммуникации. В эти потолки, как правило, встраиваются светильники специальных конструкций. Электропроводки в полостях над непроходными подвесными потолками выполняют:

при подвесных потолках из сгораемых материалов — в стальных трубах;

при подвесных потолках из несгораемых и трудносгораемых материалов — в винипластовых трубах, металлорукавах или без труб, но защищенными проводами и кабелями. Проводки в полостях над потолками рассматриваются как скрытые.

Выключатели для общего освещения устанавливаются на высоте 1,5 м от пола, и в помещениях для пребывания детей — 1,8 м.

Выключатели для пожароопасных и взрывоопасных помещений, сырых и влажных целесообразно выносить из этих помещений. Это же относится к кладовым, складам и другим помещениям с материальными ценностями.

становка штепсельных розеток в сети освещения определяется интерьером помещения и удобством пользования, но не должна превышать 1 м от пола. В школах и детских учреждениях в помещениях для пребывания детей розетки устанавливаются на высоте 1,8 м от пола. В ванных комнатах, душевых и преддушевых штепсельные розетки устанавливаться не должны, за исключением ванных комнат при условии подключения розеток через разделяющий трансформатор.

*Силовые распределительные сети* могут прокладываться в зависимости от назначения помещений скрыто или от-

крыто теми же способами, которые указаны для осветительных сетей. При установке технологического оборудования посередине помещения подводка питания к этим электроприемникам может выполняться в пластмассовых трубах, а на выходе из пола — в гильзах из стальных труб.

## 18.3. Электроустановочные устройства и электромонтажные изделия

В настоящее время применяется широкий ассортимент электроустановочных и электромонтажных изделий, изготовляемых промышленностью как для жилищно-гражданского, так и для промышленного строительства.

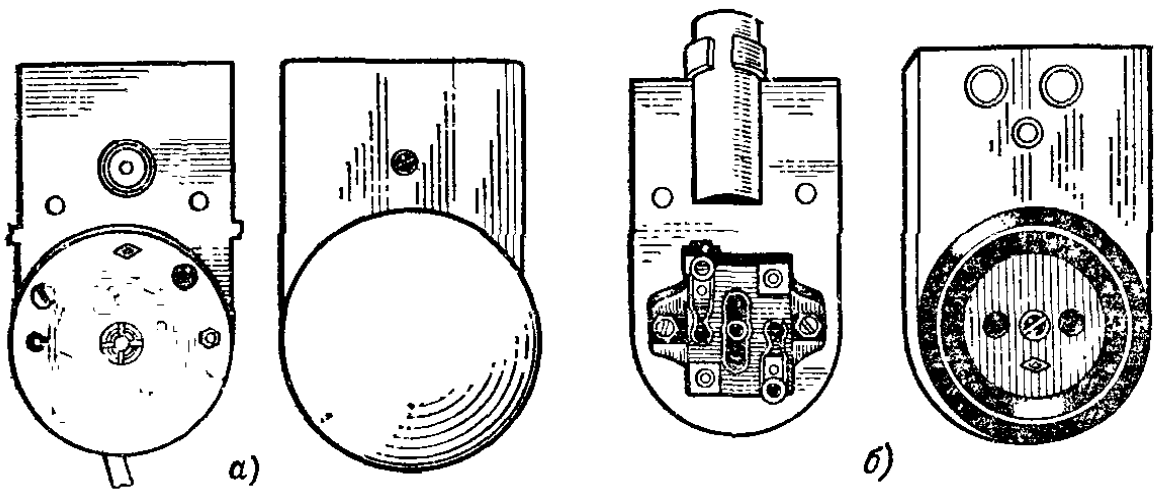



Рис. 18.7. Подпотолочный выключатель (*а*) и надплинтусная штепсельная розетка (*б*)

**Электроустановочные устройства.** В помещениях, где проводка выполняется скрытой, как правило, применяют выключатели и штепсельные розетки для скрытого монтажа. Исключение составляют подпотолочные выключатели с управлением шнурком (рис. 18.7, *а*) и надплинтусные штепсельные розетки (рис. 18.7, *б*), изготовляемые только для открытой установки. Они имеют удлиненный корпус для выполнения в нем разветвлений проводов. Надплинтусные штепсельные розетки имеют защитные устройства (шторки), которые закрывают штепсельные гнезда при вынутой вилке.

В квартирах часто двери из прихожей в кухню, ванную комнату и уборную расположены рядом. В таких случаях целесообразно управление освещением этих помещений, а также установку штепсельной розетки совместить в общем

приборе — блоке с выключателями и штепсельной розеткой. Блоки изготовляются на два и три выключателя и одну штепсельную розетку (рис. 18.8) и на четыре выключателя.

В сетях, предназначенных для освещения, выключатели применяются на токи 4 и 6 А. Наиболее удобны и долговечны клавишные выключатели с металлокерамическими контактами. Для присоединений стационарных электрических плит применяются силовые двухполюсные штепсельные розетки на 25 и 40 А с заземляющим контактом для открытой установки. В осветительных установках применяются штепсельные соединения с цилиндрическими контактами в основном на 6 А. Рост единичной мощности электробытовых приборов вызывает необходимость применения в квартирах розеток на 10, 16, 25 и 40 А. В перспективе целесообразно перейти на установку в квартирах штепсельных соединений с плоскими контактами, уже широко применяемыми в общественных зданиях. Однако переход этот должен осуществляться по плану с одновременным переходом на выпуск электроприборов с соответствующими вилками. На рис. 18.9 показаны штепсельная розетка и вилка на ток 25 А для подключения электроплиты (открытой установки). Имеется модификация такой розетки скрытого исполнения. Промышленностью выпускаются штепсельные розетки на ток 6 А с комбинированными гнездами, позволяющими включать вилку с круглыми или плоскими штырями.

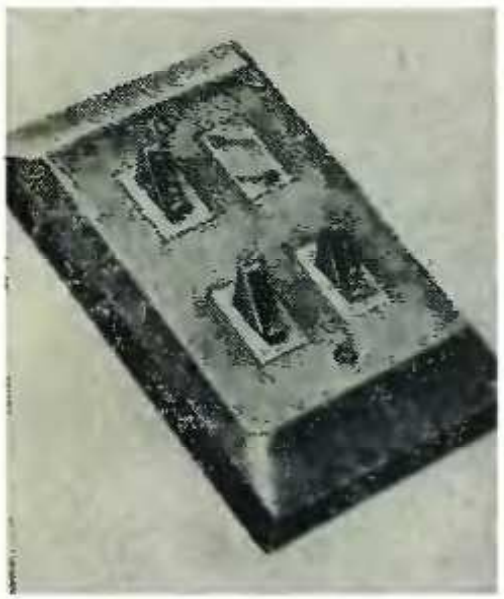


Рис. 18.8. Блок на три выключателя и одну штепсельную розетку

Блоки на несколько выключателей и розеток очень удобны для применения в общественных зданиях, например школах, административных зданиях, гостиницах, поскольку при этом уменьшается время монтажа, улучшается внешний вид изделия по сравнению с группой одиночных изделий.

В некоторых помещениях требуется установка штепсельных соединений в защищенном исполнении. Та-

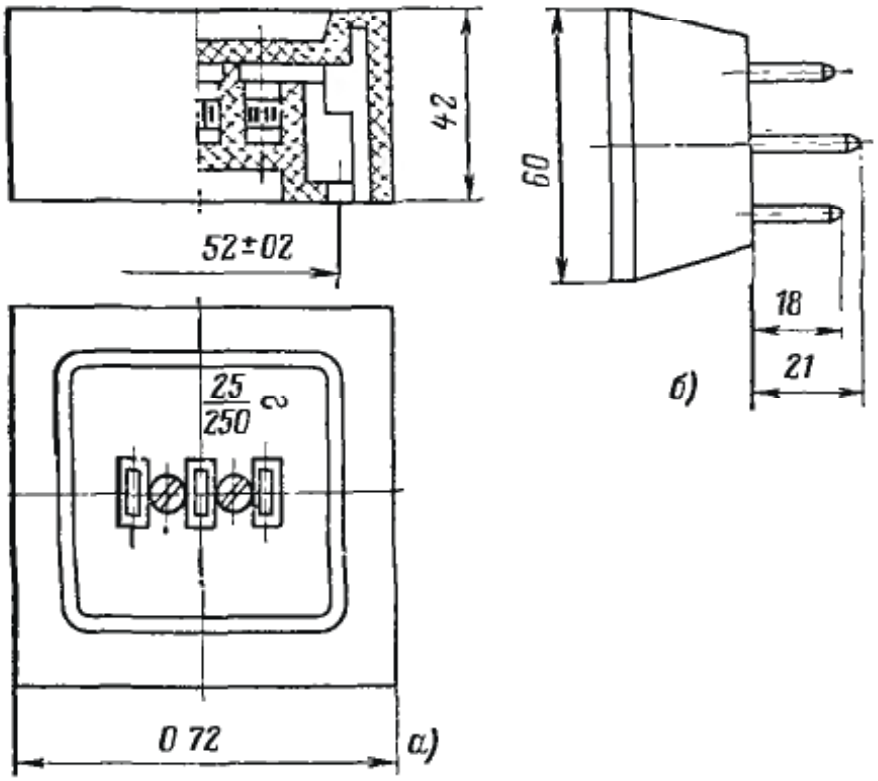



Рис. 18.9. Штепсельное соединение на 25 А с плоскими контактами:
*а* — розетка РШ-20-0-25/250; *б* — вилка ВШ-20-25/253

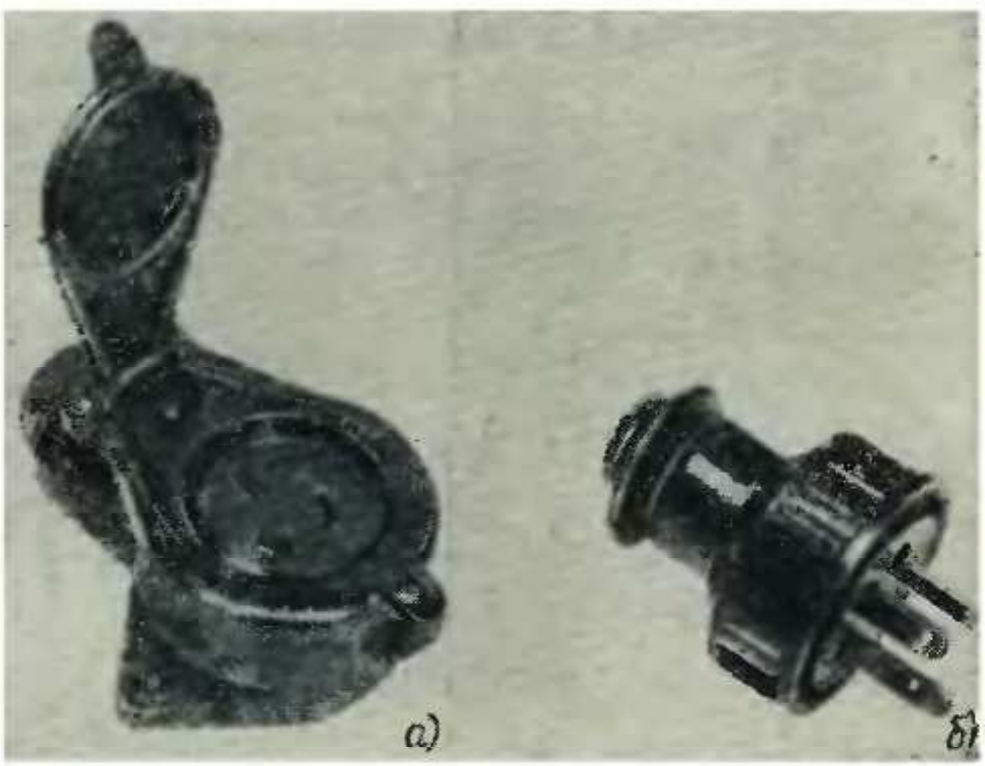



Рис. 18.10. Штепсельное соединение с плоскими контактами защищенное IP-43:
*а* — розетка; *б* — вилка

кое соединение с сальниковым уплотнением для ввода проводов и крышкой с пружиной у розетки показано на рис. 18.10.

Для плинтусных электропроводок целесообразно применять специальные штепсельные розетки, встраиваемые или пристраиваемые к плинтусу.

**Электромонтажные изделия.** Для установки выключателей и розеток в стенах при скрытой проводке широко используются металлические коробки с отверстиями для ввода проводов и для закрепления в них лапок электроустановочных изделий. Эти же коробки часто используются в качестве разветвительных, имеются и разветвительные коробки специальной конструкции. Имеются коробки и из пластмассы, чаще всего из карболита. Для скрытой установки выключателей и штепсельных розеток в стенах крупнопанельных зданий применяются закладные стаканы из пропилена, устанавливаемые в панели на заводах строительной индустрии. Эти стаканы презназначены для двусторонней установки электроустановочных устройств, поэтому в межквартирных перегородках их применять нельзя. Для изоляции мест соединения алюминиевых проводов удобны полиэтиленовые изолирующие колпачки, выпускаемые в массовом порядке.

Для подвешивания бытовых светильников выпускаются крюки различных конструкций. Крюки должны быть рассчитаны на пятикратный вес люстры. Для оформления отверстий в стенах и потолках, используемых для соединения проводов, изготовляются пластмассовые декоративные крышки светлых тонов.

## Раздел шестой

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

### Глава девятнадцатая

## ОСНОВНЫЕ ВИДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

В жилых и общественных зданиях устройствами автоматики оснащаются различные вентиляционные системы, установки кондиционирования воздуха, системы дымозащиты, различные насосные агрегаты, освещение, различное технологическое оборудование и т. п.

В зависимости от выполняемых функций различают следующие основные виды автоматизации: управление, сигнализация, блокировка, контроль, защита и регулирование.

**Управление** представляет собой совокупность воздействий, выполняемых на основании определенной информации, имеющих целью поддержание или улучшение функционирования объекта (агрегата, станка, механизма и т. д.) в соответствии с заданной программой или поставленной задачей.

Принято различать управление *автоматическое и полуавтоматическое* [36].

При автоматическом управлении команды управляемому объекту подаются специальными устройствами, которые работают либо по заранее заданной программе, либо в зависимости от контролируемых параметров, отклонение которых от заданных значений требует подачи соответствующих команд управляемому объекту.

При полуавтоматическом управлении те же функции выполняются с участием человека.

Простейшим примером автоматического управления может служить управление освещением общедомовых помещений жилых и гражданских зданий в функции естественной освещенности и времени (см. гл. 20). Если управление освещением производится человеком с помощью различных аппаратов (кнопки, ключи, магнитные пускатели и т. д.), оно называется полуавтоматическим.

Полуавтоматическое управление бывает местное и дистанционное. В первом случае аппараты управления располагаются в непосредственной близости от управляемого объекта, во втором — на любом расстоянии от него.

**Сигнализация** — извещение обслуживающего персонала световыми или звуковыми сигналами о состоянии контролнруемых объектов, параметрах и их отклонениях от заданных состояний или значений. Сигнализация делится на два вида — *технологическую и аварийную.* Технологическая предназначена для оповещения обслуживающего персонала об измененнях в процессах, предусмотренных технологией. Аварийная служит для оповещения обслуживающего персонала о различных аварийных ситуациях и отклонениях в технологическом процессе, требующих его вмешательства.

Обычно аварийная сигнализация состоит из световых и звуковых сигналов. Технологическая может иметь толь-

ко световые сигналы или сочетание световых и звуковых, но отличных от аварийных звуковых (например, сирена и звонок).

Примером технологической и аварийной сигнализации может служить общепринятая схема оповещения о снижении температуры теплоносителя после калориферов в вентиляционных установках и системах кондиционирования воздуха. При температуре теплоносителя (горячей воды) ниже 20—25°С загорается сигнальная лампа на световом табло с надписью «Низкая температура». Если в течение 30—40 с температура не повышается, то происходит отключение системы и одновременно подается звуковой сигнал и загорается красная лампа, сигнализирующая об аварии. Таким образом, в рассмотренном примере первый сигнал относится к технологической сигнализации, а второй — к аварийной.

**Блокировка** — взаимосвязь отдельных агрегатов или механизмов в процессе их эксплуатации. Устройства блокировки позволяют осуществлять взаиморезервирование агрегатов, связь различных агрегатов в группы и т. д. Например, можно сблокировать два насоса таким образом, что при остановке рабочего автоматически включится резервный.

**Контроль автоматический** — автоматическое получение и обработка информации о состоянии объекта с целью выявления событий, определяющих управляющее воздействие.

Под событием подразумевается то явление, которое необходимо зафиксировать, например КЗ или перегрузка в электрической цепи, повышение или понижение значения температуры, давления, уровня и т. д.

Контроль является важным элементом любой системы автоматики, так как он позволяет обслуживающему персоналу или специальным автоматическим устройствам своевременно ликвидировать отклонения в технологическом процессе и обеспечивать его нормальный ход.

Контроль бывает *местный и дистанционный.* Местный обеспечивает возможность наблюдения за состоянием параметров непосредственно в контролируемой точке. Дистанционный обеспечивает возможность наблюдения за состоянием параметров на расстоянии от контролируемой точки.

**Автоматическая защита** служит для прекращения контролируемого процесса при возникновении ненормальных

режимов. Часто одни и те же приборы и аппараты выполняют функции сигнализации и защиты, как это имело место в приведенном примере аварийной сигнализации при снижении температур за калорифером, когда одновременно с подачей аварийного сигнала автоматически отключается вся система.

Автоматическая защита является разновидностью автоматического управления. Ее действия всегда связаны с органами управления (клапанами, задвижками, выключателями, контакторами и т. д.), на которые она воздействует.

**Автоматическое регулирование** служит для поддержания в определенных пределах или на постоянном уровне того или иного параметра (например, температуры, давления, расхода, уровня, напряжения, тока и т. д.) либо для обеспечения протекания производственного процесса по заданной программе. Автоматическое регулирование также можно рассматривать как разновидность автоматического управления.

Все приборы автоматики условно можно разделить на следующие группы: измерительные приборы и датчики, преобразователи и усилители, исполнительные механизмы и регулирующие органы. Однако четких границ между этими группами провести нельзя, так как зачастую в одном приборе могут совмещаться функции, например, датчика и преобразователя или измерительного прибора и усилителя и т. д.

В основе современных измерительных приборов лежат электрические измерения, обеспечивающие преобразование различных неэлектрических величин (температуры, давления, уровня, расхода и т. д.) в электрические (напряжение, ток, сопротивление и др.). Электрические измерения с помощью сравнительно простых и дешевых приборов позволяют получить высокую точность измерений, возможность измерения на расстоянии и автоматически. В системах автоматического управления и регулирования используется возможность воздействия измерительного устройства на различные машины и аппараты. Измерения, главным образом автоматические, находят применение во всех отраслях промышленности, энергетике и т. д. В жилищно-коммунальном хозяйстве наибольшее распространение получили теплотехнические измерения. К ним относятся измерения температуры, давления, расхода и ряда других величин, имеющих важное значение в процессе эксплуатации оборудования.

Глава двадцатая

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

## 20.1. Задачи управления освещением

Задача автоматизации управления освещением общедомовых помещений в жилых и общественных зданиях является актуальной; ее применение приводит к значительной экономии электроэнергии. В настоящее время разработаны и широко внедряются следующие системы управления освещением лестниц и поэтажных коридоров в жилых домах:

1) включение освещения с помощью кнопочных автоматических выключателей с выдержкой времени на отключение (децентрализованное управление);

2) управление с помощью фотовыключателей (централизованное управление на одно здание);

3) управление с помощью фотовыключателей и реле времени (централизованное программное управление на одно здание);

4) управление с диспетчерского пункта ЖЭК (ДЭЗ) или микрорайона (централизованное управление).

Схемы автоматизации освещения в различных общественных зданиях обеспечивают, как правило, дистанционное централизованное или децентрализованное управление группами светильников. Однако в некоторых зданиях применяется автоматическое управление. Так, например, в школах на время уроков автоматически отключается часть освещения рекреаций, коридоров и некоторых других помещений. В театрах, кинотеатрах, концертных залах и т. п. осуществляется автоматическое постепенное снижение уровня освещенности до полного отключения освещения в начале действия и наоборот, постепенное увеличение освещенности до полного после окончания действия.

## 20.2. Управление освещением в жилых зданиях

Включение освещения с помощью кнопочных автоматических выключателей применяется в домах высотой не более пяти этажей. На лестничной площадке каждого устанавливается кнопочный автоматический выключатель (рис. 20.1), включающий освещение на 2—3 мин. Выдержка времени обеспечивается специальным пневматическим

устройством, представляющим собой резиновую мембрану, которая изгибается при нажатии кнопки и постепенно выпрямляется, продавливая воздух через калиброванное отверстие в корпусе. На рис. 20.2 приведена схема управления освещением с помощью выключателей АВ-2.

Как видно из схемы, при нажатии любой из кнопок автоматических выключателей *АВ* свет зажигается на всех лестничных площадках на время, достаточное для

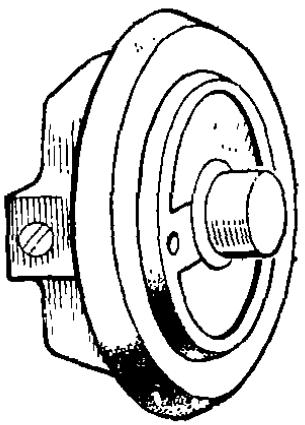


Рис. 20.1. Кнопочный выключатель АВ-2

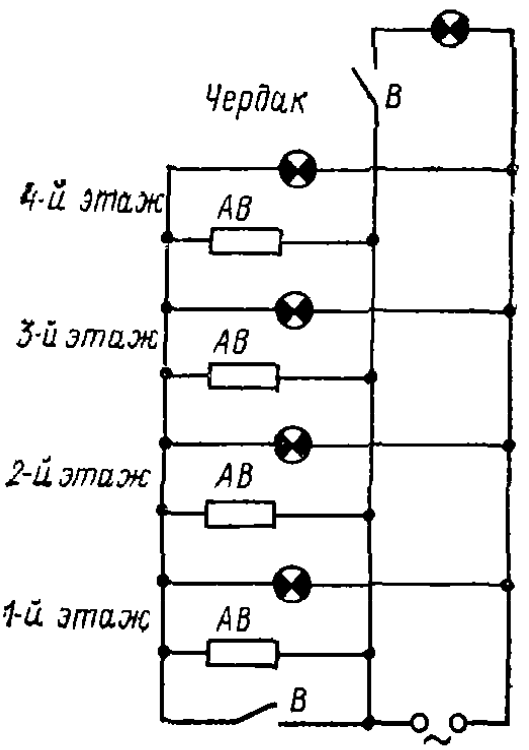



Рис. 20.2. Схема управления лестничным освещением с помощью выключателей АВ-2

подъема на верхний этаж. В случае необходимости освещение может быть включено на любой лестничной площадке по пути следования. Если освещение необходимо на более продолжительное время, например для переноски мебели и других целей, то свет может быть включен обыкновенным выключателем *В*, установленным на первом этаже.

Эта схема имеет следующие недостатки:

1) сравнительная дороговизна за счет прокладки третьего провода и установки большого количества автоматических выключателей;

2) лестничная клетка всегда затемнена, что создает определенные неудобства для жильцов.

Широкое применение для зданий, сооружаемых в крупных городах, находит система централизованного управления фотовыключателями, включающими освещение лестниц, поэтажных коридоров с естественным освещением, входов в подъезды с наступлением темноты и отклю-

чающими его с рассветом. Эта же схема может быть использована для управления наружным освещением при установке светильников на фасадах домов и питаемых от внутренней сети здания.

В домах повышенной этажности (9, 10 этажей и более), в которых наряду с рабочим лестничным освещением имеется еще и эвакуационное, целесообразно в ночные часы, например от часа ночи до шести утра, отключить часть освещения. Для этой цели в схему управления вводится специальное моторное реле времени 2РВМ с часовым механизмом, что позволяет сэкономить до 30 % электроэнергии, расходуемой на освещение лестниц.

В последние годы в связи с внедрением в крупных городах объединенных диспетчерских служб (ОДС) широкое применение находят схемы централизованного дистанционного управления. На диспетчерском пункте устанавливается фотовыключатель, который в зависимости от естественной освещенности подает импульс на включение или отключение освещения лестничных клеток всех домов микрорайона.

При централизованном управлении необходимо считаться с потерями напряжения в линиях, так как в больших микрорайонах расстояние от диспетчерского пункта до самого отдаленного дома может достигать 1—2 км и более.

Для надежного срабатывания реле, выпускаемых серийно промышленностью, необходимо обеспечить уровень напряжения на его катушке не менее 85 % номинального. Поэтому сети дистанционного управления должны быть рассчитаны из условия допустимой потери напряжения в размере 15 %.

Потеря напряжения, %, в сети дистанционного управления может определяться по формуле

$$\Delta U = \frac{\alpha I_{\text{р,к}} R_{\text{л}}}{U_{\text{ном}}} 100, \qquad (20.1)$$

где $\alpha$ — доля номинального напряжения катушки, необходимая для надежного срабатывания (обычно $\alpha = 0{,}85$); $I_{\text{р,к}}$ — номинальный рабочий ток катушки, А; $R_{\text{л}}$ — сопротивление линии, Ом; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение сети, В.

Если сеть дистанционного управления выполняется телефонным кабелем с медными жилами диаметром 0,5 мм, а источник питания имеет напряжение 48 В постоянного

тока и номинальное напряжение катушки реле также 48 В, то потеря напряжения может быть определена по формуле [36]

$$\Delta U = 337 I_{р,к} l, \qquad (20.2)$$

где $l$ — длина линии в один конец, км.

Определим наибольшую длину линии при включении реле МКУ-48 с катушкой сопротивлением $R_к = 4600$ Ом.

Рабочий ток катушки определяется из выражения

$$I_{р,к} = U/R_к = 48/4600 = 0{,}0104 \text{А}.$$

Тогда максимальная длина по формуле (20.2)

$$l = \Delta U/337 I_{р,к} = 15/337 \cdot 0{,}0104 = 4{,}3 \text{ км}.$$

При очень больших длинах цепей управления для компенсации потери напряжения применяются источники питания с повышенным напряжением. Так как для реле МКУ-48 допускается повышение напряжения только до 10 %, а для других реле до 5 %, то необходимо для реле, расположенных близко от источника питания, снижать избыточное напряжение путем включения последовательно с катушкой реле дополнительного сопротивления.

Дополнительное сопротивление может быть определено по формуле

$$r_д = U_{ном}/I_{р,к} - r_л - R_к, \qquad (20.3)$$

где $r_л$ — сопротивление линии. Для телефонного кабеля с медной жилой диаметром 0,5 мм можно принимать сопротивление линии 95 Ом/км.

Если сети управления выполняются на переменном токе кабелями и проводами, индуктивным сопротивлением которых можно пренебречь, то необходимое сечение проводов определяется по формуле

$$s = \beta I_п l, \qquad (20.4)$$

где $I_п$ — пусковой ток катушки реле или контактора, А; $\beta$ — коэффициент, значение которого зависит от напряжения сети, материала проводника и коэффициента мощности катушки при пуске, а также от допустимой потери напряжения. Значения коэффициента $\beta$ принимаются по табл. 20.1.

Для воздушных сетей управления, выполняемых медными или алюминиевыми проводами, приходится считаться с индуктивным сопротивлением линии. В этом случае

Таблица 20.1. **Коэффициент β**

| cos φ катушки при пуске | Коэффициент β для проводов | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | медных | | | алюминиевых | | |
| | 127 В | 220 В | 380 В | 127 В | 220 В | 380 В |
| 1 | 1,57 | 0,91 | 0,52 | 2,6 | 1,51 | 0,86 |
| 0,95 | 1,47 | 0,86 | 0,49 | 2,44 | 1,43 | 0,81 |
| 0,9 | 1,43 | 0,83 | 0,475 | 2,37 | 1,38 | 0,79 |
| 0,85 | 1,36 | 0,79 | 0,45 | 2,26 | 1,31 | 0,75 |
| 0,8 | 1,3 | 0,75 | 0,43 | 2,16 | 1,24 | 0,71 |
| 0,75 | 1,24 | 0,72 | 0,41 | 2,06 | 1,19 | 0,68 |
| 0,7 | 1,17 | 0,68 | 0,39 | 1,94 | 1,13 | 0,65 |
| 0,65 | 1,1 | 0,64 | 0,37 | 1,83 | 1,06 | 0,61 |
| 0,6 | 1,04 | 0,6 | 0,345 | 1,73 | 1 | 0,57 |
| 0,55 | 0,99 | 0,57 | 0,33 | 1,64 | 0,95 | 0,55 |
| 0,5 | 0,93 | 0,54 | 0,31 | 1,55 | 0,9 | 0,52 |
| 0,45 | 0,89 | 0,51 | 0,3 | 1,48 | 0,85 | 0,5 |
| 0,4 | 0,83 | 0,48 | 0,275 | 1,38 | 0,8 | 0,46 |
| 0,35 | 0,78 | 0,45 | 0,26 | 1,29 | 0,75 | 0,43 |
| 0,3 | 0,72 | 0,415 | 0,24 | 1,19 | 0,69 | 0,4 |
| 0,25 | 0,665 | 0,385 | 0,22 | 1,1 | 0,64 | 0,365 |
| 0,2 | 0,62 | 0,355 | 0,205 | 1,03 | 0,59 | 0,34 |

потеря напряжения определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = 100\,(1 - U_к/\gamma I_п), \qquad (20.5)$$

где $U_к$ — номинальное напряжение катушки, В; $\gamma$ — коэффициент, определяемый по формуле

$$\gamma = \sqrt{al^2 + b\frac{U_к l}{I_п}\,(\cos\varphi + c\sin\varphi) + \left(\frac{U_{ном}}{I_п}\right)^2}, \qquad (20.6)$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение источника питания, В; φ — угол сдвига фаз между напряжением и током ка-

Таблица 20.2. **Коэффициенты** *a*, *b*, *c*

| Материал и сечение проводов, мм | *a* | *b* | *c* |
|---|---|---|---|
| Медные | | | |
| 2×6 | 38,2 | 12 | 0,132 |
| 2×10 | 13,7 | 7,3 | 0,211 |
| 2×16 | 5,8 | 4,6 | 0,312 |
| Алюминиевые | | | |
| 2×16 | 15,5 | 7,7 | 0,187 |
| 2×25 | 6,6 | 5 | 0,162 |

тушки при пуске; $a$, $b$, $c$ — коэффициенты, зависящие от материала и сечения проводов, принимаемые по табл. 20.2.

Значения токов, потребляемых катушками контакторов, магнитных пускателей и реле, приводятся в каталогах.

## 20.3. Управление освещением в общественных зданиях

Существенная экономия электрической энергии может быть получена при автоматизации управления освещением некоторых помещений в больницах, поликлиниках, школах, административных и других зданиях.

Так, например, в школах, особенно крупных, целесообразно, как указывалось выше, отключать на время уроков часть освещения рекреаций, коридоров и некоторых других помещений, что снижает более чем на половину расход электроэнергии на их освещение.

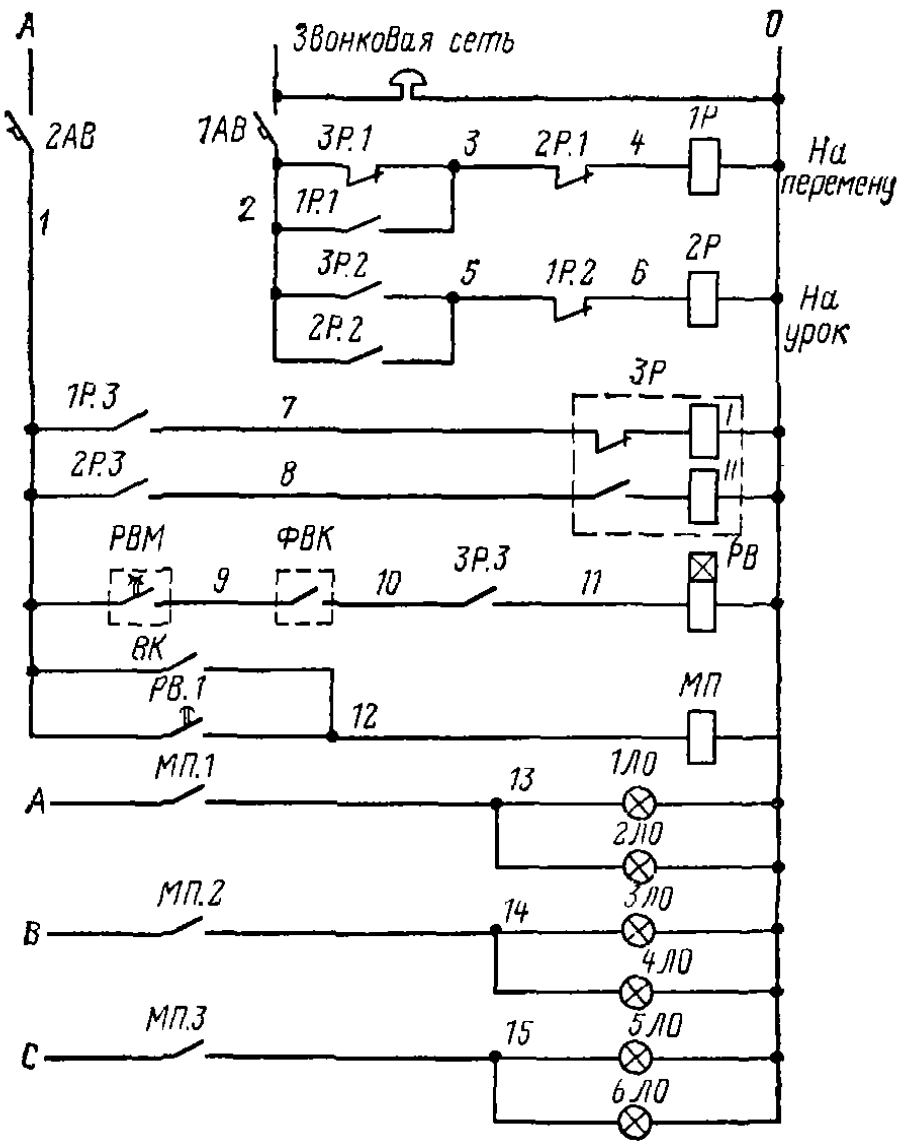



Рис. 20.3. Схема автоматического программного управления освещением рекреаций и коридоров в школах

На рис. 20.3 представлена схема, связанная с системой звонковой сигнализации школы, работающей от электрочасов. Для обеспечения правильного включения и выключения освещения, т. е. для того чтобы свет в рекреациях погасал на время урока и зажигался во время перемены, необходимо первый раз автоматический выключатель *1АВ* включить во время урока, благодаря чему первый импульс поступит на катушку реле *1Р*. В дальнейшем никаких манипуляций с автоматическим выключателем *1АВ* производить не требуется.

Реле *1Р* сработает и своим контактом *1Р.3* в цепи *1—7* замкнет цепь питания первой катушки реле *3Р*. Последнее сработает, зафиксируется в этом положении специальной пружиной и своим контактом *3Р.3* в цепи *10—11* подаст напряжение на катушку реле времени *РВ*, если замкнуты контакты программного часового реле времени *РВМ* и фотовыключателя *ФВК*. Настройка реле *РВМ* производится таким образом, что его контакт замыкается за 30—40 мин до начала занятий в школе и размыкается спустя некоторое время после окончания всех занятий. Контакт *ФВК* замкнут при недостаточной наружной освещенности. Реле времени *РВ* своим контактом *РВ.1* в цепи *1—12* включит цепь катушки магнитного пускателя *МП*, который в свою очередь включит освещение (цепи *А—13*, *В—14*, *С—15*).

После окончания перемены импульс от звонка поступает уже на катушку реле *2Р*, так как в цепи *1Р* контакт реле *3Р.1* разомкнут, а в цепи катушки *2Р* контакт реле *3Р.2* замкнут; контакт реле *2Р.3* в цепи *1—8* замкнется и подаст напряжение на вторую катушку реле *3Р*, которое опять сработает и зафиксируется пружиной в новом положении. Одновременно разомкнется его контакт *3Р.3*. Реле *РВ* с выдержкой времени, необходимой для того, чтобы все учащиеся успели войти в классы, обесточит катушку *МП*, и лампы освещения *ЛО* погаснут.

После очередного звонка на перемену импульс от звонка поступит опять на реле *1Р*, и процесс повторится. Использование двухкатушечного реле (на схеме реле *3Р*) обеспечивает нормальную работу схемы без повторной настройки при временном исчезновении напряжения. При ремонтных работах имеется возможность включить освещение вручную при помощи выключателя *ВК*.

Необходимо иметь в виду, что рассмотренная схема предназначена только для управления рабочим освещени-

ем. Эвакуационное освещение на период уроков не отключается и управляется при помощи фотовыключателя.

Как показывают расчеты, первоначальные затраты на устройство автоматического управления быстро окупаются благодаря снижению эксплуатационных расходов, несмотря на некоторое сокращение срока службы ламп вследствие более частых включений и отключений.

## Глава двадцать первая

# АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ

### 21.1. Автоматизация хозяйственных насосов

*Хозяйственные насосы* (водоподкачки) устанавливаются в тех случаях, когда гарантийный напор в городской водопроводной сети недостаточен для подачи воды к потребителям. В жилых микрорайонах хозяйственные насосы устанавливаются, как правило, в центральных тепловых пунктах (ЦТП) и обслуживают группу жилых домов и других зданий микрорайона.

Схемы автоматизации хозяйственных насосов зависят от их количества и режима работы. В большинстве случаев, особенно при наличии зданий повышенной этажности, один из насосов должен работать постоянно. Тогда в ЦТП устанавливаются три насоса, и второй насос включается при увеличении водоразбора по команде расходомера, а третий является резервным и включается в работу в случае выхода из строя любого работающего насоса.

Иногда в ЦТП устанавливаются четыре насоса, работающих последовательно. При минимальном давлении в городском водопроводе работают три насоса, обеспечивая в сети микрорайона давление, равное сумме напоров всех трех насосов и давления в городской сети. По мере роста давления в городской сети отключается сначала один насос, а затем второй и в работе остается только один насос. Четвертый насос является резервным и включается в случае выхода из строя одного из работающих насосов. Команды на включение и отключение насосов в этом случае подаются с помощью электроконтактных манометров.

На объектах с относительно небольшим расходом холодной воды устанавливаются всего два насоса: один ра-

бочий и один резервный. При этом в часы минимального водоразбора и при достаточном давлении в городской сети может не работать и этот насос.

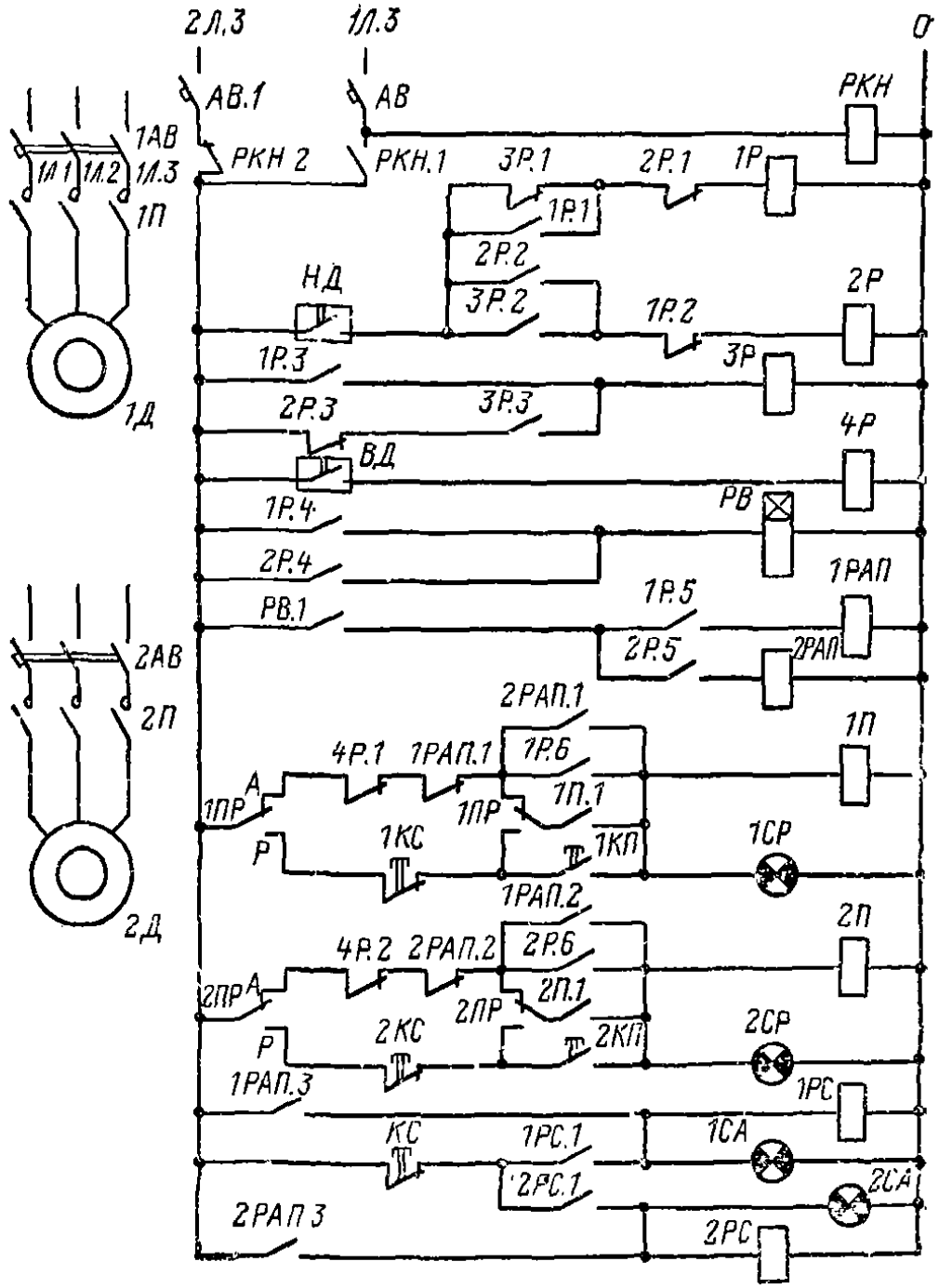



Рис. 21.1. Схема управления двумя хозяйственными насосами

Существует большое число различных вариантов схем управления хозяйственными насосами при установке двух, трех и четырех насосов. Для примера рассмотрим один из вариантов управления двумя насосами.

На рис. 21.1 приведена схема управления двумя насосами с поочередным включением в работу, благодаря чему

обеспечивается равномерный износ обоих агрегатов. Схема работает следующим образом. При замыкании минимального контакта *НД* электроконтактного манометра срабатывает реле *1Р*, которое включает в работу первый насос. Одновременно реле *1Р* контактом *1Р.3* подает напряжение на катушку реле *3Р*, которое самоблокируется и подготавливает цепь реле *2Р*. При повторном замыкании контакта *НД* срабатывает реле *2Р*, которое уже включает в работу второй насос и обесточивает реле *3Р*. Таким образом, при каждом замыкании контакта *НД* поочередно срабатывают реле *1Р* и *2Р*, а следовательно, поочередно включаются насосы. Отключение работающего насоса осуществляется с помощью реле *4Р*, которое срабатывает при замыкании максимального контакта *ВД* электроконтактного манометра.

Если насос не поднимает давления в сети, то контакт *НД* не размыкается, и тогда с небольшой выдержкой времени, обеспечиваемой реле *РВ*, срабатывает либо реле *1РАП*, либо реле *2РАП*, которые отключают неисправный насос и включают резервный.

Работа насосов сигнализируется зелеными лампами *1СР* и *2СР*, авария — красными *1СА* и *2СА*.

Реле *РКН* служит для автоматического переключения питания цепей управления при исчезновении напряжения в силовых цепях одного из двигателей.

Для производства наладочных и ремонтных работ предусматривается управление насосами местными кнопками *1КП*, *1КС* и *2КП*, *2КС*. Перевод на местное управление осуществляется с помощью переключателей *1ПР* и *2ПР*.

Электроконтактный манометр, контролирующий давление в сети и подающий импульсы на включение и отключение электродвигателей насосов, устанавливается на общем подающем трубопроводе после насосов.

Устанавливать манометр до насосов нецелесообразно, так как разница между минимальной и максимальной уставками в этом случае очень мала и возможны ложные срабатывания.

## 21.2. Автоматизация пожарных насосов

В большинстве случаев в сетях противопожарного водопровода устанавливаются два пожарных насоса: один рабочий и второй резервный. Пуск насосов осуществляется при помощи кнопок, устанавливаемых в шкафах пожарных

кранов. Отключаются насосы только со шкафов управления, устанавливаемых непосредственно около насосов. Иногда кнопки дистанционного пуска пожарных насосов дублируются специальными реле протока, которые устанавливаются на общем трубопроводе и обеспечивают автоматический пуск насоса при открывании любого пожарного крана.

Особенностью управления пожарными насосами является установка в цепи пуска двухпозиционного реле, которое, сработав, остается в таком положении даже в случае снятия напряжения. Это необходимо для того, чтобы при кратковременном исчезновении напряжения (например, при срабатывании АВР) не произошло отключение рабочего насоса. Цепи контроля работы рабочего насоса и пуска резервного не отличаются от аналогичных цепей хозяйственных насосов.

## 21.3. Автоматизация системы горячего водоснабжения

В системах горячего водоснабжения устройства автоматики обеспечивают поддержание постоянной температуры ($60\pm5$ °С) в системе и управление насосами горячей воды. Поддержание постоянной температуры воды в системе может обеспечиваться с помощью различных регуляторов температуры прямого и непрямого действия — гидравлических, электрических и пневматических.

Наиболее широкое применение в настоящее время находит гидравлическая система регулирования температуры горячей воды, приведенная на рис. 21.2, как наиболее простая и дешевая. В качестве датчика температуры применяют биметаллическое термореле *1*, служащее для изменения давления воды в надсильфонной камере регулятора *2*, установленного на подающей линии теплосети, в зависимости от температуры горячей воды. Трубка *3* соединяет надсильфонную камеру с термореле и через дроссельную диафрагму *5* и фильтр *4* с обратным трубопроводом.

В зависимости от изменения температуры горячей воды биметаллическая пластинка меняет свое положение по отношению к соплу, через которое вытекает вода из трубки *3*. Например, при увеличении температуры скорость истечения воды через сопло становится больше, чем скорость ее прохождения через диафрагму *5*, давление в надсильфонной камере падает и клапан прикрывается, количество греющей воды снижается и температура воды в системе го-

рячего водоснабжения не изменяется. Однако приведенная система недостаточно надежна в эксплуатации, поэтому следует считать перспективными системы электрической автоматики, которые уже внедряются в некоторых жилых районах.

Насосы в системе горячего водоснабжения могут служить для повышения давления в системе и для циркуля-

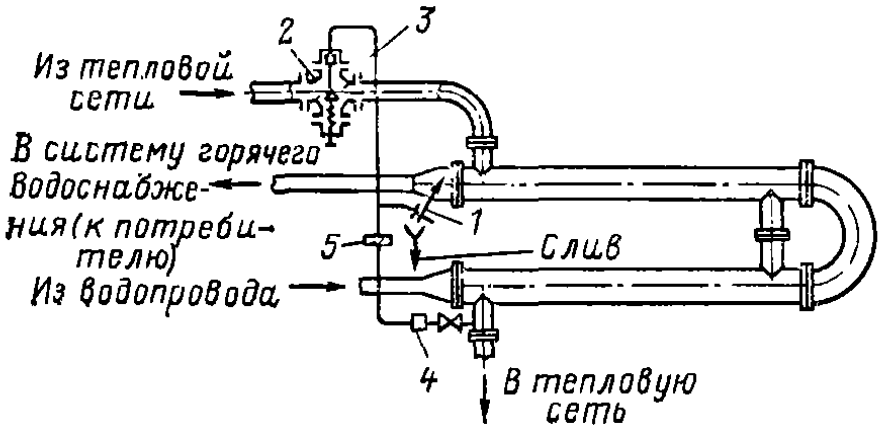



Рис. 21.2. Регулирование температуры горячей воды

ции воды в системе (циркуляционные). Насосов для повышения давления в системе может, как правило, устанавливаться два или три, и тогда схемы их управления ничем не отличаются от схем управления хозяйственными насосами.

Для автоматизации циркуляционных насосов системы горячего водоснабжения применяют различные схемы, обеспечивающие их работу либо в зависимости от температуры воды в циркуляционном трубопроводе, либо еще и в зависимости от давления в подающем трубопроводе. В последнее время находят применение схемы автоматизации циркуляционных насосов в функции времени, т. е. включение насосов происходит по специальной программе в определенное время и на заданный период.

## 21.4. Автоматизация систем отопления

Системы отопления могут выполняться с элеваторными узлами и водонагревателями. К элеваторам подводится горячая вода непосредственно из тепловой сети. Здесь она смешивается в определенной пропорции с обратной водой, поступающей из отопительных приборов. В элеваторных системах задачи автоматики сводятся к поддержанию по-

стоянного расхода теплофикациоиной воды и перепада давления между подающим и обратным трубопроводами. Для выполнения указанных функций применяются гидравлические регуляторы давления и расхода специальной конструкции.

В микрорайонах, застраиваемых домами повышенной этажности, системы отопления оборудуются водонагревателями (бойлерами[1]), которые размещаются в ЦТП, где и осуществляется подготовка воды, подаваемой в систему отопления всех домов микрорайона. Для подачи воды в систему отопления служат специальные циркуляционные насосы, которых обычно два: один рабочий и один резервный.

Выбор рабочего и резервного насосов может осуществляться обслуживающим персоналом с помощью переключателей, а может производиться автоматически с помощью программного реле времени 2РВМ по заданной программе (например, каждые 12 ч).

Регулирование температуры воды, подаваемой в систему отопления, осуществляется на ЦТП в функции температуры наружного воздуха. Для этой цели устанавливается электронный регулятор Р-25 с двумя термометрами сопротивления: один в подающем трубопроводе системы отопления, а второй на наружном воздухе. С выхода регулятора команды поступают на исполнительный механизм клапана, регулирующего количество теплофикационной воды, проходящей через бойлер. Таким образом, в зависимости от температуры наружного воздуха изменяется температура воды, подаваемой в систему отопления.

Кроме того, в последнее время находят применение системы пофасадного регулирования температуры и расхода воды в системе отопления. Для этого на каждом фасаде здания выбираются три характерные квартиры на верхних этажах здания и три на нижних, в которых устанавливаются термометры сопротивления, подключаемые к специальному регулятору Т-48. К этому же регулятору подключаются термометры сопротивления, установленные в подающем и обратном трубопроводах системы отопления. К выходу регулятора подключаются исполнительные механизмы двух регулирующих клапанов.

[1] Бойлер — труба, в которой протекает горячая вода из городской теплофикационной сети. Внутри этой трубы встроено несколько трубок из теплопроводного материала, по которым протекает нагреваемая вода.

С помощью одного клапана регулируется температура воды в системе отопления, а с помощью второго — ее количество. Таким образом осуществляется более точное поддержание температуры в жилых помещениях.

Как видно из сказанного, в жилых домах при наличии пофасадного регулирования системы отопления появляется специальная измерительная сеть, которая должна выполняться медными проводами, что необходимо для обеспечения надежной работы измерительных цепей, по которым проходят ничтожно малые токи. Измерительные цепи прокладываются в металлических трубах для экранирования от наводок.

Отметим в заключение, что автоматизация систем водоснабжения и отопления наряду с повышением надежности их работы обеспечивает сокращение обслуживающего персонала и экономию топлива и электроэнергии.

## Глава двадцать вторая

# АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ДЫМОЗАЩИТЫ

В многоэтажных зданиях при пожаре возникает опасность быстрого распространения дыма по лестничным маршам, лифтовым шахтам, вентиляционным каналам и т. д. Таким образом, люди оказываются лишенными путей эвакуации с этажей, расположенных выше очага пожара, и дымом заполняются многие вышележащие помещения. Это может привести к тяжелым последствиям. Положение усугубляется в зданиях большой высоты (10 этажей и более), ибо эвакуация людей через лоджии и балконы затруднительна, а порой и невозможна.

Для предотвращения распространения дыма по зданию при пожаре служат специальные системы, обеспечивающие его удаление из помещений, непосредственно прилегающих к месту пожара (вытяжная вентиляция), и создание подпора воздуха в лестничных клетках и шахтах лифтов (приточная вентиляция). Управление вентиляторами вытяжных и приточных систем должно быть автоматизировано.

Для этой цели служат датчики, реагирующие на повышенную температуру.

Наиболее распространенным датчиком такого типа является ДТЛ (датчик тепловой легкоплавкий), устройство которого приведено на рис. 22.1. На пластмассовом осно-

вании *1* винтами *2* закреплены две контактные пружины *3*, концы которых спаяны легкоплавким сплавом *4*. К винтам *2* подключаются провода электрической цепи. При повышении температуры окружающей среды сверх установленных пределов (обычно 70 °С) сплав расплавляется и контактные пружины размыкают электрическую цепь.

Тепловые датчики устанавливаются в каждой квартире и включаются последовательно в один луч[1] для группы

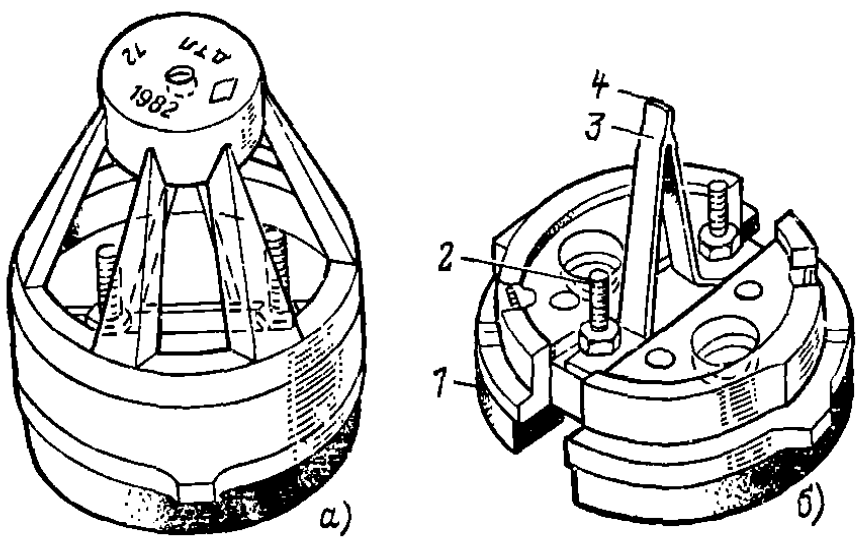



Рис. 22.1. Устройство ДТЛ:

*а* — в собранном виде; *б* — со снятым защитным колпачком

квартир, объединенных общим коридором. Луч каждого этажа подключается к специальной станции, обеспечивающей сигнализацию о пожаре и подачу импульсов в цепи дистанционного управления.

Одной из распространенных станций, применяемых для этих целей, является концентратор малой емкости типа «Комар» с приставками типа «Сигнал-12». Концентратор «Комар» и каждая приставка к нему рассчитаны на подключение пяти лучей, причем к одному концентратору можно подключать до пяти приставок.

На лицевой панели станции установлены сигнальные лампы по числу подключенных лучей, которые загораются при возникновении пожара. Специальные реле в станции срабатывают при обрыве в цепи луча, включают сигнальную лампу и подают импульс в цепи управления. Однако вследствие весьма малой коммутирующей способности кон-

[1] В системах противопожарной автоматики принято линию, в которую включены датчики, называть лучом.

тактов этих реле импульсы от них приходится преобразовывать с помощью промежуточных реле с более мощными контактами.

Удаление дыма осуществляется вытяжным вентилятором через шахту, имеющую специальные клапаны с электромагнитным приводом на каждом этаже. При срабатывании любого из датчиков включаются вытяжной и приточный вентиляторы и открываются клапаны у вентиляторов и клапан на этаже, где произошел пожар. В шкафах пожарных кранов на каждом этаже устанавливаются кнопки, с помощью которых можно дублировать управление системами.

Помимо концентратора «Комар» в подобных схемах применяются и другие устройства, так, например, станция ТОЛ-10/100, также работающая с тепловыми датчиками, станции РУОП, СДПУ-1, работающие со специальными комбинированными датчиками КИ-1, реагирующими как на повышение температуры, так и на определенные концентрации дыма. Эти станции и ряд других устройств применяются в промышленных и общественных зданиях. В жилых домах разрешается установка только тепловых датчиков ДТЛ, так как в датчиках, реагирующих на дым, применяются радиоактивные элементы.

В связи с этим в первые годы строительства домов повышенной этажности наибольшее распространение получили схемы с концентраторами «Комар». Однако схема с концентраторами «Комар» имеет недостаток, заключающийся в том, что срабатывание вентиляционных устройств и сигнал о вызове пожарной команды могут произойти не только в случае загорания, но и при случайном обрыве в луче.

Начиная с 1972 г. в массовом жилищном строительстве в Москве и некоторых других городах нашла широкое применение схема, приведенная на рис. 22.2. В основе работы схемы лежит принцип изменения полярности с помощью диодов, шунтирующих каждый датчик ДТЛ. Как видно из схемы, в каждый луч[1] включены два реле: вспомогательное *1Р1* и исполнительное *1Р2*. В цепи катушки первого реле включены соединенные последовательно датчики луча данного этажа $1ДТ1—1ДТ_m$, шунтированные диодами $1ДД1—1ДД_m$. Работа схемы происходит следующим образом. При подаче напряжения на схему срабатывают все

[1] На схеме показаны 1-й и 28-й лучи.

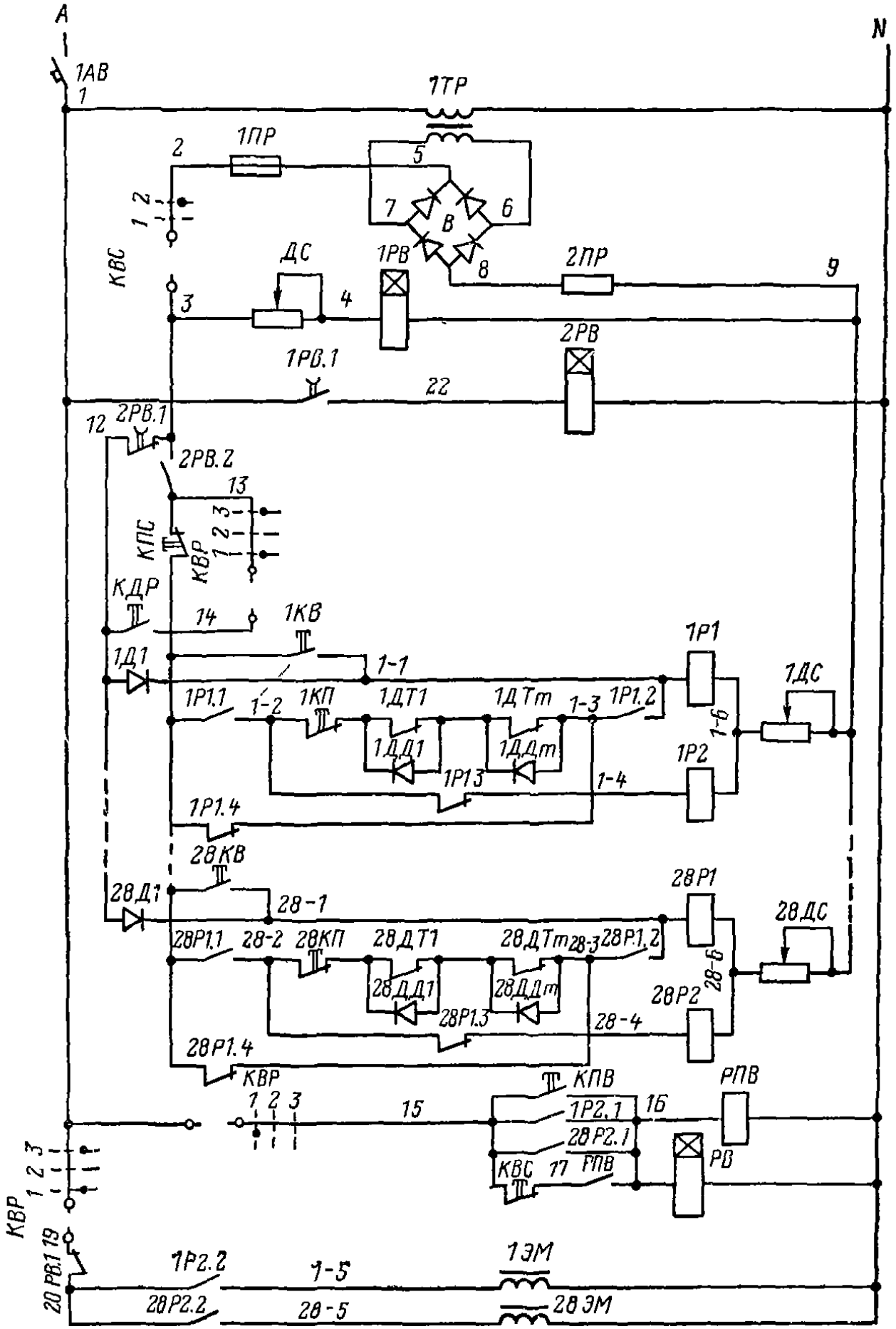



Рис. 22.2. Схема управления системами дымозащиты с реле постоянного тока в лучах

вспомогательные реле по цепи: плюс выпрямителя *В*, размыкающий контакт реле времени *2РВ.1*, диод *1Д1* (для луча 1-го этажа) катушка реле *1Р1*, добавочное сопротивление *1ДС*, минус выпрямителя.

Вспомогательное реле, сработав, самоблокируется по цепи: плюс выпрямителя *В*, контакт реле времени *2РВ.2*, кнопка проверки схемы *КПС*, контакт реле *1Р1.1*, кнопка *1КП* (устанавливается в пожарном шкафу), тепловые датчики, контакт *1Р1.2* и катушка реле *1Р1*, добавочное сопротивление *1ДС*, минус выпрямителя. Таким образом, каждый луч оказывается в дежурном режиме. Если теперь произойдет размыкание любого из датчиков (например, *1ДТ1*) в луче, то реле *1Р1* обесточится, так как диод, шунтирующий разомкнувшийся датчик, включен навстречу плюсу выпрямителя. После отключения реле *1Р1* включается реле *1Р2* по цепи: плюс выпрямителя, контакт реле времени *2РВ.2*, кнопка проверки схемы *КПС*, размыкающий контакт реле *1Р1.4*, диод *1ДД1*, шунтирующий разомкнувшийся датчик, кнопка *1КП*, размыкающий контакт реле *1Р1.3*, катушка реле *1Р2*, добавочное сопротивление *1ДС*, минус выпрямителя. Реле *1Р2* своим замыкающим контактом *1Р2.2* замыкает цепь питания электромагнита *1ЭМ* клапана данного этажа; другим замыкающим контактом реле *1Р2.1* включает реле пуска вентиляции *РПВ* и реле времени *РВ*, которое с выдержкой времени 10—15 с своим контактом *РВ.1* отключает цепи питания всех электромагнитов этажных клапанов. Это необходимо для того, чтобы был открыт только один клапан, так как вентилятор рассчитывается на эффективное удаление дыма только при одном открытом клапане. Это же реле *РВ* своим замыкающим контактом выдает на диспетчерский пункт сигнал «пожар».

В случае обрыва цепи питания катушки реле *1Р1* оно обесточивается, но и реле *1Р2* не может включиться, так как они имеют общие цепи. В этом случае последовательно соединенные размыкающие контакты обоих реле включают специальное реле, общее для всех лучей (на схеме не показано), которое передает на диспетчерский пункт сигнал «неисправность».

В схеме предусмотрена возможность проверки как всей схемы сразу с помощью кнопки *КПС*, установленной на щите, так и каждого луча в отдельности с помощью кнопки *1КП*, устанавливаемой в пожарном шкафу. Перевод схемы в дежурный режим осуществляется либо со щита

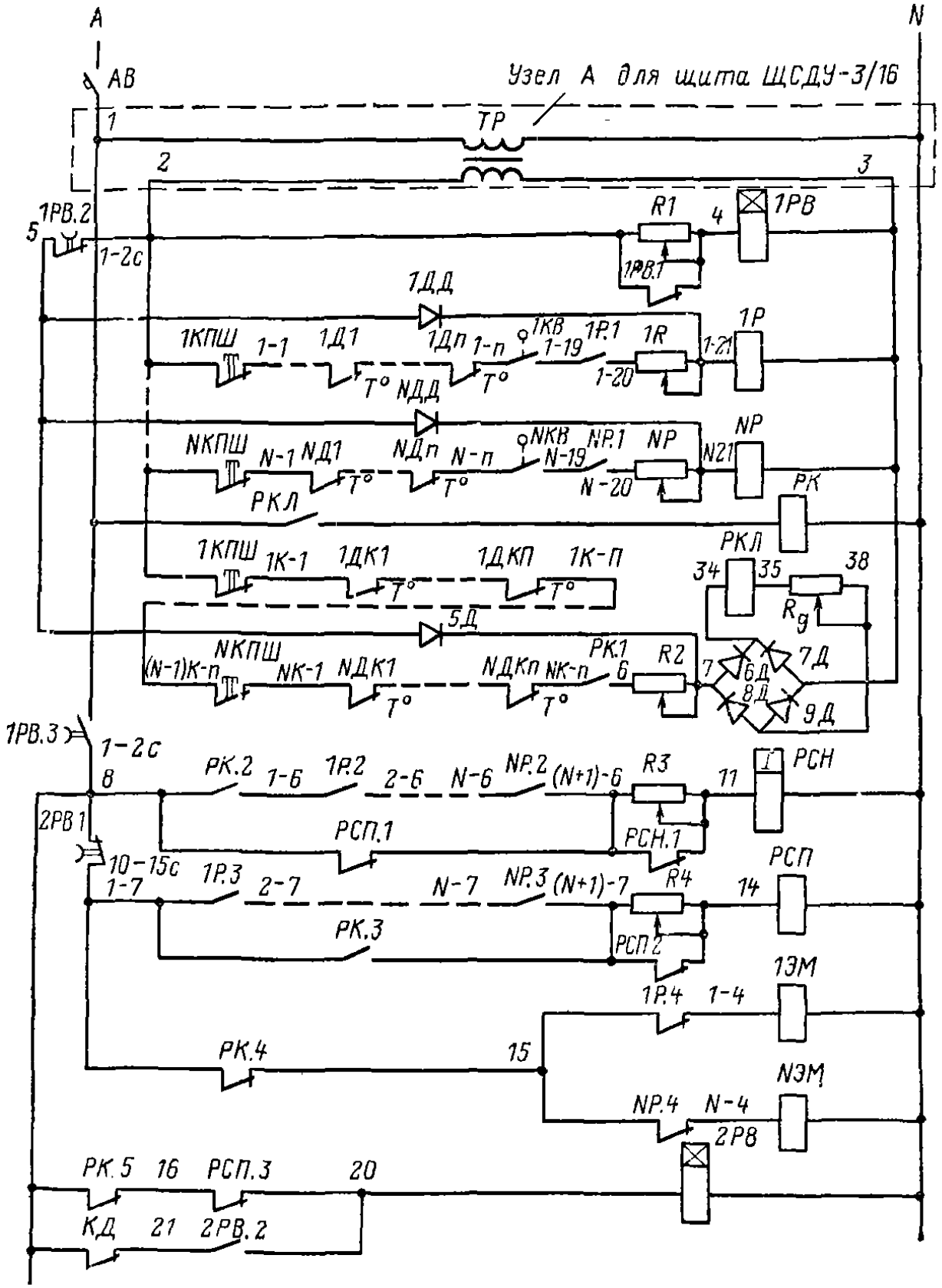



Рис. 22.3. Схема управления системами дымозащиты с реле переменного тока в лучах

кнопкой *КДР*, либо на каждом этаже кнопкой *1КВ*. При монтаже и наладке схемы необходимо строго соблюдать полярность включения каждого датчика, шунтированного диодом. Это создает определенные трудности при выполнении монтажных и наладочных работ.

Начиная с 1977 г. вместо описанной схемы внедряется новая схема, приведенная на рис. 22.3. Эта схема отличается от описанной главным образом тем, что в каждом помещении устанавливаются не один, а два датчика ДТЛ, которые уже не требуется шунтировать диодами. Один датчик включается в луч данного этажа, а второй в один контрольный луч на все этажи[1]. Размыкание одновременно двух датчиков в одном помещении формируется в схеме как сигнал «пожар», а любого одного — как сигнал «неисправность».

В отличие от описанной схемы в каждом луче вместо двух реле постоянного (=24 В) тока применяется одно реле переменного (~36 В) тока. В контрольный луч включено одно реле постоянного (=24 В) тока.

При обесточивании одновременно одного из этажных лучевых реле и реле контрольного луча размыкается цепь питания катушки реле *РСП*, которое в свою очередь обесточивается и подает сигнал «пожар», одновременно включая необходимые вентиляционные системы. Если разомкнулся только один датчик в этажном или контрольном луче, то реле *РСП*, остается под напряжением, а обесточивается реле *РСН*, которое выдает сигнал «неисправность». Так как длина трасс лучей, особенно контрольного, может достигать больших значений, необходимо считаться с потерей напряжения и правильно выбирать сечение лучевых проводов.

Длина двухпроводной линии, т. е. трассы этажного луча, м, может быть определена по формуле

$$l = \frac{cs\Delta U}{P\cos\varphi K_з}, \qquad (22.1)$$

где $c$ — коэффициент, зависящий от напряжения и материала проводника; для медного провода при напряжении 36 В $c$=0,324; $s$ — сечение проводника, мм$^2$; $\Delta U$ — допустимая потеря напряжения в луче, может приниматься до 10 %; $P$ — мощность, потребляемая катушкой реле, кВ·А;

[1] Эта схема, так же как и описанная, формируется на одну секцию жилого дома.

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности катушки реле; $K_з$ — коэффициент запаса, учитывающий непредвиденные снижения напряжения и переходные сопротивления на соединениях (можно принять $K_з=2{,}5$).

Для примера определим максимальную длину трассы этажного луча, выполняемого проводом марки ТРВ с жилой диаметром 0,5 мм, при установке в луче реле РПУ-1 ($P=16$ В·А$=0{,}016$ кВ·А).

Сечение провода $s=\pi D^2/4=3{,}14\cdot 0{,}5^2/4\approx 0{,}2$ мм$^2$.

Коэффициент мощности катушки реле определяется из выражения

$$\cos\varphi \approx R/Z, \qquad (22.2)$$

где $R$ — активное сопротивление катушки постоянному току (по каталогу $R=14$ Ом); $Z$ — полное сопротивление катушки на переменном токе, определяемое из выражений

$$Z=U/I;\quad I=P/U=16/36=0{,}45\ \text{А};$$

$$Z=36/0{,}45=80\ \text{Ом}.$$

Подставляя значения $R$ и $Z$ в выражение (22.2), получаем

$$\cos\varphi=14/80=0{,}175\approx 0{,}2,$$

тогда

$$l=\frac{0{,}324\cdot 0{,}2\cdot 10}{0{,}016\cdot 0{,}2\cdot 2{,}5}=81\ \text{м}.$$

Следовательно, полную длину луча можно принять 160 м.

В случае более длинного этажного луча можно применить, например, провод ППВ-0,75, тогда

$$l=\frac{0{,}324\cdot 0{,}75\cdot 10}{0{,}016\cdot 0{,}2\cdot 2{,}5}=300\ \text{м}.$$

Следовательно, полную длину луча можно принять 600 м.

Для контрольного луча максимальная длина линии определяется из следующих двух выражений:

$$I=U_{ном}/(R_{пр}+2R_д+R_к); \qquad (22.3)$$

$$I=\Delta U/(R_{пр}+2R_д), \qquad (22.4)$$

где $I$ — ток в луче, А; $R_{пр}$ — сопротивление проводов, Ом; $R_д$ — сопротивление диода, Ом; $R_к$ — сопротивление катушки реле, Ом; $U_{ном}$ — напряжение питания, В; $\Delta U$ — допустимая потеря напряжения на линии и диодах, В.

Тогда, приравнивая выражения (22.3) и (22.4), можно составить уравнение для определения длины линии:

$$\Delta U/(R_{пр,уд}\,l+2R_д)=U_{ном}/(R_{пр,уд}\,l+2R_д+R_к);$$

$$l=\frac{\Delta U\,(2R_д+R_к)-2U_{ном}R_д}{R_{пр,уд}\,(U_{ном}-\Delta U)}. \qquad (22.5)$$

Для описываемой схемы $U_{ном}=36$ В, применено реле МКУ-48 с катушкой напряжением 24 В постоянного тока, $R_к=510$ Ом, $2R_д=7$ Ом. Сопротивление проводов определяется как произведение сопротивления 1 км провода на длину ($R_{пр,уд}l$). Принимаем $\Delta U=14$ В.

Для провода ТРВ $R_{пр,уд}=90$ Ом/км, тогда

$$l=\frac{14(7+510)-2\cdot36\cdot7}{90(36-14)}=3{,}4 \text{ км}.$$

Следовательно, длину трассы можно принять равной 1700 м.

Если применить провод ППВ-0,75, $R_{пр,уд}$ которого равно 23 Ом/км, то

$$l=\frac{6740}{23\cdot22}=13{,}5 \text{ км}=13\,500 \text{ м}.$$

Следовательно, трасса равна 6750 м.

Следует иметь в виду, что при первоначальном включении все этажные (лучевые) реле срабатывают практически одновременно и по питающим проводам проходит суммарный пусковой ток этих реле, что вызывает значительную потерю напряжения. Для обеспечения надежного включения реле необходимо расчетом определить требуемое сечение. В некоторых случаях может оказаться целесообразным каскадное включение этажных реле. Для исключения одновременного включения всех электродвигателей приточных и вытяжных вентиляторов дымозащиты в схемах управления устанавливаются реле времени, обеспечивающие отстройку пуска по времени.

## Глава двадцать третья

# ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Широкое внедрение различного инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях значительно усложняет его эксплуатацию. К инженерному оборудованию относятся многочисленные насосные установки, вентиляционные системы, противопожарные устройства, пассажирские и грузовые лифты, общедомовые осветительные установки, наружное и декоративное освещение, тепловые пункты и т. д.

Для эффективного контроля за работой инженерного оборудования, а также своевременной ликвидации аварийных состояний и проведения ремонта используются различные диспетчерские службы, организованные в ряде круп-

ных городов (Москва, Ленинград, Свердловск и др.). В Москве созданы объединенные диспетчерские службы (ОДС), функционирующие при жилищно-эксплуатационных конторах (ЖЭК), или дирекциях по эксплуатации зданий (ДЭЗ).

Организация диспетчерской службы позволяет высвободить большое количество персонала при значительном упрощении эксплуатации и повышении надежности работы оборудования. Так, введение диспетчеризации пассажирских лифтов в жилых домах позволило отказаться от лифтеров. Система диспетчеризации инженерного оборудования состоит из диспетчерского пункта (ДП) с пультом диспетчера и контролируемых пунктов (КП), устанавливаемых непосредственно на объектах, к которым подключается все контролируемое инженерное оборудование.

В качестве каналов связи между ДП и КП могут использоваться:

а) многопроводные линии с отдельными проводниками на каждые импульс, команду, сигнал;

б) малопроводные линии с различными видами уплотнения, при которых по одной паре проводников может быть передано значительное количество сигналов;

в) существующие электрические сети, по которым сигналы передаются на частотах, отличающихся от промышленной частоты.

Пока наибольшее распространение в жилищном хозяйстве получили системы диспетчеризации с многопроводными каналами связи. Широко распространенные в Москве ОДС обслуживают только жилые дома и предназначены главным образом для приема от населения заявок на устранение различных неполадок, возникающих в системах электроснабжения, водоснабжения, отопления, лифтовых установках и т. д. Для этого система ОДС оборудована двухсторонней громкоговорящей связью с переговорными устройствами, устанавливаемыми на первом этаже в каждом подъезде всех домов и в каждой кабине лифтовых установок. Кроме того, на пульт ОДС поступают сигналы о пожаре от щитов систем дымоудаления и пожарной сигнализации или о неисправности в сети, а также о наличии напряжения на зажимах электродвигателей систем дымоудаления.

К специальному прибору (логометру), установленному на пульте диспетчера, подключаются термометры сопротивления, позволяющие измерить в ЦТП температуру во-

ды в системе отопления и горячего водоснабжения. Для переговоров диспетчера с ремонтным персоналом переговорные устройства устанавливаются в ЦТП и подвалах жилых домов, где к переговорным устройствам подключаются специальные датчики, сигнализирующие о затоплении технических подполий и подвалов. С пульта диспетче-

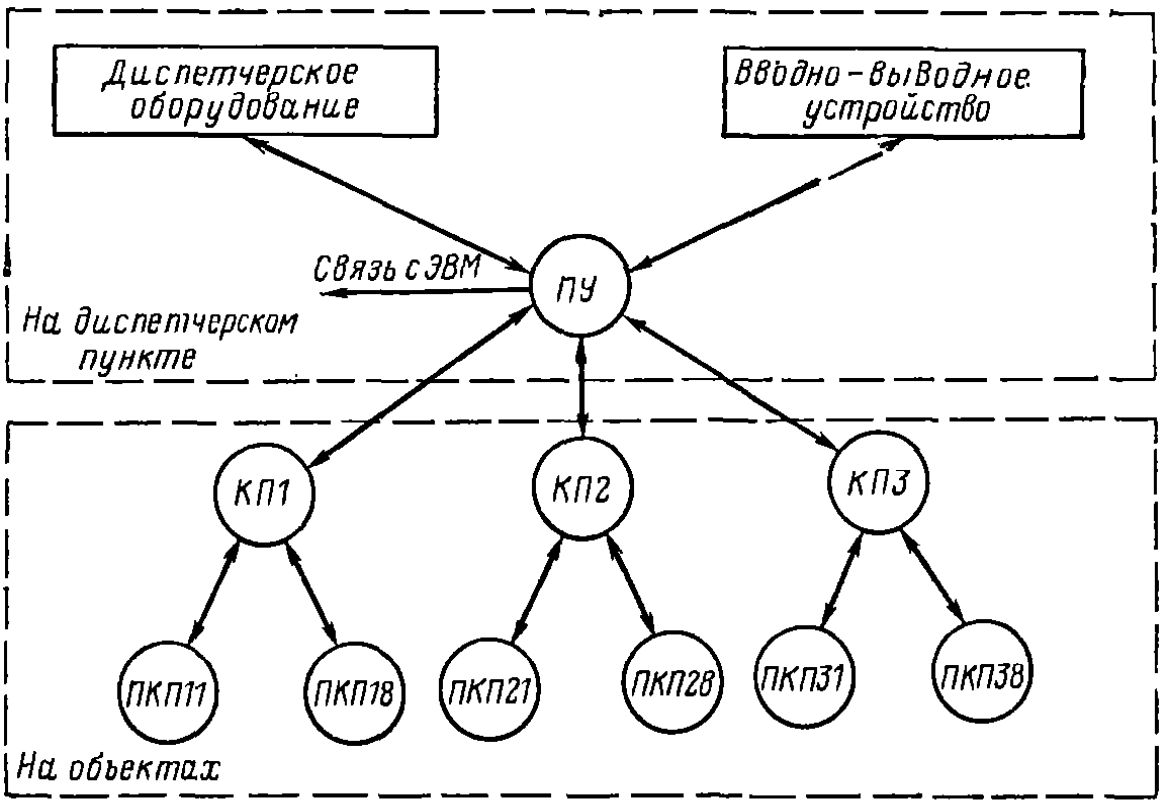



Рис. 23.1. Структурная схема диспетчеризации района

ра может осуществляться управление освещением лестниц и коридоров в жилых домах.

В последнее время в многоэтажных жилых домах устанавливаются кодовые замки (на входах в подъезд) или запорно-переговорные устройства (домофоны). С пульта ОДС можно открыть наружные двери. Имеется также переговорное устройство, позволяющее вести переговоры с диспетчером из каждого подъезда. Одним из существенных недостатков ОДС является то, что к пультам ОДС не подключается инженерное оборудование общественных зданий (школ, детских садов, магазинов и т. п.), расположенных в микрорайоне.

Наиболее прогрессивным является создание центральных диспетчерских пунктов (ЦДП), обслуживающих все здания, расположенные в микрорайоне.

Главная задача, которую приходится решать при проектировании ЦДП, — это выбор аппаратуры. При достаточно больших площадях застройки с большим числом как жилых, так и общественных зданий целесообразно применять телемеханическую аппаратуру с малопроводными каналами связи.

Так, например, в экспериментальном жилом районе (ЭЖР) Чертаново-Северное в Москве сооружается ЦДП с аппаратурой ТК-210, специально разработанной Министерством приборостроения для автоматизированных систем управления (АСУ) городским хозяйством. Система ТК-210 представляет собой многофункциональный комплекс с программной обработкой информации, позволяющий комплексно решать задачи сбора, передачи, программно-управляемой обработки, хранения и выдачи информации.

В состав комплекса, предназначенного для диспетчеризации инженерного оборудования объектов ЭЖР Чертаново-Северное, входят (рис. 23.1) устройство пункта управления *ПУ*, три контролируемых пункта *КП* и 24 периферийных контролируемых пункта *ПКП*.

Устройство *ПУ* обеспечивает выполнение следующих функций:

а) передачу на КП и ПКП от пульта диспетчера или управляющего вычислительного комплекса (УВК) следующих команд:

управление двухпозиционными (ТУ) объектами;

вызов со всех КП и ПКП или выбранного КП (ПКП) информации о состоянии двухпозиционных объектов (ТС);

вызов со всех КП и ПКП или выбранного КП (ПКП) телеизмерения текущих значений параметров (ТТ);

б) передачу на КП (ПКП) от пульта диспетчера вызова к телефону (ТФ) и ведение телефонных переговоров;

в) прием извещательной информации (ТС, ТТ) со всех КП и ПКП или одного КП (ПКП);

г) ретрансляцию извещательной (ТС, ТТ) информации в УВК;

д) индикацию в цифровой или аналоговой форме параметров ТТ в абсолютных или относительных значениях по выбору диспетчера или постоянно;

е) обнаружение и сигнализацию выхода принимаемых параметров ТТ за пределы заданных уставок;

ж) обнаружение и сигнализацию изменения положения

объектов или появления телесигнализации аварийной (ТСА);

з) воспроизведение информации ТС по схеме мимического или светового щита;

и) цифро-буквенную регистрацию и перфорацию по заданной программе известительной (ТС, ТТ) и командной (ТУ) информации.

Устройство КП обеспечивает выполнение следующих функций:

а) прием с ПУ команд ТУ;

б) передачу на ПКП команд ТУ;

в) передачу на ПУ по вызову информации о состоянии объектов ТС, ТСА и значений параметров ТТ;

г) ретрансляцию на ПУ с аппаратуры ПКП по вызову информации о состоянии объектов ТС, ТСА и значений параметров ТТ;

д) передачу на ПУ сигнала вызова диспетчера к телефону.

Устройство ПКП обеспечивает выполнение следующих функций:

а) прием с ПУ через КП команд ТУ;

б) передачу на ПУ через КП по вызову информации о состоянии объектов ТС, ТСА и значений параметров ТТ;

в) передачу на ПУ через КП сигнала вызова диспетчера к телефону.

По мнению авторов, наиболее целесообразна организация единых диспетчерских служб, обслуживающих не только жилищное хозяйство, но и весь комплекс зданий и сооружений микрорайона. Примером таких эксплуатационных служб являются дирекции, организованные в Москве на проспекте Калинина, в Олимпийской деревне, экспериментальном жилом районе Чертаново-Северное. В таких случаях экономически оправдано и целесообразно применение систем телемеханики, подобных описанной выше.

В некоторых общественных зданиях, таких как гостиницы, рестораны, административные здания, крупные учебные заведения, создаются ЦДП, в которых устанавливаются щиты и пульты с аппаратурой управления и сигнализации, а иногда и контрольно-измерительные приборы. Из ЦДП осуществляется дистанционное управление электродвигателями различного инженерного оборудования, осветительными установками и контроль за их работой. Сюда же поступают сигналы о пожаре и различных аварийных ситуациях.

# Раздл седьмой
# ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

## Глава двадцать четвертая
## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

### 24.1. Условия поражения человека электрическим током

Эксплуатация всех видов электроустановок представляет определенную опасность для людей. Это вызывает необходимость строгого соблюдения требований правил техники безопасности и соответствующей квалификации персонала, обслуживающего электроустановки.

Поражение электрическим током возможно в случае прикосновения к токоведущим частям электроустановки или к металлическим нетоковедущим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением при нарушении изоляции. Электрические установки могут создать и пожарную опасность при КЗ, перегрузке проводов, кабелей и электроприемников, искрении и повышенном нагреве контактных соединений.

Тело человека обладает определенным электрическим сопротивлением, которое изменяется в широких пределах (от 500 до 100 000 Ом) и зависит от многих причин: общего состояния здоровья, толщины и состояния кожного покрова и его влажности, условий окружающей среды, длительности прохождения тока и некоторых других факторов. В расчетах по технике безопасности сопротивление человеческого тела обычно принимается равным 1000 Ом.

Различают следующие виды воздействия электрического тока на человеческий организм: тепловое — ожоги; механическое — разрыв тканей, электролиз крови; биологическое — поражение нервной системы. Особенно опасно прохождение тока через сердце, вызывающее паралич сердечной мышцы.

Тяжесть электротравмы зависит от значения тока и длительности его прохождения. Считается, что в большинстве случаев ток 0,1 А представляет собой смертельную опасность для человека. При этом токе, проходящем от руки к руке или от руки к ногам в течение 3 с, может наступить паралич сердца.

Для человека опасен как переменный, так и постоянный ток, однако наибольшую опасность представляет переменный ток промышленной частоты (50 Гц). С повышением частоты переменного тока опасность поражения уменьшается.

В зависимости от опасности поражения человека электрическим током в действующей редакции ПУЭ принята следующая классификация помещений, в которых размещается электрооборудование:

1. Помещения без повышенной опасности — сухие нежаркие с нетокопроводящими полами, без металлоконструкций, токопроводящей пыли, например жилые, административные и другие общественные здания с деревянными, линолеумными и подобными полами.

2. Помещения с повышенной опасностью — влажные (при относительной влажности выше 75 %), жаркие (при температуре свыше 30 °С), с токопроводящими полами (железобетонными, металлическими, земляными), помещения, в которых имеется опасность одновременного

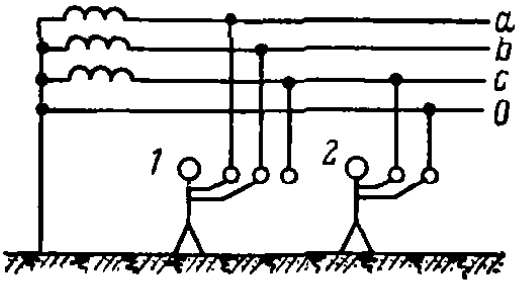



Рис. 24.1. Прикосновение человека к проводам трехфазной четырехпроводной сети: к двум фазным проводам (*1*) и к фазному и нулевому проводам (*2*)

прикосновения к металлическим конструкциям зданий, трубопроводам, станкам и металлическим корпусам электрооборудования.

3. Помещения особо опасные — особо сырые помещения, в которых полы, стены и потолок покрыты влагой (бани, прачечные и т. д.), в которых относительная влажность воздуха близка к 100 %, помещения с химически активной средой, воздействующей на изоляцию. К особо опасным относятся и такие помещения, в которых одиовременно существуют два или больше признаков повышенной опасности. Применительно к вышеприведенной классификации нормами и правилами установлены надлежащие требования, которым должны удовлетворять электрооборудование, проводки и все другие элементы электроустройств.

Возможны два случая прикосновения человека к токоведущим частям: двухполюсное, когда человек коснулся двух неизолированных проводов электрической сети, и однополюсное, когда человек касается одного из проводов.

Более опасно двухполюсное прикосновение, особенно если к разным проводам человек прикоснулся двумя руками (рис. 24.1). При этом ток, проходящий через тело человека, $I_ч$ в трехфазной четырехпроводной сети может достигнуть значения:

при прикосновении к двум фазам

$$I_ч = U_л/R_ч \qquad (24.1)$$

и при прикосновении к фазному и нулевому проводам

$$I_ч = U_ф/R_ч, \qquad (24.2)$$

где $U_л$ и $U_ф$ — соответственно линейное и фазное напряжения сети, В; $R_ч$ — сопротивление человеческого тела, Ом.

При однополюсном прикосновении человек касается либо одного из неизолированных проводников электрической цепи, либо нетокове-

дущей металлической части электрооборудования, оказавшейся под напряжением в результате повреждения изоляции. В этом случае значение тока, проходящего через человека, зависит не только от приложенного напряжения, но и от режима нейтрали источника питания, активного сопротивления изоляции и емкости проводов по отношению к земле.

Электрические установки могут выполняться с глухозаземленной или изолированной нейтралью генераторов или трансформаторов. Глухозаземленной называется нейтраль генератора или трансформатора, соединенная с заземляющим устройством непосредственно или через малое сопротивление. Изолированной называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление. Согласно ПУЭ в нашей стране электроустановки и электросети до 1000 В переменного тока допускаются как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью. В четырехпроводных сетях переменного тока глухое заземление нейтрали является обязательным. Сети напряжением 110, 220, 500 кВ выполняются с глухозаземленной нейтралью, а 6, 10, 35 кВ — с изолированной нейтралью. В сетях 35 кВ в целях компенсации емкостных токов в случае однофазного замыкания на *землю часто применяют заземление нейтрали через катушку с индуктивным* сопротивлением. Рассмотрим случай однополюсного прикосновения к фазному проводу в трехфазной четырехпроводной сети 380/220 В, питаемой от вторичной обмотки понижающего трансформатора, с глухозаземленной нейтралью. Как видно из рис. 24.2, ток проходит через тело человека, его обувь, основание, на котором он стоит, и через заземляющее устройство нейтрали трансформатора. Таким образом, ток $I_ч$ будет равен

$$I_ч = \frac{U_ф}{R_ч + R_{об} + R_з}, \qquad (24.3)$$

где $R_{об}$ — сопротивление обуви человека и основания, на котором он стоит, Ом; $R_з$ — сопротивление заземляющего устройства нейтрали.

В формуле (24.3) пренебрегли сопротивлениями фазного провода и грунта ввиду относительно малого их значения. Из этой формулы следует, что если сопротивление обуви и основания достаточно велико, то опасность поражения током снижается. Естественно, такое положение имеет место, если человек находится в сухом помещении с непроводящими полами. Что касается $R_з$, то эта величина мала по сравнению с $R_ч$ и $R_{об}$.

Значительно опаснее однополюсное прикосновение в сыром помещении или на открытом воздухе, где $R_{об}$ весьма мало и им можно пренебречь.

В этом случае ток $I_ч$ значительно выше и равен

$$I_ч = \frac{U_ф}{R_ч + R_з}. \qquad (24.4)$$

При напряжении 220 В и $R_ч = 1000$ Ом ток $I_ч$ будет достигать 0,2 А, что чрезвычайно опасно для жизни человека. Однако при однофазном замыкании на землю или повреждении изоляции одной из фаз в сети с глухозаземленной нейтралью и малом сопротивлении заземляющего устройства нейтрали возникает достаточно большой ток КЗ и поврежденный участок сети должен быстро отключаться аппаратами защиты. Поэтому вероятность прикосновения в этот момент человека к корпусу поврежденного электроприемника весьма мала, что является важным преимуществом сетей с глухозаземленной нейтралью.

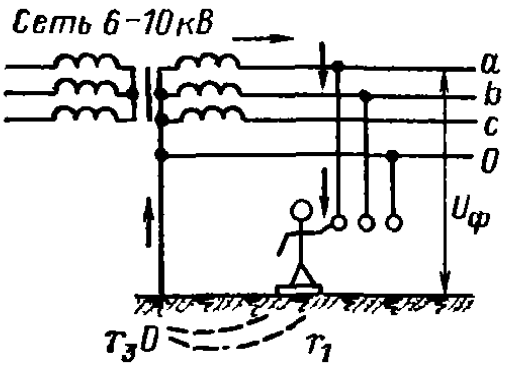



Рис. 24.2. Прикосновение к одному из фазных проводов четырехпроводной трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью

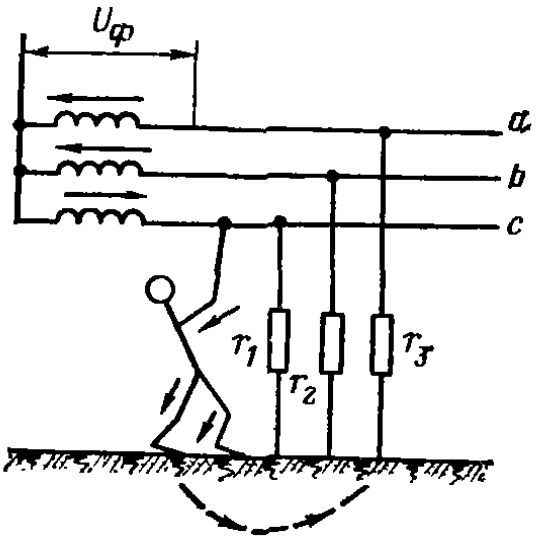



Рис. 24.3. Прикосновение к одному из фазных проводов трехфазной сети с изолированной нейтралью

Кроме того, при замыкании одного из проводов сети 380/220 В на землю потенциал неповрежденных проводов (при правильном расчете рабочего заземления нейтрали) не превышает 250 В, что обеспечивает возможность присоединения к такой сети силовых и осветительных электроприемников. Вышеуказанные и некоторые другие преимущества обусловливают обязательность повсеместного применения в четырехпроводных электрических сетях переменного тока глухого заземления нейтрали, за исключением некоторых случаев, оговоренных ПУЭ и указанных далее.

В трехфазной сети с изолированной нейтралью ток $I_ч$ при прикосновении человека к фазному проводу (рис. 24.3) определяется по формуле (без учета емкости сети)

$$I_ч = \frac{3U_ф}{3R_ч + R_{из}} \qquad (24.5)$$

где $R_{из}$ — сопротивление изоляции одной фазы относительно земли, Ом (при условии одинакового значения для всех трех фаз).

Из выражения (24.5) следует, что при исправной сети до 1000 В с высоким уровнем изоляции ток $I_ч$ будет незначителен, и сети с изолированной нейтралью оказываются менее опасными при однополюсном прикосновении, чем сети с глухозаземленной нейтралью. Поэтому ПУЭ рекомендуют применение электрических сетей и устройств с изолированной нейтралью в установках с повышенной опасностью (торфохозяйства, шахты и т. п.).

Однако в такой сети повреждение изоляции и замыкание на землю одной из фаз может быть длительное время не обнаружено, а прикосиовение к неповрежденной фазе приведет к тому, что человек окажется под полным линейным напряжением сети. Поэтому ПУЭ требуют в электрических сетях с изолированной нейтралью применять специальные устройства для контроля за состоянием изоляции, немедленно сигнализирующие о повреждении изоляции, либо отключающие участки, в которых произошло замыкание на землю.

Отметим в заключение, что в сильно разветвленных и протяженных сетях трудно обеспечить достаточно высокий уровень сопротивления изоляции и, кроме того, уже сказывается влияние емкости проводов по отношению к земле, что повышает опасность однополюсного прикосновения и ограничивает применение системы с изолированной нейтралью.

## 24.2. Общие меры безопасности

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо прежде всего исключить возможность случайного прикосновения к токоведущим частям. В этих целях устанавливают соответствующие ограждения или токоведущие части располагают иа высоте, недоступной без специальных приспособлений.

Распределительиые щиты, щитки, распределительные пункты размещают в специальных помещениях или запираемых шкафах, не имеющих токоведущих частей на лицевой стороне. Зажимы электродвигателей и других электроприемников, а также пусковых аппаратов должны быть закрыты кожухом и недоступны для прикосновения.

Ремонт электродвигателей и пусковых аппаратов во время их работы недопустим. Нельзя выполнять ремонт электропроводки без полного отключения выключателем на групповом щитке и т. д.

Для наружных установок и воздушных электрических сетей установлены необходимые высоты и габариты приближения к различным зданиям и сооружениям, обеспечивающие невозможность прикосновения к проводам. Эти размеры зависят от напряжения сети и указаны в ПУЭ и строительных нормах.

Правилами техники безопасности установлены требования безопасности, которые должны соблюдаться обслуживающим электротехническим персоналом в процессе эксплуатации электроустановок. Для защиты обслуживающего персонала от поражения током и действия электрической дуги применяют различные защитные средства и приспособления. К ним относятся инструменты с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки, галоши и боты, резиновые коврики, защитные очки, специальные лестницы и стремянки, переносные заземления и ограждения, а также сигнальные переносные указатели напряжения и тока.

При производстве работ в установках до 1000 В при полном снятии напряжения необходимо, чтобы все неотключенные токоведущие части другого соседнего оборудования имели наглухо закрытые ограждения либо находились на расстоянии или высоте, при которых случайное прикосновение к ним работающих невозможно. Правила разрешают в определенных условиях работу без снятия напряжения, для чего применяют защитные средства и специальные приспособления. В этом случае должны работать двое электромонтеров, старший из которых должен иметь квалификацию по технике безопасности не ниже IV группы, младший — не ниже III группы.

Как уже отмечалось, чрезвычайно важное значение имеет уровень изоляции. Необходимо обеспечивать неуклонное выполнение требований ПУЭ к устройству электроустановок в зависимости от категории помещений. При дистанционном управлении в электроустановках следует применять световую или звуковую сигнализацию, предупреждающую работающих о пуске механизмов, а в некоторых случаях (ТП, РП и т. д.) — блокировочные устройства, исключающие возможность прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Нужно строго выполнять профилактические осмотры и измерения, характеризующие состояние электрооборудования, в сроки, регламентированные правилами технической эксплуатации [48].

Для предупреждения населения об опасности, которую представляют собой все виды электрооборудования, широко применяются различные виды информации, в том числе популярные брошюры, плакаты, лекции, беседы, практикуемые энергоснабжающими организациями.

Наряду с общими мерами безопасности для защиты людей от поражения током в сетях и электроустановках необходимо применять по крайней мере одну из следующих мер: защитное заземление, зануление, защитное отключение, малые напряжения (до 42 В), разделяющие трансформаторы, изолирующие площадки. Важное значение имеет выравнивание потенциалов в пределах установки или ее частей. В некоторых случаях без выравнивания потенциалов обеспечить безопасность невозможно. Эта защитная мера применяется совместно с защитным заземлением, занулением и другими защитными мерами.

## Глава двадцать пятая

# ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ЗАНУЛЕНИЕ И ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

**Заземлением** какой-либо части электроустаиовки называется предиамеренное электрическое соединение ее с заземляющим устройством. Заземляющее устройство состоит из заземлителей и заземляющих проводников.

**Заземлитель** представляет собой один или несколько металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в иепосредственном соприкосновении с землей. Заземляющие проводиики — металлические проводиики, соединяющие заземлитель с заземляемыми частями электроустановки.

**Защитное заземление** служит для предохранения от поражения током при прикосновении к металлическим конструктивным частям электроустановок, иормально не находящимся под напряжением, но могущим оказаться под иим вследствие повреждения изоляции. Оно применяется в сетях, работающих с изолированной нейтралью (например, 6 или 10 кВ). Если корпус (кожух) электрооборудования не заземлен, то при нарушении изоляции одной из токоведущих частей между незаземленным корпусом и землей появится напряжение. Следовательно, прикосновение человека к такому корпусу будет так же опасно, как и к голому проводнику одной фазы.

Если корпус заземлен, то при повреждении изоляции одной из фаз через него будет проходить ток $I_з$, обусловленный малым сопротивлением заземляющего устройства $R_з$ и значительным сопротивлением изоляции двух неповрежденных фаз. Значение напряжения прикосновеиия нормируется ПУЭ.

В электроустаиовках до 1000 В с глухим заземлением нейтрали источников питания (геиераторов, трансформаторов) защитное заземление выполняется путем присоединения иетоковедущих частей электрооборудования к заземленному иулевому проводу сети. Такая система называется **занулением** (рис. 25.1).

В этих устаиовках (сетях) при замыкаиии одной фазы иа корпус в результате повреждения изоляции возникает однофазное КЗ (путь тока показан иа рис. 25.1), в результате которого поврежденная часть установки (или участок сети) отключается токовой защитой, чем и обеспечивается безопасность прикосновения.

Главой 1-7 ПУЭ установлено, что в помещеииях с повышенной опасиостью, особо опасных и в наружных электроустановках защитное заземление или занулеиие обязательно во всех случах при напряжеиии переменного тока выше 42 и постоянного тока выше 110 В. В помещениях без повышенной опасности заземлеиие требуется при иапряжеиии 380 В и выше перемениого тока и 440 В и выше постоянного тока.

Заземлению (занулению) подлежат все металлические корпуса электродвигателей, пусковой аппаратуры, электроинструмента, конструкции, каркасы и кожухи электротехнических устройств, а также металлические части механизма с электроприводом, металлические трубы электропроводок, короба, лотки и т. д. Несмотря на то что жилые дома относятся к помещениям без повышенной опасности, заземлению (занулению) подлежат корпуса кухонных стационарных электроприбо-

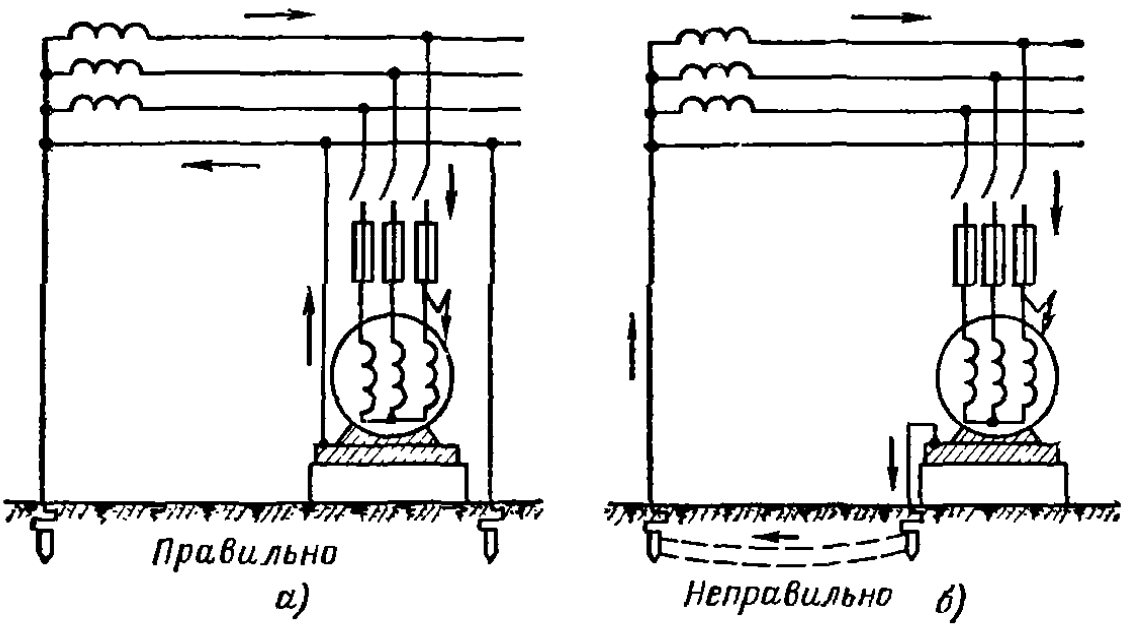



Рис. 25.1. Заземление в электроустановках до 1000 В с глухозаземленной нейтралью:

*а* — присоединение к нулевому проводу сети — зануление (правильно); *б* — применение заземлющего устройства (неправильно)

ров мощностью 1,3 кВт и выше, таких, как посудомоечные, автоматические стиральные машины, а также корпуса щитов, щитков, светильников и стальные трубы, короба, лотки электропроводок на лестничных клетках, в технических подпольях и на чердаках. Металлические оболочки и броня кабелей, как правило, должны быть заземлены в начале и конце трассы.

Не подлежат заземлению арматура изоляторов, оттяжки, кронштейны и осветительная арматура при устаиовке их на деревяниых опорах, корпуса электроприемников с двойной изоляцией [1], съемные или открывающиеся двери на металлических заземленных шкафах. В жилых комнатах, а также в кухнях и уборных квартир металлические корпуса стационарно установленного осветительного электрооборудования и переносных бытовых электроприборов и машин мощностью до 1,3 кВт (утюги, чайники, холодильники, швейные машины и т. д.) за-

[1] Двойной называется электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции.

землять (занулять) не требуется. В ванных комнатах могут применяться приборы и машины, имеющие двойную изоляцию, которые заземлять (занулять) ие требуется. При использоваиии в ваниых комнатах машин и приборов с одинарной изоляцией их металлические корпуса необходимо заземлять (занулять).

Корпуса стальных или чугунных ванн соединяются с помощью стальной полосы с трубами водопровода для выравнивания потенциалов, которые могут появиться на корпусе ванны при повреждении скрытых электропроводок, находящихся в конструкциях зданий.

В четырехпроводных сетях переменного тока с глухозаземленной нейтралью присоединение корпусов электроприемников и других частей электроустановок, подлежащих заземлению к заземлителям, без подключения к нулевому защитному проводу ие разрешается, ибо при этом не обеспечивается безопасность людей (см. рис. 25.1), поскольку при замыкании на корпус через два последовательных заземления ток однофазного КЗ может оказаться недостаточным для срабатывания защиты.

Сопротивление заземляющего устройства нейтралей генераторов и трансформаторов должно быть в сетях 380/220 В не более 4 Ом*. Поскольку заземление на подстанциях является общим и для установок высокого напряжения, то в некоторых случаях, определенных ПУЭ, это сопротивление приходится принимать на основании специального расчета в зависимости от возможного значения тока замыкания на землю в сети высшего напряжения.

**Устройство заземления и заиуления.** В качестве заземлителей следует в первую очередь использовать так называемые *естественные заземлители.* К ним относятся водопроводные и другие металлические трубопроводы без антикоррозионного покрытия, за исключением трубопроводов с горючими жидкостями или горючими и взрывчатыми газами, свинцовые оболочки кабелей, металлические конструкции и арматура железобетонных зданий и сооружений, имеющих соединение с землей, фундаменты, металлические шпунты, обсадные трубы и т. д. Алюмнниевые оболочки кабелей и голые алюминиевые проводники использовать в качестве заземлнтелей не разрешается.

В тех случаях, когда естественные заземлители отсутствуют или их сопротивление превышает требуемое значение, устраиваются искусственные заземлители, состоящие из отрезков угловой стали (размерами 50×50×4 мм) длиной 2,5—3 м, некондиционных стальных труб диаметром 50 мм той же длины с толщиной стенки не менее 3,5 мм, отрезков круглой стали диаметром 12—14 мм, длиной до 5 м и более.

---

* Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей (см. далее). Однако во всех случаях сопротивление искусственного заземлителя должно быть при том же напряжении не более 30 Ом.

Указанные отрезки (электроды) погружаются в грунт на расстоянии друг от друга примерно 3 м и соединяются между собой стальной полосой размером обычно 40×4 мм.

Верхние концы электродов должны быть на глубине 0,6—0,7 м от поверхности. Соединительная полоса прокладывается в траншее глубиной 0,6—0,7 м. Все соединения осуществляются сваркой.

Количество электродов зависит от их размеров, удельного сопротивления грунта, глубины промерзания и некоторых других факторов и определяется на основании специального расчета, который приводится в [49].

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников в электроустановках до 1000 В могут быть использованы металлические конструкции зданий (если обеспечивается надежное соединение звеньев всей цепи), стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические трубопроводы (кроме трубопроводов с горючими и взрывоопасными смесями, канализации, центрального отопления), металлические кожухи шинопроводов, металлические короба и лотки, нулевые рабочие провода электрической сети [1]. Не разрешается использовать в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников тонкие металлические оболочки трубчатых проводов и свинцовые оболочки кабелей (АТПРФ, АСРГ и т. д.).

В электроустановках до 1000 В с глухим заземлением нейтрали нулевые защитные проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при однофазном замыкании на корпус или на нулевой проводник происходило быстрое отключение защитой дефектного участка. Правила устройства электроустановок требуют, чтобы при этом ток однофазного КЗ в наиболее удаленной точке цепи превышал не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя или номинальный ток комбинированного или теплового расцепителя автоматического выключателя.

В воздушных сетях переменного тока зануление осуществляется при помощи нулевого провода, проложенного на тех же опорах линии, что и фазные провода. На концах воздушных линий (или ответвлений) длиной более 200 м, а также на вводах в здания, электроустановки которых подлежат занулению, должны выполняться повторные заземления нулевого провода общим сопротивлением в сетях 380/220 В — не более 10 Ом, при этом сопротивление каждого из повторных заземлений должно быть не более 30 Ом.

Для повторного заземления следует в первую очередь использовать естественные заземлители. Повторные заземления повышают условия безопасности, особенно при обрывах нулевого провода. В воздушных

[1] Нулевые провода линий запрещается использовать для заземления электрооборудования, питающегося по другим линиям, так как они могут быть отключены для ремонта.

линиях длиной до 200 м и кабельных сетях любой длины повторные заземления не требуются, так как в них обрыв нулевой жилы маловероятен. В жилых домах с электроплитами в квартирах повторные заземления выполняются и при кабельных вводах.

Защитное заземление и зануление не всегда обеспечивают необходимые условия безопасности людей, соприкасающихся с электроустановками, так как даже при токе однофазного КЗ, превышающем в 3 раза номинальный ток, плавкой вставки предохранителя или расцепителя автомата, срабатывание защиты происходит с некоторой выдержкой времени (иногда в несколько минут). В этих случаях целесообразно, особенно в помещениях с повышенной опасностью, дополнительно к занулению применять *защитное отключение.*

**Аппараты защитного отключения** представляют собой автоматические выключатели, снабженные устройствами, реагирующими на ток утечки. Основной частью устройства защитного отключения является дифференциальный трансформатор тока, первичной обмоткой которого служат провода защищаемой сети. Ко вторичной обмотке присоединяется схема, непосредственно воздействующая на механизм отключения выключателя.

Существует большое разнообразие видов устройств защитного отключения. Наиболее совершенными являются устройства высокой чувствительности, реагирующие не только на глухое, но и на неполное замыкание на землю. Такие устройства при правильно выбранных уставках токов утечки (около 30 мА) обладают большим быстродействием и защищают человека даже при однополюсном прикосновении к токоведущим частям.

Функции устройств защитного отключения сводятся к следующему: а) защита от глухого замыкания на землю; б) защита от неполного замыкания на землю; в) автоматический постоянный контроль состояния изоляции сети и цепей заземления (зануления); г) самоконтроль.

Наиболее простые аппараты защитного отключения срабатывают при замыкании на землю с временем отключения 0,1—0,2 с и обеспечивают безопасность только при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением.

Действие устройства защитного отключения основано на том, что через дифференциальный трансформатор тока пропускают все провода защищаемой линии, включая нулевой провод, благодаря чему геометрическая сумма токов равна нулю даже при несимметричной нагрузке фаз. При таком равновесии токов устройство не срабатывает. При замыкании одной фазы на корпус возникает ток утечки, не проходящий через дифференциальный трансформатор тока. Возникший при этом в дифференциальном трансформаторе ток небаланса вызывает срабатывание устройства защитного отключения.

Уставка на ток утечки должна быть больше естественных токов утечки электроприемников, присоединяемых к защищаемой сети, в противном случае могут возникать ложные отключения. Вместе с тем загрубление уставок токов утечки снижает надежность защиты от поражения электрическим током.

Применение устройств защитного отключения в электрических сетях жилых и общественных зданий в нашей стране весьма перспективно. Их внедрение позволит резко сократить электротравматизм.

Из-за отсутствия опыта использования устройств защитного отключения в сетях жилых квартир пока затруднительно дать исчерпывающие рекомендации по их установке.

По-видимому, наиболее целесообразно устанавливать аппарат защитного отключения на вводе в квартиру. В этом случае его следует выбирать по расчетному току нагрузки в зависимости от принятого в проекте уровня электрификации квартир. В каталогах на бытовые электроприборы отсутствуют данные о токах утечки в режиме нормальной работы, что затрудняет выбор реле утечки.

**Применение разделяющих трансформаторов.** Стремление к созданию наибольших удобств привело к устаиовке в ванных комнатах квартир, гостиниц и общежитий штепсельных розеток для включения в них некоторых бытовых электроприемников, потребляющих небольшую мощность. К таким электроприемникам относятся электробритвы, вибрационные приборы для массажа и т. п. Однако устаиовка штепсельной розетки в ванной комнате с присоединением ее непосредственно к сети квартиры представляет безусловную опасность для людей и ПУЭ запрещена. Дело в том, что в условиях ванной комнаты (обычно крайне тесное помещение, в котором имеются заземленные металлические части — краны, трубы и ванна и т. п.) неисправность изоляции электроприемника или штепсельной розетки может привести к тяжелым травмам. Штепсельная розетка в ванной комнате должна включаться только через разделяющий трансформатор, благодаря чему бытовой электроприемник изолируется от общей сети квартиры, т. е. исключаются условия, вызывающие повышенную опасность.

Вторичную обмотку разделяющего трансформатора и электроприемник, питающийся от него, заземлять запрещено.

При отсутствии заземления прикосновение к частям, находящимся под напряжением, или к корпусу с поврежденной изоляцией не создает опасности, так как вторичная сеть разделяющего трансформатора коротка и токи утечки в ней при исправной изоляции невелики. Если при этом возникает повреждение изоляции и на другой фазе вторичной цепи (двойное замыкание), то на корпусе электроприемника появится напряжение по отношению к земле, что в неблагоприятных случаях (например, проводящий пол в ванной комнате) может оказаться опасным. Чтобы уменьшить вероятность появления двойных замыканий, к

разделяющему трансформатору не следует присоединять более одной розетки. Кроме того, сами разделяющие трансформаторы должны иметь высокий уровень изоляции, что достигается специальным исполнением.

# Раздел восьмой
# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

## Глава двадцать шестая
## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Основными общими документами, которыми регламентируются требования в области эксплуатации электроустановок любых зданий, являются «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» [48], утвержденные Госэнергоиадзором Министерства энергетики и электрификации СССР.

Эти правила являются общесоюзными и обязательны для всех потребителей электроэнергии независимо от их ведомственной принадлежности. Вместе с тем рядом министерств и ведомств, прежде всего министерствами жилищного и коммунального хозяйства, изданы инструкции и указания, конкретизирующие требования в области эксплуатации различных установок, например электрического освещения, лифтов, вентиляции, кондиционирования, электросетей, электроплит, противопожарных устройств и т. д.

В предыдущих разделах книги уже говорилось о широком и все увеличивающемся использовании электрических приборов в быту. Интересно отметить, что в настоящее время получает распространение новое направление в оборудовании квартир блоками кухонной мебели со встроенными приборами, позволяющими размещать большое число приборов без увеличения площади кухни (по вертикали). Отдельные приборы (кондиционеры, плоские электроводонагреватели инфракрасные нагреватели в ванных комнатах и т. д.) могут встраиваться в строительные конструкции. Это способствует еще большему насыщению квартир бытовыми приборами.

Рост внутриквартирного потребления, оснащение инженерными службами, развитие общедомовых установок (домовые прачечные, гладильные, сушилки, системы пылеудаления в крупных зданиях) несомненно увеличивает объем ремонтных, профилактических и других работ, резко повышает требования к эксплуатации зданий. Особое вни-

мание следует уделять постоянной готовности к работе всех видов противопожарных устройств, требования к эксплуатации которых установлены специальными правилами.

Прогрессивной формой эксплуатационного обслуживания инженерного оборудования жилищного хозяйства является ОДС, при которой повышаются технический уровень эксплуатации, надежность работы инженерного оборудования, сокращается численность эксплуатационного персонала (см. гл. 23). В дальнейшем ОДС станет одним из элементов общей системы АСУ, жилищно-коммунального хозяйства района, города или даже области. В настоящее время во всех типовых проектах электрооборудования зданий предусматривается подключение к пуиктам ОДС.

Согласно разработкам АКХ пункты ОДС (диспетчер) могут непосредственно управлять инженерными устройствами и руководить персоналом. Другая форма организации ОДС заключается в том, что диспетчерский пуикт является только местом сбора информации и по мере надобности вызывает соответствующих специалистов из специализированных эксплуатационных служб. По мере накопления опыта будут, по-видимому, выбраны наиболее рациональные формы организации ОДС.

Массовое внедрение электроплит потребовало создания специализированных хозрасчетных участков, организуемых по территориальному признаку. Эти участки осуществляют регулярный контроль за работой эксплуатируемых электроплит в квартирах, а также за монтируемыми вновь. Бригады специализированных участков, располагающие необходимым инструментом, материалами и запасными частями, осуществляют ремонтные работы в короткие сроки. Кроме эксплуатационных участков в составе такого подразделения имеется ремонтный цех, который выполняет капитальный ремонт электроплит, а также способен изготовлять некоторые детали, восстанавливать конфорки и т. п. Персонал участков снабжается служебными инструкциями, которыми обязан руководствоваться в работе. Указанная форма организации обслуживания электроплит, используемая в Москве и других городах, вполне себя оправдывает.

Важнейшей областью эксплуатации является приемка смоитированного электрооборудования новых домов. Объем и нормы приемосдаточных испытаний установлены разделом I-8 ПУЭ и СНиП III-33-76; кроме того, следует руководствоваться монтажными и заводскими инструкциями. Отметим наиболее важные вопросы, связанные с приемкой в эксплуатацию. Прежде всего при приемке электрооборудования необходимо располагать протоколами и актами о результатах измерений и опробования всех систем, выполняемых монтажными и наладочными организациями. Эксплуатационным организациям должны быть переданы чертежи однолинейных расчетных схем и планы электрических

сетей, которые должны храниться и при реконструкции уточняться. Обслуживающий персонал должен быть ознакомлен с этими схемами и руководствоваться ими в работе.

Сопротивление изоляции распределительных устройств, щитов и токопроводов до 1000 В, силовых и осветительных сетей, вторичных цепей управления, измеренное мегаомметром 1000 В, должно быть не менее 0,5 МОм. Особое внимание должно уделяться состоянию скрытых электропроводок, в первую очередь замоноличенных в строительные конструкции.

Необходимо тщательно проверить исправность работы расцепителей автоматических выключателей на многократные включения и отключения.

Собранные схемы управления и сигнализации опробуются на правильность функционирования. Производится осмотр заземляющего устройства и зануляющих проводников доступных для осмотра. Выполняется проверка сопротивления петли фаза—нуль в соответствии с ПУЭ 1-7, либо путем непосредственного измерения сопротивления (чаще), либо измерением тока однофазного КЗ на корпус или нулевой провод специальными приборами (реже).

Проверка технического состояния электроплит производится по специальной инструкции, в которую включается и инструктаж населения о рациональном пользовании с целью экономии энергии, а также о правилах техники безопасности.

**Текущий ремонт электрооборудования** осуществляется на основании Технических указаний по организации и технологии текущего ремонта жилых зданий, составленных Ленинградским отделением АКХ. В указаниях установлены перечень ремонтных работ и нормы времени на их выполнение. Наиболее важные из этих работ следующие:

замена отдельных участков электропроводки на вводах в квартиру;

перетяжка обвисшей открытой проводки и установка дополнительных креплений;

замена выключателей, патронов, розеток в общедомовых помещениях;

ремонт групповых и распределительных щитков;

проверка заземления и зануления, в том числе оболочек вводных кабелей;

замена приборов учета и аппаратов защиты электроустановок, находящихся на балансе ЖЭК;

ремонт фотовыключателей лестничного освещения.

Осмотры зданий проводятся весной и осенью специальными комиссиями.

**Капитальный ремонт** электроплит со сменой всех съемных деталей осуществляется через 10 лет эксплуатации. Сроки службы конфорок

значительно ниже, и их приходится заменять чаще. Так, в плитах «Луч», «Лысьва» ежегодно приходится заменять до 25 %, в плитах «Томь» еще больше. В настоящее время сроки службы конфорок значительно увеличены за счет совершенствования технологии их изготовления.

У рубильников и переключателей во время текущего ремонта приводят в нормальное состояние контактные поверхности, очищают их от грязи, окислов, копоти.

Сильному износу подвергаются в процессе работы контакты контакторов и автоматических выключателей за счет теплового воздействия электрической дуги при включениях и отключениях, а также за счет эрозии (переноса материала с одного контакта на другой в процессе коммутации цепи).

При эксплуатации и текущем ремонте следует проверять соответствие раствора контактов контакторов, реле, магнитных пускателей паспортным данным (для общепромышленных контакторов 5—20, для малогабаритных аппаратов 2—3 мм). При малом растворе изменяются электромагнитные характеристики аппаратуры и мощность электромагнита, иногда возникает вибрация с выжиганием дугой материала контакта. Поэтому очистка и восстановление нормального состояния поверхности контактов, а также дугогасительных камер и решеток имеют важное значение и способствуют повышению износостойкости и сроков работы аппаратуры.

Следует также проверить и отрегулировать плотность и глубину входа ножей рубильников и переключателей в губки, обеспечивать одновременность действия контактов двух- и трехполюсных аппаратов; для этого они должны быть надежно закреплены на общем валу. Целесообразно измерять динамометром контактные нажатия, которые должны соответствовать паспортным данным или приведенным в технических справочниках.

Необходимо тщательно следить за гибкими связями (пакеты из медной фольги) электромагнитных аппаратов, соединяющих подвижный и неподвижный контакты. Постепенный выход из строя отдельных пластин вызывает уменьшение сечений и местный перегрев при прохождении тока, даже не превышающего номинального, следовательно, эти гибкие связи при повреждении более 30 % пластин надо заменять.

Контакторы, работающие на переменном токе, снабжаются короткозамкнутым витком на магнитопроводе из меди или латуни, предназначенным для уменьшения дребезжания магнитной системы, которая вызывает гул, недопустимый в жилом здании. Поэтому необходимо при текущем ремонте проверять целостность короткозамкнутого витка.

Необходимо следить за состоянием системы различных реле, магнитных пускателей и т. п. При возникновении чрезмерного шума от

этих аппаратов производить стягивание стальных пластии сердечников. После ремонта аппаратура проверяется под напряжением.

Следует кратко отметить некоторые особенности эксплуатации лифтовых установок. В современных зданиях применяются лифты с короткозамкнутыми односкоростными электродвигателями, в последнее время — двухскоростными, что является предпочтительным, так как позволяет обеспечить меньший износ тормозных колодок, а главное более точную остановку кабины. В многоэтажных зданиях используются скоростные лифты с электродвигателями постоянного тока (последовательного или смешанного возбуждения), при которых легко осуществляется плавное регулирование скорости в широких пределах.

Тормозные электромагниты лифтов, как правило, имеют крутую тяговую характеристику, что очень важно для точного и экстренного останова кабины.

Техническое обслуживание лифтов, а также их монтаж и иаладка осуществляются на основании «Правил устройства и безопасной эксплуатации лифтов», утвержденных Госэнергонадзором СССР и согласованных с ВЦСПС, а также «Положения по организациям технического обслуживания лифтов в городах РСФСР» (ЛенНИИ АКХ имени К. Д. Памфилова).

Этими документами определены необходимые требования к содержанию, ремонту, квалификации персонала. Каждый вводимый в действие лифт должен иметь акт технической готовности и приемки. Существуют и документы, определяющие порядок и сроки проведения планово-предупредительных и капитальных ремонтов.

Повышенные требования к лифтовому хозяйству легко объяснимы, поскольку оно при неправильном обслуживании может представлять серьезную опасность для людей. Обслуживание и ремонт лифтовых установок производятся, как правило, специализированными организациями жилишных управлений.

При работах по обслуживанию электроустановок должны строго соблюдаться требования правил технической эксплуатации и техники безопасности, устанавливающие, какие работы вести при полном отключении, при частичном отключенни и без отключения напряжения. Особенно важно строго следить за обеспечением электроустановок необходимыми защитными средствами по установленным минимальным нормам, а также измерительными приборами. Из наиболее необходимых для обслуживания персонала приборов укажем мегаомметры — приборы для определения сопротивления заземления, сопротивления петли фаза—нуль, переносные амперметры (клещи), вольтамперваттметры, индикаторы напряжения.

В заключение отметим крайне важное нововведение. Как известно, жильцы при въезде в квартиру занимаются различными поделками, связаниыми со сверлением стен. При скрытой проводке это крайне

опасно. Следует выдавать жильцам паспорт на квартиру, в котором должен быть специальный чертеж с точной наноской групповой электросети, что позволит избежать неправильных действий жильцов. Большую разъяснительную работу должны вести энергосбыты по озиакомлению со всеми особенностями современного электрооборудования зданий, в том числе, конечно, и по экономному расходованию электроэнергии.

## Глава двадцать седьмая

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

## 27.1. Эксплуатация осветительных установок

Осветительная установка не может оставаться эффективной, если не будет обеспечено надлежащее ее обслуживание. Для обеспечения правильного и нормального фуикционирования осветительных установок иеобходимо:

а) организовать тщательную их приемку после монтажа и проверку соответствия проектным решениям, аналогичная приемка должиа производится после капитального ремонта;

б) проводить регулярную (по графику) чистку светильников;

в) производить смену перегоревших или отработавших свой срок ламп;

г) осуществлять систематический осмотр и планово-предупредительный ремонт светильников и электрической сети.

При приемке осветительной установки в эксплуатацию необходимо тщательно сверить исполнение в натуре с рабочими чертежами проекта. Если в процессе монтажа имели место обоснованные отклонения от проекта, они должны быть отражены в исполнительных чертежах монтажной организации и согласованы с проектной организацией.

В процессе приемки комиссия обязана выполнить замеры напряжения на ближайших и наиболее удаленных от источника питания светильниках.

Следует произвести с помощью люксметра измерсния освещенности в помещениях и на отдельных рабочих местах. Результаты измерений должны соответствовать проектным решениям (с учетом коэффициента запаса). К сожалению, пока еще не выпускаются приборы для проверки качественных показателей осветительных установок. Для этого пользуются расчетными методами, изложенными в технической литературе.

Должны быть проверены наличие и исправность приспособлений для доступа к светильникам. Отметим, что отсутствие условий для

быстрого и безопасного доступа к светильникам часто является причиной неудовлетворительного состояния осветительных установок во многих общественных зданиях. Из наиболее важных вопросов приемки электрической части отметим необходимость проверки соответствия проектным решениям сечений проводов, токов плавких вставок предохранителей и расцепителей автоматических выключателей, поскольку ошибки монтажа могут привести к возгоранию проводов.

Своевременная замена ламп является важным звеном правильно поставленной эксплуатации освещения. Сроки службы ламп определяются данными завода-изготовителя, который гарантирует время, в течение которого их световой поток, а следовательно, и светоотдача близки к номинальным. У ламп накаливания срок службы и время до ее перегорания отличаются мало.

Кто касается газоразрядных источников света, то и после резкого снижения светового потока в результате старения они могут функционировать еще довольно долго, но освещенности помещений при этом уже становятся значительно ниже нормируемых.

На практике, к сожалению, чаще применяется замена ламп после их перегорания. Такой способ называется индивидуальным. Более прогрессивным является индивидуально-групповой способ, когда лампы заменяются группами по истечении 70—80 % нормированного числа часов горения. В этом случае исключается снижение освещенности, что очень важно для школ, профтехучилищ, ряда помещений лечебных зданий, инженерно-лабораторных корпусов, проектно-конструкторских организаций, торговых залов магазинов и ряда других зданий. Снятые, но еще не вышедшие из строя лампы в целях экономии могут быть использованы для освещения различных вспомогательных помещений и других мест, легкодоступных для смены перегоревших ламп.

Правильная постановка эксплуатации осветительной установки невозможна без регулярной *чистки светильников*. Правила технической эксплуатации допускают обслуживание светильников со стремянок, приставных лестниц при высоте их размещения не более 5 м. Однако во многих случаях светильники приходится устанавливать на значительно большей высоте — до 15 м. В этих случаях следует применять несамоходные и самоходные передвижные устройства, в том числе телескопические вышки, которые пока изготовляются в недостаточных количествах.

Во многих зданиях, например театрах, киноконцертных залах, крупных конференц-залах, устраиваются стационарные и выкатные мостики, позволяющие обеспечить легкий и простой доступ к светильникам для их чистки и смены ламп. Часто светильники крепятся к перилам мостиков, и по этим же мостикам (чаще всего металлическим) прокладываются электрические сети, силовые и осветительные. Однако на изготовление мостиков расходуется много металла и они удорожа-

ют строительство, в связи с чем их применение требует специального разрешения министерства или ведомства, к которому относится данное строительство. Возможны и другие конструктивные решения, например обслуживание с различных площадок, балконов и т. п. Поэтому необходимые меры для доступа к светильникам должны предусматриваться проектами.

Нормами проектирования установлены определенные коэффициенты запаса, вводимые при светотехнических расчетах, и сроки чистки светильников. Для рассматриваемых помещений и общественных зданий с нормальной средой чистки светильников должны производиться не реже 1 раза в 3 мес.

В зависимости от количества обслуживаемых светильников, степени загрязнения и других условий чистка светильников может производится на месте их установки, однако во многих случаях это затруднительно, особенно на большой высоте, а иногда для чистки отражателей и рассеивателей требуются специальные моющие средства изготовляемые по специальным рецептам.

При большом числе светильников, особенно в крупных зданиях, целесообразно производить чистку не в местах их установки, а в специально оборудованных мастерских. В настоящее время разработаны и изготовляются светильники, имеющие легко снимаемые отражатели и рассеиватели, которые и доставляются для очистки в эти мастерские. К сожалению, пока таких мастерских в городах еще очень мало, и это, конечно, усложняет и ухудшает эксплуатацию. Как правило, нет специального обученного эксплуатационного персонала, что также является крупным недостатком. В упомянутых мастерских или в крайнем случае в кладовых надо иметь запас сменных деталей, ламп, электроустановочных изделий и т. д. Здесь же должны накапливаться вышедшие из строя люминесцентные и другие газоразрядные лампы для последующего вывоза их в места извлечения и нейтрализации ртути [1].

При серьезно поставленной и правильной организации эксплуатации осветительных установок необходимо осуществлять планово-предупредительный осмотр, проверку и ремонт светильников и проводок. Сроки осмотров и ремонтов элементов осветительного оборудования устанавливаются на каждом предприятии и в здании на основании правил технической эксплуатации.

Можно рекомендовать [50] в помещениях с нормальной средой следующие сроки планово-предупредительных осмотров и ремонтов: светильники, щитки, выключатели, розетки рабочего освещения — 3 раза в год, аварийного и эвакуационного освещения — 4 раза в год, устройства автоматического аварийного переключения — ежесуточно. Со-

[1] Ни в коем случае не следует выбрасывать и разбивать газоразрядные лампы в общие мусорные свалки во избежание заражения окружающей среды.

ответствеино в сырых, особо сырых, пожаро- и взрывоопасных помещениях — 6 раз в год. Проводки скрытые должны проверяться ие реже 2 раз в год, а в сырых помещениях — 4 раза в год. При этом, как уже упоминалось в гл. 26, в первую очередь измеряется сопротивление изоляции. Следует также поверить целостность заземляющих (зануляющих) проводников и конденсаторов в ПРА люминесцентных светильников.

В заключение отметим необходимость соблюдения требований техники безопасности при работах по монтажу и ремонту осветительных установок.

## 27.2. Основные положения по эксплуатации силового электрооборудования

Силовое электроборудование общественных зданий состоит из электродвигателей и пускорегулирующей аппаратуры технологического, санитарно-технического, противопожарного оборудования, подъемно-транспортных установок, уборочных механизмов, а также электроприемников теплового, учебного, лабораторного, лечебного оборудования и других аналогичных аппаратов и приборов и силовой электросети со всем комплексом проводников, распределительных устройств и электромонтажных изделий.

Силовое электрооборудование, как и осветительные установки, требует тщательной приемки в эксплуатацию, систематического надзора, планово-предупредительного и других видов ремонта. Обслуживающий персонал должен иметь необходимую подготовку и строго соблюдать требования техники безопасности, установленные правилами технической эксплуатации и техники безопасности, а также специальными инструкциями и указаниями. За последние годы в крупных городах создаются и функционируют специализированные организации, осуществляющие монтаж и эксплуатацию технологического (холодильного и электромеханического) оборудования предприятий торговли и общественного питания, лифтов (об этом уже говорилось в гл. 26), противопожарных установок, центральных тепловых пунктов и насосных, что является весьма целесообразным как по техническим, так и по экономическим соображениям.

Ниже рассматриваются наиболее важные и характерные вопросы эксплуатации, имеющие общий характер.

**При приемке в эксплуатацию** должно быть проверено полное соответствие проектным решениям и требованиям ПУЭ. Установленные электродвигатели, пускорегулирующая аппаратура, распределительные устройства, щиты, щитки должны иметь исполнение, соответствующее условиям окружающей среды.

В процессе монтажа часто возникают отступления от проекта в результате замены технологического оборудования. Эти отступления

должны быть согласованы с проектной организацией и не должны вызывать превышения пропускной способности всех элементов силовой сети.

Эксплуатационный персонал должен быть обеспечен рабочими чертежами и схемами, на которых указаны технические параметры сети (мощность, ток, сечение и т. д.). Не следует допускать применения некалиброванных плавких вставок предохранителей, а также автоматических выключателей с расцепителями, уставки тока которых необоснованно завышены. Это же относится к замене аппаратов защиты при ремонтах.

Необходимые меры по надлежащему содержанию аппаратуры аналогичны указанным в гл. 26. Электродвигатели резервных машин и механизмов должны быть постоянно готовы к запуску. Следует строго соблюдать требования гл. V-1-31 ПУЭ в отношении дистанционного или автоматического управления электродвигателем какого-либо механизма, например установок по сульфатации картофеля в столовых и ресторанах, транспортеров, а также пожарных и других насосов с дистанционным запуском. В частности, вблизи такого механизма должен быть установлен аппарат аварийного отключения, исключающий возможность дистанционного или автоматического пуска электродвигателя до принудительного возврата этого аппарата в исходное положение.

Можно не устанавливать аппараты аварийного отключения у механизмов, расположенных в пределах видимости с места управления, у механизмов, доступных только квалифицированному обслуживающему персоналу (например, крышные вентиляторы, вентиляторы и насосы, устанавливаемые в отдельных помещениях), а также у механизмов, конструкция которых исключает возможность случайного прикосновения к движущимся частям. Около таких механизмов должны вывешиваться предупредительные плакаты.

При наличии дистанционного или автоматического управления механизмами должна быть предусмотрена сигнализация или звуковое оповещение перед пуском. Должны строго соблюдаться габариты проходов и других расстояний, установленные ПУЭ и ПТЭ. Периодичность планово-предупредительных, текущих и капитальных ремонтов устанавливается специальными графиками эксплуатирующих организаций.

Особое внимание должно быть уделено очистке и обдувке электродвигателей, работающих в пыльных помещениях. Следует систематически контролировать напряжение в силовой электросети, имея в виду, что работа на пониженном напряжении может повлечь за собой перегрузку электродвигателей, а при повышенном напряжении ухудшается коэффициент мощности установки и быстрее изнашивается изоляция.

Источниками травматизма зачастую являются нагревательные приборы в мастерских по бытовому обслуживанию, в частности утюги,

поэтому ПТЭ требуют, чтобы при каждом гладильном столе в помещении с проводящими полами имелись напольные изолирующие настилы или подставки, жестко прикрепленные к полу. Возможно и применение дорожек из непроводящего материала, приклеенных к полу. Рабочая поверхность гладильных столов должна быть из непроводящего материала (дерева, пластмассы), а крепежные болты, крепящие стол к станине, должны иметь утопленные головки. Шланговые провода питания электроутюгов должны укрепляться на кронштейнах, расположенных над серединой гладильного стола таким образом, чтобы исключить возможность механических повреждений проводов. При перемещении утюга провода не должны касаться поверхности стола.

Электроутюги сушильно-гладильных цехов целесообразно подключать к электросети через разделяющие трансформаторы, прикосновение к которым должно быть исключено.

Серьезную опасность для персонала и больных представляют электроаппараты лечебных заведений, в частности аппаратура физиотерапии. Устройство, содержание и обслуживание этой аппаратуры регламентируются специальными указаниями.

Требования к эксплуатации распредустройств, противопожарных установок, электропроводок систем заземления аналогичны изложенным для жилых зданий.

Для организации эффективной эксплуатации электрооборудования зданий существенное значение имеет наличие соответствующего штата обслуживающего персонала.

Количество и состав обслуживающего персонала должны соответствовать указанным в инструкциях по эксплуатации, ведомственных нормативных документах определяющих сроки и трудоемкость профилактических и ремонтных работ.

Постоянно возрастающее насыщение жилых и общественных зданий инженерными электрифицированными и автоматизированными устройствами и оборудованием требует разработки и внедрения таких форм эксплуатации, при которых это оборудование использовалось бы наиболее целесообразно. Такими формами эксплуатации являются хозрасчетные специализированные организации, которые созданы во многих крупных городах и себя оправдали. К ним относятся организации по монтажу и эксплуатации технологического и холодильного оборудования предприятий торговли и общественного питания, лифтового хозяйства, квартирных электроплит, противопожарной техники, устройств автоматики и т. п.

В сочетании с постоянным дежурным персоналом диспетчерских пунктов такая система обслуживания представляется наиболее совершенной и соответствующей современным задачам.

## Список литературы


1. **Козлов В. А.** Городские распределительные электрические сети. — Л.: Энергоиздат, 1982. — 224 с.

2. **Козлов В. А.** Электроснабжение городов. — М.: Энергия, 1964. — 242 с.

3. **Чукаев Д. С.** Электрификация городского хозяйства. — М.: Высшая школа, 1974. — 212 с.

4. **Электрические** сети жилых зданий/Г. В. Мирер, И. К. Тульчии, Г. С. Гриберг и др. — М.: Энергия, 1974. — 264 с.

5. **Тарнижевский М. В., Афанасьева Е. И.** Эксплуатация электрического оборудования жилых зданий. — М.: Стройиздат, 1979. — 152 с.

6. **Применение** электроэнергии для отопления жилых зданий. Обзор ЛенЗНИИЭП, составитель И. А. Казаицев. — М.: ЦНТИ по гражданскому строительству и архитектуре, 1976. — 22 с.

7. **Гмошинский В. Г., Флиорент Г. И.** Теоретические осиовы инженерного прогиозирования. — М.: Наука, 1973. — 294 с.

8. **Саркисян С. А., Голованов Л. В.** Прогнозирование развития больших систем. — М.: Статистика, 1975. — 190 с.

9. **Журавлев В. П., Миснин М. Л.** Прогнозные расчеты электропотребления, АН Молдавской ССР. — Кишинев: Штинада, 1972, — 252 с.

10. **Лукомский Я. И.** Теория корреляции и ее применение к анализу производства. — М.: Госстатиздат, 1958. — 388 с.

11. **Некрасов А. М., Сербиновский Г. В., Штейнгауз Е. О.** Об электрификации коммунально-бытового хозяйства СССР. — Электрические станции, 1970, № 7, с. 5—11.

12. **Перспективы** электрификации быта. Обзор ЦНТИ Госгражданстроя СССР. М., 1975. — 56 с.

13. **СССР** в цифрах в 1977 году. — М.: Статистика, 1978. — 238 с.

14. **Энергетика** СССР в 1979 году и задачи на завершающий год пятилетки. — Электрические станции, 1980, № 1, с. 12—14.

15. **Померанцев В. В.** Практическая методика корреляцнонного анализа. — М.: Экономиздат, 1963. — 94 с.

16. **Длин А. М.** Математическая статистика в технике. — М.: Советская наука, 1958. — 468 с.

17. **Методические** указания по модернизации внутридомовых электрических сетей при различных уровнях электрификации быта. — М.: АКХ, 1978. — 46 с.

18. **Методические** указания по оценке несимметрии и несинусоидальности в городских распределительных электрических сетях напряжением до 1000 В. — М.: АКХ, 1979. — 36 с.

19. **Электроснабжение** и электрооборудование жилых и гражданских зданий Москвы. — В кн.: Сборник научных статей/Под ред. И. К. Тульчина, А. А. Тушиной. М.: МНИИТЭП ГОСИНТИ, 1971. — 158 с.

20. **Правила** устройства электроустановок (ПУЭ-76). — М.: Атомиздат, 1976.

21. **Инструкция** по проектированию электрооборудования жилых зданий: СН 544-82. — М.: Стройиздат, 1982.

22. **Инструкция** по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства: СН 543-82. — М.: Стройиздат, 1982. — 58 с.

23. **Лифшиц Д. С.** Нагрев проводников и защита предохранителями в электросетях до 1000 В. — М.: Энергия, 1967. — 72 с.

24. **Указания** по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий: СН 357-77. — М.: Стройиздат, 1977. — 94 с.

25. **Глазунов А. А., Глазунов А. А.** Электрические сети и системы. — М.: Госэнергоиздат, 1960. — 368 с.

26. **Мирер Г. В., Тульчин И. К.** К расчету четырехпроводных сетей с газоразрядными лампами. — Промышленная энергетика, 1964, № 6. — с. 30—32.

27. **Мирер Г. В., Тульчин И. К.** Еще раз о расчете четырехпроводных сетей электрического освещения с газоразрядными лампами. — Светотехника, 1968, № 2. — с. 24—26.

28. **Справочная** книга для проектирования электрического освещения/Г. М. Кнорринг, Ю. Б. Оболенцев, Р. И. Берим и др. — Л.: Эиергия, 1976. — 384 с.

29. **ГОСТ 13109—67*.** Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего назначения.

30. **Решения** светотехнической секции научно-технического совета ВНИПИ Тяжпромэлектропроект. — Светотехника, 1980. № 9, с. 23—26.

31. **Райцельский Л. А.** Справочник по осветительным сетям. — М.: Энергия, 1977, — 288 с.

32. **Мирер Г. В., Тульчин И. К.** Упрощеиное определеиие токов короткого замыкания в сетях переменного тока напряжеиием до 1000 В. — Промышленная энергетика, 1966. № 8, с. 37—38.

33. **Кузнецов Р. С.** Аппараты распределения электрической энергии иа напряжение до 1000 В. — М.: Энергия, 1970. — 544 с.

34. **Мирер Г. В., Тульчин И. К.** Упрощенное определение токов однофазного короткого замыкания в осветительных сетях. — Светотехника, 1969, № 10, с. 19—21.

35. **Найфельд М. Р., Спеваков П. И.** Сопротивление траисформаторов в режиме однофазного замыкания в сетях напряжением до 1000 В. — Промышленная эиергетика, 1968, № 11, с. 34—38.

36. **Нудлер Г. И., Тульчин И. К.** Осиовы автоматизации производства. — М.: Высшая школа, 1976. — 180 с.

37. **Нудлер Г. И., Тульчии И. К.** Электротехиика и электрооборудоваиие зданий. — М.: Высшая школа, 1978. — 256 с.

38. **Элементы** автоматики/С. П. Колосов, И. В. Калмыков, В. И. Нефедова и др. — М.: Машииостроение, 1970. — 392 с.

39. **Рябов М. С., Циперман Л. А.** Электрическая часть осветительных установок. — М.: Энергия, 1966. — 360 с.

40. **Указаиия** по проектированию городских электрических сетей: ВСН 97—75 Минэнерго СССР. — М.: Информэнерго, 1976. — 60 с.

41. **Клюев С. А.** Освещение производственных помещеиий. — М.: Энергия, 1979. — 150 с.

42. **Цигельмаи И. Е., Тульчин И. К.** Электроснабжеиие, электрические сети и освещение. — М.: Высшая школа, 1970. — 486 с.

43. **Типовая** методика определения экономической эффективиости капитальных вложений. — М.: Госплан, 1969. — 79 с.

44. **Городничев А. В., Тульчин И. К.** Проектирование групповых электрических сетей квартир жилых зданий. — Светотехника, 1978, № 10, с. 19—20.

45. **Равдоник В. С., Иванов И. И., Пятиицкий Н. А.** Применение кольцевых схем питания розеточных линий для увеличения допустимых нагрузок. — Бытовая электротехника, 1978, вып. 6 (49), с. 1—4.

46. **Тульчин И. К.** О расчете сети на миимум приведенных затрат. — Светотехника, 1975, № 7 с. 18—20.

47. **СНиП** III-33-76: Правила производства и приемки работ. Электротехнические устройства. С измеиением согласио постановлению Госстроя СССР № 126 от 22 августа 1977 г. — М.: Стройиздат, 1977. — 196 с.

48. **Правила** технической эксплуатации электроустановок потребителей. Правила техники безопасности электроустановок потребителей. — М.: Атомиздат, 1971. — 352 с.

49. **Найфельд М. Р.** Заземление и защитные меры электробезопасности. — М.: Энергия, 1971. — 312 с.

50. **Лурье М. Г., Райцельский Л. А., Циперман Л. А.** Устройство, монтаж и эксплуатация осветительных установок. — М.: Энергия, 1976. — 258 с.

51. **Тульчин И. К., Тушина А. А.** Оптимальные электрические нагрузки общественных зданий. — Городское хозяйство Москвы, 1967, № 2, с. 40—42.

52. **Городничев А. В., Тульчин И. К., Тушина А. А.** Выбор на ЭЦВМ оптимальных схем электрооборудования жилых домов повышеиной этажиости. — М.: МНИИТЭП, 1969.—120 с.

53. **Определение** оптимальных параметров электрических сетей жилых домов повышеиной этажности с учетом ежегодного роста иагрузок. Обзорная информация/И. К. Тульчин, А. В. Городничев, В. И. Рыбасов и др. — М.: МНИИТЭП, 1969. с. 3—13.

54. **Ревякин А. И., Кашелкин Б. И.** Электробезопасиость и противопожарная защита в электроустановках. — М.: Энергия, 1980. — 160 с.

55. **Городничев А. В., Тульчин И. К.** Выбор энергоиосителей и оптимальиых параметров электрических сетей городского района при различных уровиях электрификации быта. — Бытовая электротехиика, 1977, № 1, с. 1—4.

56. **Городничев А. В., Тульчин И. К.** Развитие электрификации быта и перспективные электрические иагрузки квартир. — Бытовая электротехника, 1977, № 2, с. 1—4.

57. **Рекомендации** по эксплуатации осветительных устаиовок промышленных предприятий. — Светотехника, 1978, № 2, с. 14—20.

58. **Нудлер Г. И., Тульчин И. К.** Автоматизация управлеиия освещением — важиый резерв экономии электроэнергии. — Светотехника, 1980, № 3, с. 23—24

59. **Методика** (основиые положения) определения экоиомической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рациоиализаторских предложений. — М.: Экоиомика, 1977. — 47 с.

60. **Некрасов А. М., Стеклов В. Ю.** Ленинский план электрификации в действии. — Промышленная энергетика, 1980, № 12, с. 2—6.

61. **Борисов Е. И.** Электроэнергетика СССР от плана ГОЭЛРО до наших дней. — Электричество, 1980, № 12, с. 3—8.

62. **Гордиевский И. Г., Лордкипанидзе В. Д.** Оптимизация параметров электрических сетей. — М.: Энергия, 1978. — 145 с.

63. **Тарнижевский М. В., Афаиасьева Е. И.** Пути экономии электроэиергии в жилищно-коммунальном хозяйстве. — М.: Стройиздат, 1980.—240 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . . 3
Введение . . . . . 5

Раздел первый. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ БЫТА И ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ . . . . . 9

Глава первая. ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ . . . . . 9
1.1. Электроприемники жилых зданий . . . . . 9
1.2. Электроприемники общественных зданий . . . . . 22

Глава вторая. РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ БЫТА В СССР 26

2.1. Методика прогнозирования . . . . . 26
2.2. Насыщение квартир бытовыми электроприемниками . 29
2.3. Уровни электропотребления . . . . . 31
2.4. Развитие коммунально-бытового электропотребления . 33

Раздел второй. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ . . . 39

Глава третья. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ 39

3.1. Постановка вопроса . . . . . 39
3.2. Исследование и формирование электрических нагрузок жилых зданий . . . . . 40
3.3. Нормирование электрических нагрузок и их прогнозирование . . . . . 46
3.4. Оценка асимметрии нагрузок . . . . . 49
3.5. Расчеты электрических нагрузок . . . . . 51
3.6. Зависимость между расчетной нагрузкой, электропотреблением и годовым числом часов использования максимума нагрузки . . . . . 56

Глава четвертая. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ . . . . . 58

4.1. Общие положения . . . . . 58
4.2. Нагрузки осветительных сетей . . . . . 60
4.3. Нагрузки силовых сетей . . . . . 62
4.4. Коэффициенты, учитывающие несовпадение максимумов силовых и осветительных нагрузок и общих нагрузок зданий, подключаемых к одному ТП . . . . . 70

Глава пятая. ГРАФИКИ НАГРУЗОК . . . . . 76

Раздел третий. **СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ** . . . . . 83

Глава шестая. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ СЕТЕЙ . . . . . 83

6.1. Принципы построения схем электрических сетей зданий 83
6.2. Классификация сетей . . . . . 89

Глава седьмая. СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ . . . . . 93

7.1. Схемы наружных (внутриквартальных) питающих линий 93
7.2. Размещение трансформаторных подстанций . . . . 97
7.3. Схемы вводно-распределительных устройств . . . . 98
7.4. Схемы питающих линий внутри здания . . . . . 100
7.5. Схемы групповой квартирной сети . . . . . 103
7.6. Типовые комплексные схемы распределения электроэнергии в жилых зданиях . . . . . 105

Глава восьмая. СХЕМЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ . . . . . 109

8.1. Электроснабжение . . . . . 109
8.2. Питающие сети . . . . . 111
8.3. Силовые распределительные сети . . . . . 113
8.4. Групповые осветительные сети . . . . . 114
8.5. Примеры комплексных схем распределения электроэнергии в общественных зданиях . . . . . 117

Раздел четвертый. **РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ** 121

Глава девятая. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ. НАГРЕВАНИЕ ПРОВОДНИКОВ . . . . . 121

9.1. Задачи расчета электрической сети . . . . . 121
9.2. Нагревание проводников . . . . . 122
9.3. Длительно допустимые нагрузки проводников . . . 125
9.4. Старение изоляции . . . . . 130

Глава десятая. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ . . . 133

10.1. Виды защиты электрической сети . . . . . 133
10.2. Аппараты защиты . . . . . 136
10.3. Выбор и размещение аппаратов защиты . . . . 146

Глава одиннадцатая. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПО ОТКЛОНЕНИЯМ И ПОТЕРЯМ НАПРЯЖЕНИЯ . . 152

11.1. Отклонения напряжения . . . . . 152
11.2. Регулирование напряжения . . . . . 153
11.3. Допустимая (располагаемая) потеря напряжения . . 155
11.4. Активное и индуктивное сопротивление проводов . . 157
11.5. Определение потерн напряжения с учетом активного и индуктивного сопротивления проводов . . . . . 158
11.6. Определение потери напряжения без учета индуктивного сопротивления проводов . . . . . 162
11.7. Расчет сети по потерям напряжения при неравномерной нагрузке фаз . . . . . 164
11.8. Расчет проводов по наименьшему расходу цветного металла . . . . . 165
11.9. Расчет простой замкнутой сети . . . . . 166

11.10. Особенности трехфазных четырехпроводных сетей освещения с газоразрядными лампами . . . . . 167

Глава двенадцатая. РАСЧЕТ СЕТЕЙ ПО УСЛОВИЯМ ПУСКА КОРОТКОЗАМКНУТЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ 175

Глава тринадцатая. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ . . . . . 182

Глава четырнадцатая. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ПО МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ . . . . . 186

Глава пятнадцатая. УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1000 В 188

15.1. Определения и расчет токов короткого замыкания . . 188
15.2. Особенности расчета токов короткого замыкания в установках до 1000 В . . . . . 190
15.3. Упрощенное определение тока трехфазного короткого замыкания . . . . . 192
15.4. Выбор электрических аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания . . . . . 195
15.5. Упрощенное определение токов однофазного короткого замыкания . . . . . 197

Глава шестнадцатая. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ 201

16.1. Методология технико-экономического сравнения вариантов . . . . . 201
16.2. Выбор оптимальных схем питающих и групповых электросетей жилых зданий . . . . . 203
16.3. Элементы технико-экономических расчетов электроустановок общественных зданий . . . . . 208

Раздел пятый. **КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ** . . . . . 212

Глава семнадцатая. КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА . . . 213

17.1. Вводно-распределительные устройства . . . . . 213
17.2. Распределительные пункты и щитки . . . . . 218

Глава восемнадцатая. ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ . . . . . 222

18.1. Установочные провода . . . . . 222
18.2. Прокладка питающих и распределительных сетей . . 225
18.3. Электроустановочные устройства и электромонтажные изделия . . . . . 241

Раздел шестой. **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ** . . 244

Глава девятнадцатая. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ 244

Глава двадцатая. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ . . . 248

20.1. Задачи управления освещением . . . . . 248
20.2. Управление освещением в жилых зданиях . . . . 248
20.3. Управление освещением в общественных зданиях . . 253

Глава двадцать первая. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПЛЕНИЯ . . . . . 255

21.1. Автоматизация хозяйственных насосов . . . . . 255
21.2. Автоматизация пожарных насосов . . . . . 257

21.3. Автоматизация системы горячего водоснабжения . . 258
21.4. Автоматизация систем отопления . . . . . 259

Глава двадцать вторая. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ДЫМОЗАЩИТЫ . . . . . 261

Глава двадцать третья. ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ . . . . . 269

Раздел седьмой. **ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ** . . . 274

Глава двадцать четвертая. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ . . . . . 274
24.1. Условия поражения человека электрическим током . . 274
24.2. Общие меры безопасности . . . . . 278

Глава двадцать пятая. ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ЗАНУЛЕНИЕ И ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ . . . . . 280

Раздел восьмой. **ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ** . . 286

Глава двадцать шестая. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ . . . . . 286
Глава двадцать седьмая. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ . . . . 291
27.1. Эксплуатация осветительных установок . . . . . 291
27.2. Основные положения по эксплуатации силового электрооборудования . . . . . 291
Список литературы . . . . . 297

**Иосиф Константинович Тульчин**
**Григорий Исаакович Нудлер**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ**

Редактор Л. А. Циперман
Редактор издательства Л. Л. Жданова
Переплет художника В. Н. Забайрова
Технический редактор О. Н. Адаскина
Корректор И. А. Володяева

ИБ № 3030

Сдано в набор 17.06.82. Подписано в печать 05.01.83. Т-02817. Формат 84×108$^{1}/_{32}$. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 15,96. Усл. кр.-отт. 15,96. Уч.-изд. л. 17,85. Тираж 40 000 экз. Заказ № 155. Цена 1 р. 20 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Владимирская типография «Союзполиграфпрома» при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 7

## ЗАМЕЧЕНЫ ОПЕЧАТКИ

| Страница | Строка | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|---|
| *Стр. 14* | 15 *строка* снизу | *провалов графиков* энергосистемы дает возможность не | *увеличивать* расходы на устройство внутридомовой и на- |