biblem

elektromonter

SCAN DIAD

Библиотечка электротехника

— приложение к журналу "Энергетик"

Основана в июне 1998 г.

Выпуск 3 (111)

Т. В. Анчарова

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

(Часть 2)

Москва

НТФ "Энергопрогресс", "Энергетик"

2008

УДК 621.3.087.351
ББК 31.279.2
А64

Главный редактор журнала “Энергетик” А. Ф. ДЬЯКОВ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

“Библиотечки электротехника”

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

Анчарова Т. В.

А64 Осветительные сети производственных зданий (часть 2). — М.: НТФ “Энергопрогресс”, 2008. — 52 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу “Энергетик”; Вып. 3 (111)].

В книге изложены основные положения расчета осветительных сетей производственных и непроизводственных объектов. Приведены примеры схем питания осветительных установок, выделены особенности построения осветительных сетей по сравнению с силовыми. Уделено внимание влиянию качества электроэнергии на работу осветительных установок и воздействию источников света на осветительную сеть.

Может быть полезна проектировщикам и лицам, эксплуатирующим осветительные сети.

ISSN 0013-7278 © НТФ “Энергопрогресс”, “Энергетик”, 2008

Предисловие

Электрическое освещение появилось полтора века назад. 23 ноября 1802 г. академик Василий Владимирович Петров открыл явление дугового разряда. 30 марта 1853 г. профессор физики Казанского университета Савельев применил электрическую дугу для освещения университетского двора. Талантливейшие из славного созвездия русских ученых — П. Н. Яблочков и А. Н. Лодыгин — создали первые источники света, пригодные для широкого использования. В 1876 г. П. Н. Яблочков построил усовершенствованный, вполне пригодный для практических целей дуговой источник света, известный под названием "свеча Яблочкова", и получил в Париже за это изобретение свою первую награду. Свечой Яблочкова, названной за рубежом "русским светом", в 1877 г. освещались в Париже магазин "Лувр", театр Шатлэ, площадь и улица Оперы, в Риме — развалины Колизея и многие другие сооружения. В 1881 г. 72 свечами Яблочкова освещался театральный зал Международной электротехнической выставки в Париже.

Современные виды источников света используют как традиционные способы преобразования электрической энергии в световую (лампы накаливания и разрядные), так и принципиально новые — в светодиодных и безэлектродных лампах.

Для электроснабжения осветительных установок должны применяться рациональные схемы питания освещения, обеспечивающие необходимую надежность, удобство монтажа и эксплуатации, экономичность. Проектирование осветительных установок состоит из двух стадий — светотехнического и электрического расчета. В светотехническом расчете выбираются: система освещения, источники света и светильники, а также их размещение в освещаемом пространстве. Электрическая часть осветительной установки обеспечивает спроектированную в светотехнической части систему освещения электроэнергией. Электрическая и светотехническая части осветительных установок тесно связаны между собой. Многие из отдельных вопросов осветительных установок могут решаться только

комплексно для обеих частей. Нельзя приступить к светотехническому расчету, не выяснив напряжения сети и источников света, не установив требуемых видов освещения. Конструкции осветительных приборов и род проводки должны находиться в соответствии друг с другом и условиями среды помещений. Поэтому уже перед началом светотехнического проекта должны быть принципиально решены основные электротехнические вопросы осветительной установки.

Осветительные установки принципиально отличаются от силовых, что обусловлено использованием пониженных уровней напряжения, очень сильной разветвленностью и применением разного числа фаз сети на отдельных участках от двух- до пятипроводных линий. Кроме того, источники света чрезвычайно чувствительны к амплитудным изменениям напряжения. В связи с этими обстоятельствами проектирование осветительных сетей требует применения специальных методик, отличающихся в ряде случаев от проектирования силовых сетей. Данная брошюра посвящена проектированию электрической части осветительных установок с учетом современных тенденций в развитии искусственного освещения зданий.

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

Автор

Список сокращений

АО — аварийное освещение;
ВРУ — вводное распределительное устройство;
ГПП — главная понижающая подстанция;
ГРЩ — главный распределительный щит;
ДНаТ — дуговая натриевая трубчатая (лампа);
ДРИ — дуговая ртутная с исправленной цветностью (лампа);
ДРИЗ — дуговая ртутная с исправленной цветностью зеркалированная (лампа);
ДРЛ — дуговая ртутная люминесцентная (лампа);
КТП — комплектная трансформаторная подстанция;
КЗ — короткое замыкание;
МГЛ — металлогалогенные лампы;
НО — наружное освещение;
ОП — осветительный прибор;
ОУ — осветительная установка;
ПРА — пускорегулирующая аппаратура;
ПУЭ — правила устройства электроустановок;
СП — силовой пункт;
ТП — трансформаторная подстанция;
ЭО — эвакуационное освещение;
ЭП — электроприемник;
ЭПРА — электронная и пускорегулирующая аппаратура.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

Устройство и эксплуатация осветительных сетей

4.1. ВЫПОЛНЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Способы выполнения сетей должны обеспечивать надежность, долговечность, пожарную безопасность, экономичность, индустриальность монтажа, а при скрытых проводках — по возможности заменяемость проводов.

В жилых и общественных зданиях следует применять кабели и провода с медными жилами.

В общественных, административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других подобных зданиях, как правило, должна применяться скрытая прокладка проводов. Для скрытых прокладок групповых осветительных линий в зданиях массового строительства должны использоваться в основном плоские провода типов АППВС, АПН, АППС и др.

Сети производственных и вспомогательных зданий следует преимущественно выполнять открыто: тросовыми проводами; кабелями и защищенными проводами; незащищенными изолированными проводами на изоляторах, в лотках, в коробах, в трубах; шинопроводами.

Проводки шнурами (ПРД, ПРВД, ПРДШ) и проводами на роликах рекомендуется выполнять только для зданий и сооружений в сельской местности или если проводки носят временный характер.

Электропроводки незащищенными изолированными проводами на изоляторах и клицах могут применяться во всех невзрывоопасных установках, в том числе и наружных. В последнее время этот вид проводки вытесняется тросовыми электропроводками.

В отдельных случаях на изоляторах целесообразно прокладывать неизолированные (голые) провода, при высоких температурах, на недоступной высоте, разрешенные во всех непожаро- и невзрывоопасных помещениях. Этот же вид проводки является преимущест-

венным в установках наружного освещения — для воздушных линий.

Тросовые электропроводки могут выполняться кабелями и проводами, прокладываемыми по тросу (диаметром 1,9 – 6,5 мм) или проволоке (стальной оцинкованной или горячекатаной, имеющей лакокрасочное покрытие, диаметром 5,8 – 8 мм), а также специальными проводами (АРТ, АВТ, АВТС).

Прокладку проводов в трубах следует ограничивать, допуская ее лишь в тех случаях, когда беструбные проводки не могут быть применены (например, при прокладке на небольшой высоте, где возможны механические воздействия на проводку).

Широко, где это возможно по условиям среды, должны применяться шинопроводы, в том числе и осветительные — ШОС-67, ШОС-73, обеспечивающие высокую индустриализацию электромонтажных работ.

Перспективными для жилых и общественных зданий являются электропроводники, выполняемые проводами в электрических плинтусах и накладках и обеспечивающие комплексную прокладку сильноточных и слаботочных сетей. В некоторых конструкциях зданий они могут оказаться одним из самых реальных видов сменяемой проводки. Выпуск электротехнических плинтусов и накладок пока ограничен, что сдерживает их массовое применение.

Область применения плоских проводов. Разрешается их прокладка в сухих, влажных и сырых помещениях.

Не разрешается прокладка:

а) в помещениях взрывоопасных, особо сырых, с химически активной средой;

б) непосредственно по неоштукатуренным деревянным основаниям — в детских и лечебных учреждениях, зрелищных предприятиях, дворцах культуры, клубах, школах;

в) на сценах и в зрительных залах зрелищных предприятий;

г) открытая прокладка проводов в пожароопасных помещениях и на чердаках.

Из-за отсутствия осветительных коробок пылезащищенного исполнения для плоских проводов они практически не могут быть использованы в пыльных помещениях.

Допускается прокладка плоских проводов на отдельных участках в пластмассовых и стальных трубах.

Марки проводов. Для скрытой прокладки в основном должны использоваться провода без соединительной пленки — АППВС, ППВС, АППС, ППС; для открытой прокладки предназначены

провода АППВ, ППВ, АППП, ППП, АПН, а при прокладке по деревянным и другим сгораемым основаниям — АППР.

Допускаются замены при скрытой прокладке плоских проводов проводами АПВ-ПВ.

Допускаемые способы открытых проводок. Открытая проводка осуществляется:

- непосредственно по стенам, перегородкам и перекрытиям, покрытым сухой гипсовой или мокрой штукатуркой;
- по негорючим стенам и перегородкам, обклеиваемым обоями (непосредственно поверх обоев и под ними);
- по деревянным стенам и перегородкам с подкладкой листового асбеста толщиной 3 мм (провода АППР можно прокладывать непосредственно по деревянным основаниям);
- на роликах и изоляторах (только в сельской местности).

Допускаемые способы скрытых проводок. Скрытая проводка допускается:

- по негорючим стенам и перегородкам, подлежащим затирке или покрываемым мокрой штукатуркой, — в заштукатуриваемой борозде или под слоем мокрой штукатурки;
- по негорючим стенам и перегородкам, покрытым сухой гипсовой штукатуркой, — в заштукатуриваемой борозде в толще стены или перегородки, либо в сплошном слое алебастрового намета, либо под слоем листового асбеста;
- по деревянным, покрываемым мокрой штукатурной стенам и перегородкам — под слоем штукатурки с подкладкой под провода слоя листового асбеста толщиной не менее 3 мм или по намету штукатурки толщиной не менее 5 мм; при этом если асбест или намет штукатурки укладывается поверх дранки или дранка вырезается по ширине асбестовой прокладки, асбест или намет штукатурки должен выступать не менее чем на 5 мм с каждой стороны провода;
- по деревянным стенам и перегородкам, покрываемым слоем сухой штукатурки, — в зазоре между стеной и штукатуркой в сплошном слое алебастрового намета или между двумя слоями листового асбеста толщиной не менее 3 мм; слой алебастрового намета или асбеста должен выступать не менее чем на 5 мм с каждой стороны провода;
- в каналах и пустотах строительных конструкций в соответствии с "Указаниями по выполнению электропроводок в каналах строительных конструкций, изготовляемых на заводах домостроительных комбинатов и стройиндустрии";
- под слоем мокрой штукатурки перекрытий из негорючих плит;

• в зазорах между железобетонными плитами с последующей заделкой их алебастровым раствором;

• в бороздах, специально оставляемых в железобетонных крупноразмерных плитах, с последующей заделкой их алебастровым раствором;

• поверх негорючих плит перекрытий под чистым полом следующего этажа, в том числе в пределах чердака, поверх плит перекрытия верхнего этажа, под слоем цементного или алебастрового намета толщиной 10 мм или в трубах;

• под слоем мокрой штукатурки перекрытий из горючих плит с прокладкой между перекрытием и проводами слоя листового асбеста или по намету штукатурки; при применении сухой гипсовой штукатурки провода должны быть уложены между двумя слоями ас-

Таблица 4.1. **Выбор электропроводок в зависимости от условий среды**

Виды электропроводок	Характеристика помещений по условиям среды
Незащищенные изолированные провода (АПРТО-ПРТО, АПВ-ПВ, АПРВ-ПРВ и др.):	
на роликах	Сухие, влажные, жаркие помещения. На роликах для сырых мест — сырые и особо сырые помещения, наружные установки
на изоляторах	Сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной средой помещения. Наружные установки
в коробах	Сухие, влажные, жаркие помещения
на лотках	Сухие, влажные, жаркие помещения
в трубах	–
Кабели (АВВГ-ВВГ, АВРГ-ВРГ, АНРГ-НРГ и др.)	Сухие, влажные, жаркие, сырые, особо сырые, пыльные, с химически активной средой помещения. Наружные установки
Защищенные провода (АПРФ-ПРФ и др.)	Сухие, влажные, жаркие помещения. (Прокладка проводов АПРФ-ПРФ во влажных помещениях не рекомендуется)
Тросовые провода (АРТ, АВТ)	Сухие, влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные помещения. Наружные установки. (Ввиду отсутствия коробок в пылеводозащищенном исполнении для тросовых проводов последние рекомендуется применять только в сухих, влажных и жарких помещениях)

беста или в сплошном слое алебастрового намета с толщиной намета не менее 5 мм;

• в перегородках из гипсокартона проводом или кабелем в гофрированной трубе из ПВХ.

Выбор электропроводок в зависимости от условий среды приведен в табл. 4.1, а выбор их для пожаро- и взрывоопасных установок рассмотрен ниже.

В обязательном порядке провода и кабели с медными жилами должны использоваться в следующих случаях:

• для открытых электропроводок в чердачных помещениях, за исключением случаев, приведенных в ПУЭ;

• во взрывоопасных помещениях классов В-I и В-Ia;

• в зрелищных предприятиях для сцены, арены, эстрады, киноаппаратной, светопроекционной, аппаратных регулирования, помещений управления зрительных залов с числом мест 800 и более, а также для электропроводок цепей управления;

• в помещениях с химически активной средой, разрушающе действующей на алюминий;

• для внешней зарядки светильников, подвешенных на крюках и переносных;

• при прокладке по вибрирующим основаниям;

• в зданиях уникального характера с повышенными требованиями по пожарной безопасности.

Для прокладки в земле (траншеях) помимо бронированных кабелей (ААБ, АВВБ и др.) могут быть использованы кабели в поливинилхлоридном шланге — ААШв, ААШп и т.п.

Кабели в пластмассовом шланге должны применяться для прокладки в агрессивных грунтах и в зонах с высоким уровнем блуждающих токов.

В тоннелях, а также на кабельных конструкциях и скобах внутри зданий рекомендуется прокладка бронированных кабелей без наружного покрова (ААБГ и др.) и небронированных кабелей (ААГ, АВВГ, АВРГ, ААШв и т.п.).

Для прокладки на технологических эстакадах рекомендуются бронированные кабели без наружного покрова и кабели в поливинилхлоридном шланге. На специальных кабельных эстакадах следует прокладывать небронированные кабели.

Кабели с полиэтиленовой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке вне зданий временно допускается прокладывать только в траншеях и на технологических эстакадах. При изготовлении кабелей с изоляцией и оболочкой из самозатухающего полиэтилена об-

ласть их применения приравнивается к кабелям с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой.

По условиям пожарной безопасности разрешается прокладывать скрыто и открыто непосредственно по негорючим основаниям все виды проводов и кабелей, непосредственно по горючим основаниям — провода и кабели из негорючих материалов (АППР, АПРФ, АНРГ и др.). Провода из негорючих материалов прокладываются по горючим основаниям в трубах и сплошных коробах из негорючих материалов, на роликах, на изоляторах или с подкладкой негорючих материалов (например, асбеста толщиной 3 мм).

Электропроводку за подвесными (подшивными) потолками следует выполнять: при подвесных потолках из горючих материалов — в металлических трубах, при подвесных потолках из негорючих материалов — в винипластовых или металлических трубах.

В зависимости от условий среды рекомендуются следующие марки проводов и кабелей:

• *в сырых, особо сырых и с химически активной средой помещениях* — провода АПВ-ПВ, кабели АВВГ-ВВГ, АВРГ-ВРГ;

• *в жарких помещениях* — провода с теплостойкой изоляцией (РКГМ, ПАЛ и др.). При применении проводов с нетеплостойкой изоляцией рекомендуются провода с резиновой (АПРТО-ПРТО), а не поливинилхлоридной (АПВ-ПВ) изоляцией; токовые нагрузки на провода с нетеплостойкой изоляцией должны быть снижены (путем введения соответствующих поправочных коэффициентов) настолько, чтобы температура токоведущей жилы не превышала допустимых значений;

• *в наружных установках и неотапливаемых сооружениях* — провода с резиновой изоляцией или специальные провода с поливинилхлоридной изоляцией для низких температур (АПВ-ХЛ, ПВ-ХЛ, ПГВ-ХЛ), а также кабели АНРГ-НРГ, АВРГ-ВРГ, АВВГ-ВВГ с защитой их в наружных установках от воздействия прямого солнечного света;

• *в помещениях сухих, влажных, пыльных* — могут применяться любые марки проводов и кабелей.

Провода и кабели с алюминиевыми жилами допускаются при условии выполнения их соединения и оконцевания с помощью сварки, пайки или опрессовки.

Соединительные и ответвительные коробки должны иметь степень защиты, как правило, не ниже IP54 (коробки У409, КОР73 и КОР74 — для кабельных проводок, коробки КМ — для трубных проводок и т.п.).

Электрические аппараты и приборы, искрящие по условиям работы (автоматы, выключатели, штепсельные розетки и др.), в помещениях классов П-I и П-II должны иметь степень защиты не ниже IP54, в прочих пожароопасных установках — не ниже IP44. В частности, в помещениях П-I и П-II допускается установка автоматиче-

Таблица 4.2. **Виды осветительных электропроводок во взрывоопасных установках**

Характеристика кабелей и проводов	Классы взрывоопасных установок и материал проводника	Марки кабелей и проводов
Бронированные кабели без джутового покрова, с бумажной, резиновой или поливинилхлоридной изоляцией:		
в свинцовой или поливинилхлоридной оболочке	В-I и В-Iа — с медными жилами. Все остальные классы — с алюминиевыми жилами	СБГ, СРБГ, ВВБГ, ВРБГ, АСБГ, АСРБГ, АВРБГ
в алюминиевой оболочке	В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIа — с медными или алюминиевыми жилами	ААБГ и др.
Небронированные кабели без джутового покрова, с бумажной, резиновой или поливинилхлоридной изоляцией:		
в свинцовой или поливинилхлоридной оболочке	В-Iа — с медными жилами. В-Iб, В-II, BIIа — с алюминиевыми жилами	СРГ, ВРГ, НРГ, ВВГ, АСРГ, АВРГ, АНРГ, АВВГ
в алюминиевой оболочке	В-Iб, В-II, BIIа — с медными или алюминиевыми жилами	ААГ и др.
Специальные кабели	В-Iа — с медными жилами. В-Iб, В-Iг, В-II, BIIа — с алюминиевыми жилами	ВБВ, АВБВ
Провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией в стальных обыкновенных водогазопроводных трубах по ГОСТ 3262–62	В-I и В-Iа — с медными жилами. Все остальные классы — с алюминиевыми жилами	ПРТО, ПВ, АПРТО, АПВ
Шланговые переносные кабели	Все классы — с медными жилами	КРПТ, КРПГ

ских выключателей АП50 в металлическом корпусе, штепсельных розеток типов У-102 и ШГП-10.

Аппараты и приборы, не искрящие по условиям работы, должны иметь степень защиты не ниже IP44.

Щитки и выключатели рекомендуется выносить из пожароопасных зон, если это не вызывает значительного удорожания и увеличения расхода цветных металлов.

Электроустановки пожароопасных складских зданий и помещений должны иметь извне аппараты отключения, установленные на стенах из негорючих материалов или с подкладкой слоя негорючего материала.

Аппараты отключения складских зданий должны иметь приспособления для опломбирования и быть доступны для обслуживания в любое время.

В установках всех классов, за исключением В-I и В-Iг, должны широко применяться кабельные проводки, выполняемые небронированными кабелями; в случае же возможности механических воздействий на проводку, а также в установках классов В-I и В-Iг должны предусматриваться трубные проводки.

Во взрывоопасных установках трубы разрешены только водогазопроводные обыкновенные по ГОСТ 3262–62.

В качестве ответвительных и соединительных коробок используются: при трубных проводках — фитинги серии Ф; при кабельных проводках, выполненных кабелями НРГ — АНРГ; ВВГ — АВВГ, ВРГ — АВРГ, СРГ — АСРГ — пластмассовые коробки типа У409.

Рекомендуемые виды электропроводок приведены в табл. 4.2.

4.2. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ

Управление общим внутренним освещением позволяет заметно снизить расход электроэнергии. В небольших помещениях выключатели устанавливаются у входа, как правило, со стороны дверной ручки, в редко посещаемых помещениях (вентиляционные камеры, кладовые и т.п.) — вне помещений, в остальных случаях — в помещениях. Управление освещением отдельных участков помещений с разной естественной освещенностью должно быть раздельным. Выключатели для осветительных приборов (ОП), установленных в помещениях с тяжелыми условиями среды, рекомендуется выносить в смежные помещения с лучшими условиями.

В помещениях с боковым естественным освещением рекомендуется предусматривать включение осветительных приборов рядами, параллельными окнам. В больших производственных помещениях

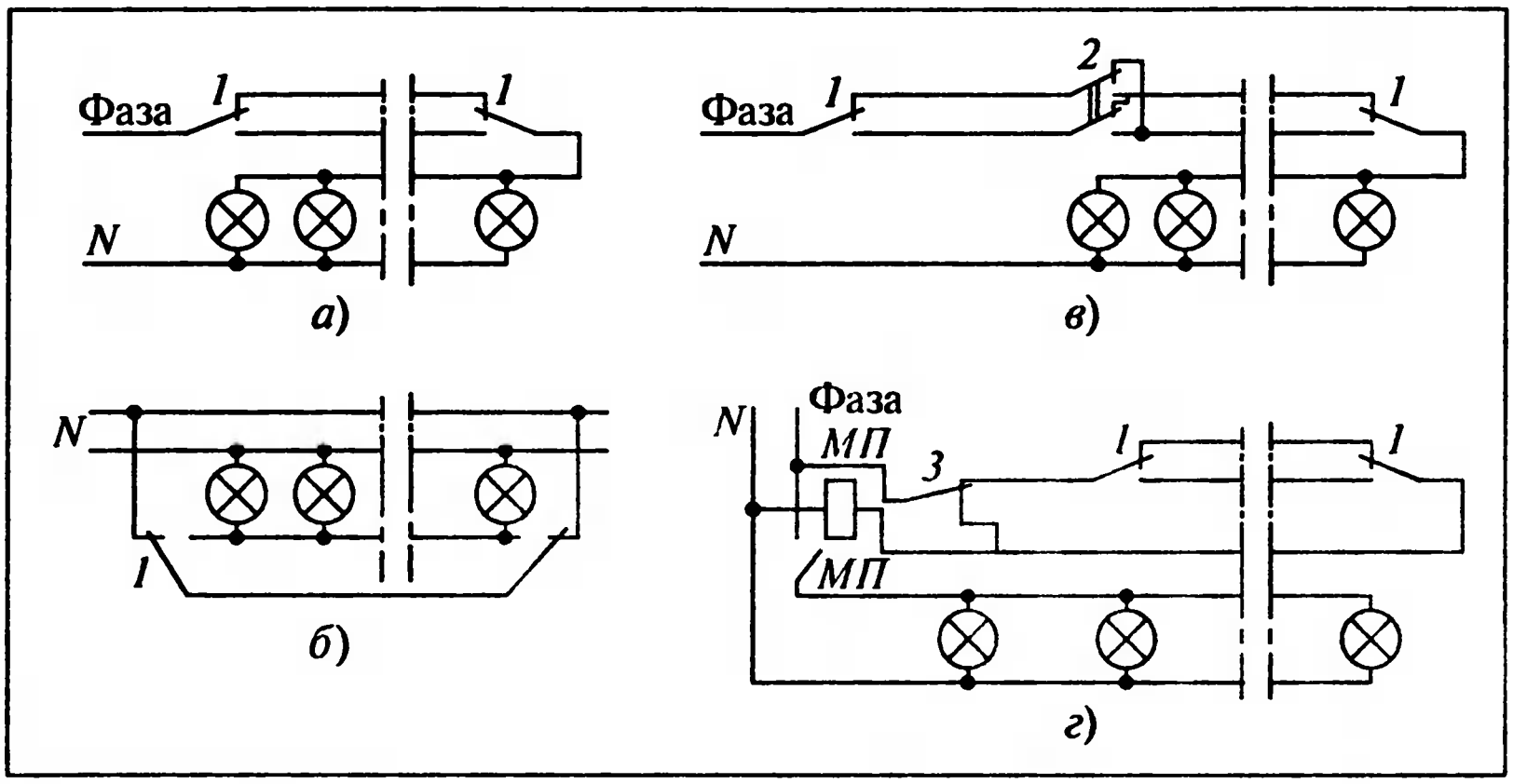

Рис. 4.1. **Схемы управления освещением из нескольких мест:**

а — из двух мест; *б* — из двух мест с транзитной фазой; *в* — из трех мест (при увеличении числа переключателей из любого числа мест); *г* — с помощью магнитного пускателя (для управления им применяют схемы *а*, *б*, *в*); *1* — переключатель однополюсный на два направления без нулевого положения; *2* — переключатель двухполюсный на два направления без нулевого положения; *3* — переключатель однополюсный с нулевым положением (необходим при отсутствии аппарата, отключающего ОП и магнитный пускатель)

(более 200 м^2), не используемых круглосуточно, рекомендуется выделять на отдельное включение небольшое число ОП, создающих освещенность, необходимую для уборки и охраны помещения (дежурное освещение).

В протяженных помещениях с несколькими входами, посещаемых только специальным персоналом (кабельные, водопроводные, теплофикационные туннели и др.), необходимо предусматривать управление освещением от каждого входа или части входов. Схемы управления освещением из нескольких мест приведены на рис. 4.1.

Местное управление освещением больших помещений обычно производится с групповых щитков автоматами групповых линий. Аппараты управления освещением и щитки, с которых производится управление освещением, размещают в местах, доступных и удобных для обслуживания.

Для запираемых помещений складов, где хранятся горючие материалы или материалы в горючей упаковке, вне склада устанавливают общий отключающий аппарат с приспособлением для пломбирования, размещенный в несгораемом ящике на несгораемом основании (стене), а при его отсутствии — на отдельной опоре. При

питании освещения зданий от отдельно стоящей ТП на вводах питающей сети в здания устанавливают отключающие аппараты.

В жилых домах для управления освещением лестничных клеток в целях экономии электроэнергии рекомендуется применять кнопочные выключатели кратковременного действия, устанавливаемые на каждом этаже. При нажатии на кнопку такого выключателя освещение включается на 2 – 3 мин и затем выключается.

Управление местным освещением производится выключателями, являющимися конструктивной частью ОП или расположенными в стационарной части электропроводки. В сетях малого напряжения для включения освещения допускается использовать штепсельные розетки.

Управление наружным освещением предусматривается раздельным для следующих участков территории предприятий и объектов: проходов и проездов, участков производственных помещений, расположенных наружно и т.п.

Современные средства управления освещением включают системы диспетчерской. Существует два основных способа диспетчеризации инженерных систем здания, одной из которых выступает освещение.

Первый — ***аналоговый***, предусматривает передачу управляющих сигналов по отдельным линиям, реализуется на базе электронных и электромеханических реле, иногда с использованием микроконтроллеров. Для управления передачей сигнала каждому устройству необходима своя пара проводов, элементная база отличается простотой конструкции и дешевизной. Данный способ применяется, когда объем диспетчеризации, т.е. количество объектов управления и сигнализации, невелик и не требуется интеграция с вычислительными системами. Аналоговые системы диспетчеризации не требуют высококвалифицированной наладки и обслуживания.

Второй способ диспетчеризации — ***цифровой***. Объекты диспетчеризации объединяются цифровым интерфейсом (шиной) и управляются адресно, с помощью контроллеров или специально выделенных для этих целей компьютеров.

Иногда встречаются технические решения, когда однотипные объекты управления/сигнализации, например освещение или кондиционеры, объединяются специализированными интерфейсами, и уже в качестве отдельной целостной системы подключаются через шлюз к основному интерфейсу здания.

Цифровые системы диспетчеризации имеют несравнимо большую расширяемость, чем аналоговые, и незаменимы при значительном количестве объектов управления/сигнализации. В то же

время они обычно имеют значительно более высокую цену и требуют более сложных пусконаладочных работ и обслуживания, чем аналоговые.

Аналоговое управление освещением. Для аналогового управления освещением необходимо, помимо самого светильника, еще два органа управления: командный (далее КО) — тот, что посылает команду на изменение режима работы осветительной установки (ОУ), и исполнительный (далее ИО) — тот, что непосредственно изменяет режим работы ОУ.

В роли КО традиционно выступают: датчики присутствия/движения, кнопочные и дистанционные выключатели и регуляторы уровня, таймеры, датчики освещенности; в роли ИО — сумеречные выключатели, импульсные реле, мини-контакторы, регуляторы интенсивности света (далее диммеры).

Иногда функции КО и ОИ совмещены в едином устройстве, примером служит диммер со встроенным регулятором уровня освещенности.

Управление уровнем освещенности ламп накаливания и галогенных ламп 12 В обычно ведется путем простого изменения диммером уровня напряжения, подаваемого на зажимы светильника.

В настоящее время повсеместно используются электронная пускорегулирующая аппаратура (ЭПРА) для разрядных ламп и электронные трансформаторы для галогенных ламп 12 В. В технической практике для этих аппаратов используется обобщенное название *"балласт"*. Управление светильниками с электронными балластами путем простого изменения уровня питающего напряжения невозможно в случае разрядных ламп и нежелательно в случае галогенных ламп накаливания (ГЛН) 12 В. Поэтому для светорегулирования в этом случае применяется так называемый протокол "0 – 10 В". Питание балласта 0 – 10 В осуществляется по-прежнему через диммер, но помимо этого от диммера к нему подведена дополнительная пара управляющих проводов. Управление уровнем освещенности в диапазоне 100 – 5 % осуществляется самим балластом по сигналу диммера, а сам диммер только отключает питание при соответствующем сигнале от КО.

Принципиальная схема управления освещением по аналоговому способу представлена на рис. 4.2.

Дополнительным эффектом от использования протокола 0 – 10 В являются вывод тепловыделяющих частей регуляторов за пределы места установки диммера и их рассредоточение.

Цифровое управление освещением. Система цифрового управления освещением помимо самого источника света включает в себя:

- контроллер цифровой шины управления (КШ);

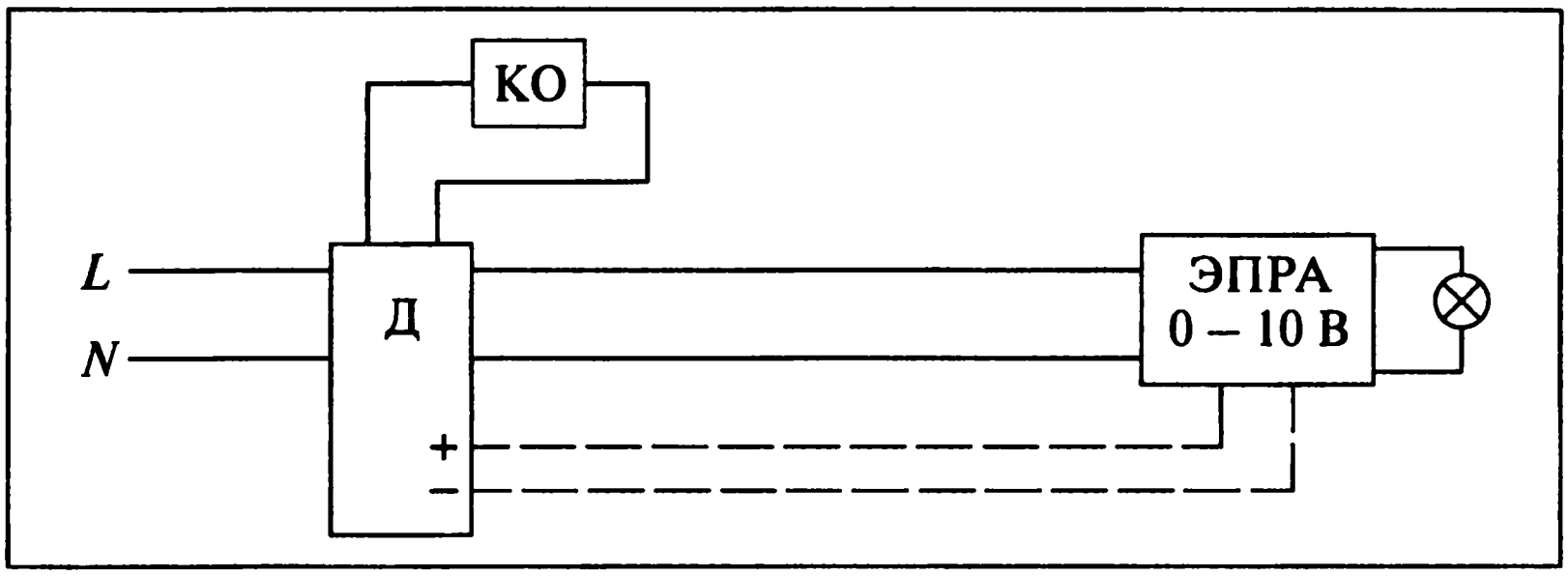

Рис. 4.2. **Схема управления светильником по аналоговой системе**

- цифровую шину управления (ШУ);
- командные органы (КО);
- исполнительные органы (ИО).

Существуют также различные шлюзы, переходные модули для сопряжения системы управления с другими системами диспетчеризации или информационными системами, а также для взаимодействия с аппаратами, изначально не рассчитанными на работу в составе цифровой системы управления.

Контроллер цифровой шины — электронный блок, обладающий памятью, средствами обмена данными с оператором-программистом, модулями обработки сигналов от КО, модулями формирования команд для ИО. Обычно устанавливается в щите освещения или управления освещением, но встречаются КШ для открытой установки.

Цифровая шина управления — физическая среда, предназначенная для обмена цифровыми сигналами между КШ и КО, КШ и ИО, обычно представляет собой кабель с медными жилами небольших сечений. Применяются как силовые, так и контрольные и сигнальные кабели. В особых случаях также используется кабель типа "витая пара". Существует несколько вариантов организации топологии сети, в данном случае применяются кольцо и шина. При использовании протокола DALI (Digital Addressable Lighting Interface — цифровой адресуемый осветительный интерфейс) — только шина.

Командные органы — аппараты, используемые для выработки команды на изменение режима работы ОУ, подлежащей управлению. Побуждением на выработку команды может быть действие оператора (нажатие на кнопку выключателя или ИК-пульта, поворот регулятора, выбор пункта меню на сенсорной панели) или изменение условий в окружающем пространстве (изменение освещенно-

сти, появление в зоне видимости движущегося объекта и т. п). Командные органы обычно имеют адрес (свой личный или адрес группы).

Исполнительные органы — аппараты, которые по команде КШ передают управляющее воздействие непосредственно ОУ для изменения режима ее работы. Для светильников с газоразрядными лампами и светодиодных модулей ИО совмещен с ЭПРА.

Для светильников с ГЛН низкого напряжения ИО совмещен с питающим лампу электронным трансформатором. Для светильников с лампами накаливания или ГЛН на сетевое напряжение ИО представляет собой регулятор напряжения, исполненный в виде пенала рядом со светильником либо установленный в щите. Исполнительный орган так же как и КО, имеет адрес на шине, присвоенный индивидуально или группе.

При использовании цифровой системы диспетчеризации здания система управления освещением обычно строится на основе протокола DALI, который принят ведущими производителями светотехнического оборудования, такими как Philips, OSRAM, Helvar, Tridonic. Atco, Zumtobel Staff в качестве промышленного стандарта.

В системе DALI, так же как в аналоговом протоколе 0 – 10 В, интенсивностью светового потока светильника управляет электронный балласт. В случае, если управлению подлежат светильники с обычными ЛН или ГЛН 220 В, где изначально не было никакого электронного балласта, регулятор напряжения лампы выносится к светильнику или встраивается в него. Командные органы также подключаются к шине DALI.

Каждый балласт и каждый КО обладает своим собственным адресом. Всего один контроллер DALI может работать с 64 устройствами, максимум в 16 управляемых отдельно группах. Контроллеры DALI далее интегрируются в общую шину диспетчеризации здания (такую, как EIB, LonWorks, C-Bus и т.п.) через соответствующие шлюзы. Для небольших объектов возможно и отдельное функционирование DALI-контроллера, которому помимо непосредственно управления освещением могут быть поручены управление приводами жалюзи и ворот, а также простейшие системы безопасности.

Сигнал управления DALI передается по двум проводам на напряжении 15 В (это может быть любая медная пара, будь то витая пара или дополнительно проложенный силовой кабель). Максимальная длина линии управления не должна превышать 300 м, соблюдать полярность не обязательно.

Управляемые по DALI балласты могут сообщать контроллеру о неисправностях, таких как перегоревшая лампа или срабатывание

тепловой защиты самого балласта. Контроллер DALI может хранить до 16 световых сцен, вызываемых по необходимости.

Одним из преимуществ DALI является то, что все КО и ИО могут быть гальванически разделены, нет никакой необходимости вести к выключателям ту же фазу, что и к светильникам, да и разводка силовых групп по светильникам вовсе не обязана совпадать с логически определенными группами управления (световыми сценами).

Принципиальная схема управления освещением по цифровой системе представлена на рис. 4.3.

В роли КО выступают: датчики присутствия/движения, кнопочные и дистанционные выключатели и регуляторы уровня, таймеры, датчики освещенности, сенсорные панели, ИК-приемники, управляемые с пульта, а также компьютеры, управляющие инженерными системами здания. Сенсорные панели могут быть как специально разработанными для протокола DALL, так и сопрягаемыми с ним через шлюзы.

Световые сцены могут вызываться с помощью любых КО, будь то сенсорные панели или даже обычные выключатели, традиционно используемые для неуправляемого освещения.

В роли ИО выступают: ЭПРА газоразрядных ламп, электронные трансформаторы 220/12 В для галогенных ламп накаливания, пенальные и щитовые диммеры для ламп накаливания и галогенных ламп 220 В, ПРА светодиодных светильников, приводы ворот, жалюзи, контроллеры микроконтакторов, релейные модули. Сущест-

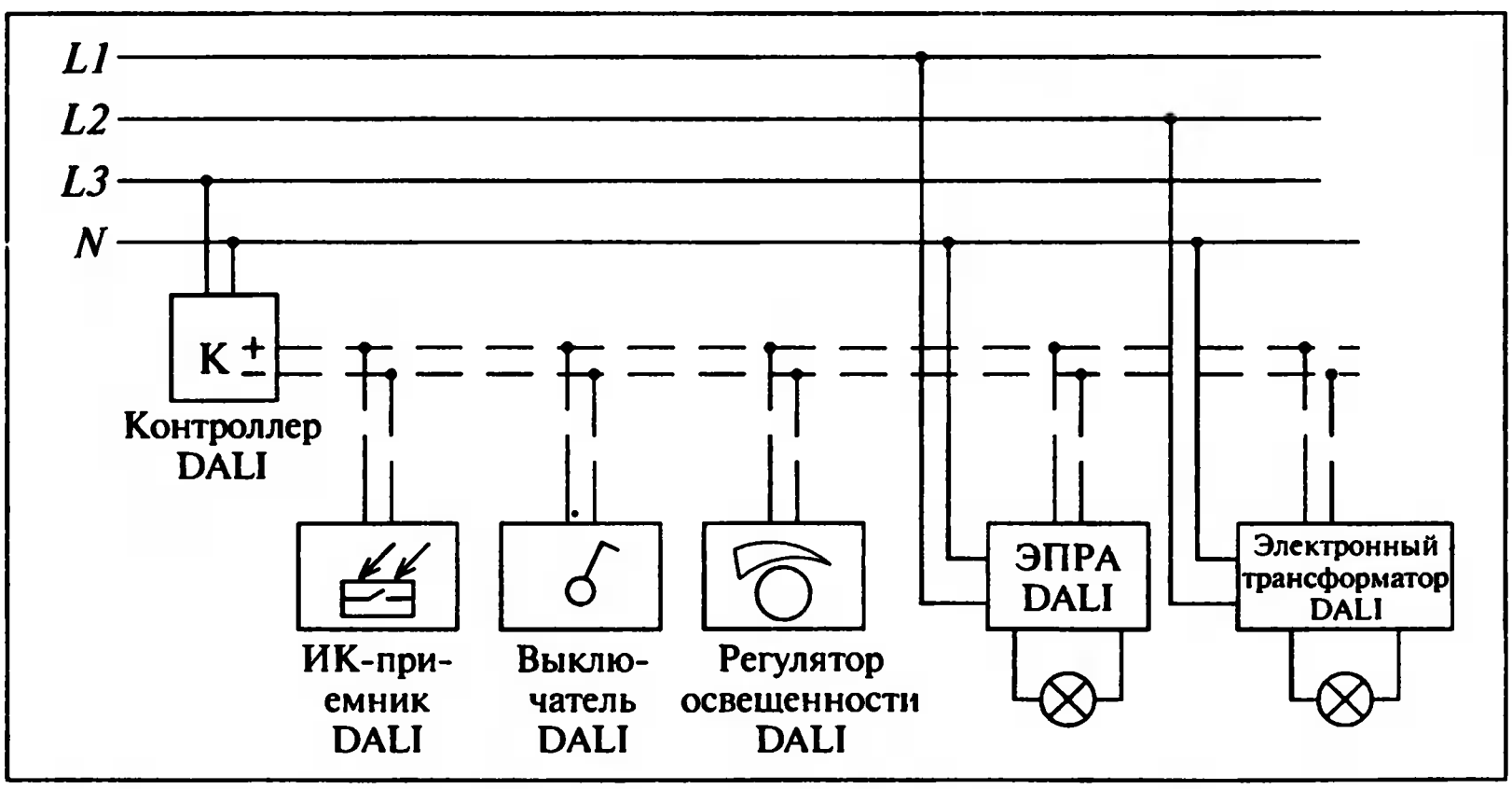

Рис. 4.3. **Управление освещением по цифровой системе**

вуют также переходные модули, позволяющие DALL-контроллеру управлять аналоговыми балластами 0 – 10 В.

Достоинства и недостатки цифрового управления освещением. Необходимость собственно управления освещением не нуждается в доказательстве, всё определяется лишь волей заказчика. В то же время не всегда требуется построение именно цифровой системы, ибо цена ее в настоящее время достаточно высока по сравнению с аналоговой. Поэтому рассмотрим плюсы и минусы цифровых систем и возможные области их применения.

Достоинства:

• *простота организации* — организация групп управления никак не влияет на организацию питания светильников. Количество светильников на фазу ограничивается лишь требованиями ПУЭ по максимальному числу ламп соответствующей мощности;

• *гибкость структуры* — если требуется, можно изменить логику управления светильниками, число и состав групп всего лишь изменением программы КШ. Перекладывать какие-либо кабели нет необходимости. Подключение КШ через шлюз к компьютеру или другому интеллектуальному устройству позволяет иметь практически неограниченное количество световых сценариев и частоту их смены;

• *расширяемость* — возможность управления множеством мелких групп светильников, до одной штуки в группе, без существенного усложнения структуры;

• *простота монтажа* — подключение новых устройств не сопровождается дополнительными операциями, кроме установки самих устройств, подключения к шине и изменения программы КШ;

• *унификация* — все КО и ИО поключаются по единому принципу, совместимы с компонентами других производителей для того же протокола;

• *безопасность* — нет необходимости подводить сетевое напряжение к выключателям, достаточно напряжения шины, которое всегда меньше допустимых 50 В;

• *удобство эксплуатации* — ИО могут сообщать контроллеру о возникших неисправностях, а тот — формировать предупреждающий сигнал диспетчеру.

Недостатки:

• *высокая цена компонентов* — цифровые устройства имеют пока более высокую цену, чем аналоговые. Часто поставщики еще и завышают цену “за престижность”, “модность” системы. Косвенно это также приводит к увеличению опасности воровства компонентов, установленных в зонах неконтролируемого доступа;

• *высокая стоимость ядра.* Даже простая цифровая система требует начального комплекта аппаратов для своего функционирования. Управление даже одним светильником потребует и КШ, и ИО, и КО;

• *необходимость высокой квалификации персонала.* Для проектирования, ремонта и наладки цифровых систем требуются особые технические знания и высокая квалификация. Персоналу, ими обладающему, необходима бóльшая заработная плата, чем проектировщикам-наладчикам аналоговых систем.

4.3. ЗАЩИТА ОТ ПОРАЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Многие элементы осветительной сети доступны для прикосновения и могут явиться источником опасности, которая в большой мере определяется условиями среды и конструкцией помещения, ибо от них зависит сопротивление человека в цепи тока (особенно в месте контакта проводника с телом) и, следовательно, значение протекающего тока.

Сопротивление тела человека в нормальных благоприятных условиях среды превышает 100 000 Ом, но может снизиться до 600 – 1000 Ом при увлажненной коже, обильном потовыделении в жарких помещениях, при разъедании кожи кислотами и засорении пор проводящей пылью, порезах и т.п. Существенное влияние на значение тока, протекающего через тело человека, оказывает сопротивление полов, меняющееся в очень широких пределах (например, сопротивление сухого деревянного торцевого пола достигает 10^7 Ом, а плиточного пола — не превышает 500 Ом).

Опасность поражения током возникает при возможности одновременного прикосновения к токоведущим частям и металлическим заземленным предметам.

Все помещения по степени опасности поражения электрическим током делят на три категории.

Защитное заземление применяется в сетях с изолированной нейтралью, где опасность прикосновения обусловливается сопротивлениями путей утечки: сопротивлением изоляции сети и ее емкостью.

В простейшем случае, изображенном на рис. 4.4, ток, проходящий через человека I_h, будет определяться выражением

$$I_h = \frac{U_{r1}}{R(r_1 + r_2) + r_1 r_2}, \qquad (4.1)$$

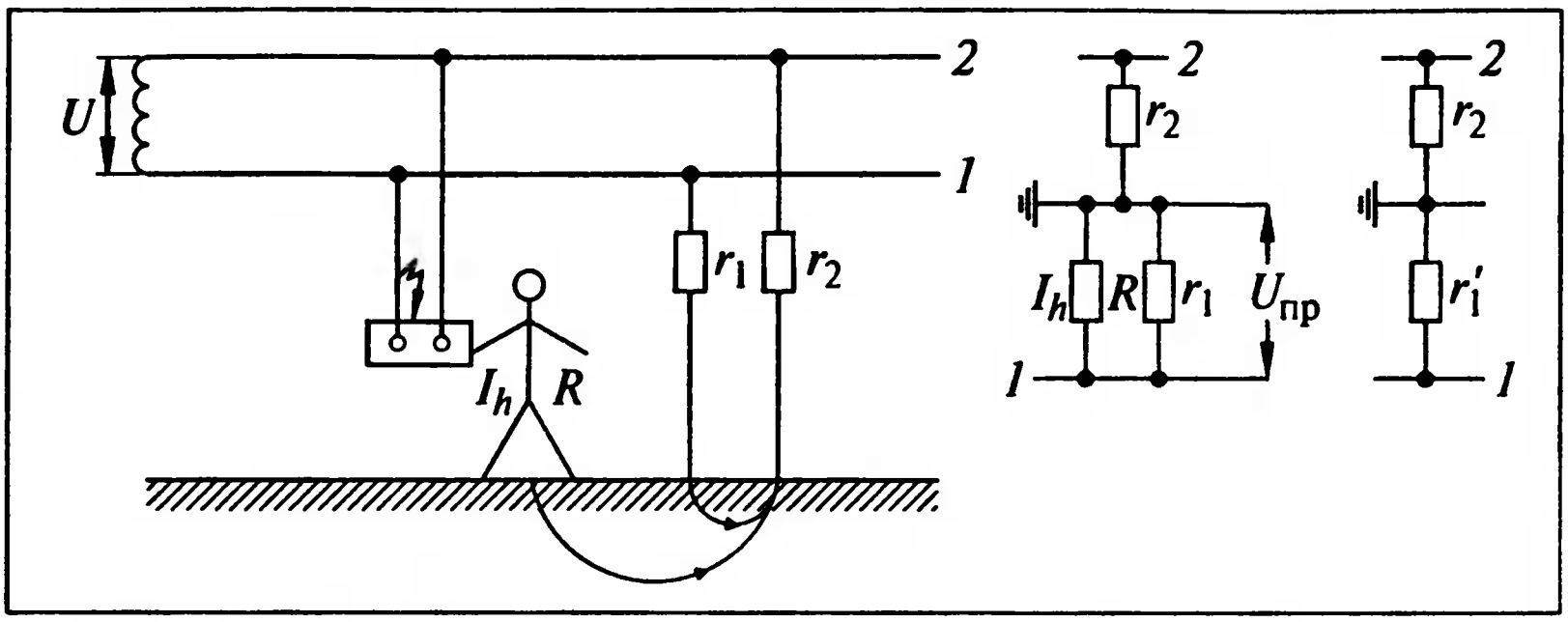

Рис. 4.4. **Схема прикосновения к сети с изолированной нейтралью**

а для аналогичного случая трехфазной сети

$$I_h = \frac{\sqrt{3}U_{r1}\sqrt{r_2^2 + r_2 r_3 + r_3^2}}{R(r_1 r_2 + r_2 r_3 + r_1 r_3) + r_1 r_2 r_3}, \qquad (4.2)$$

где r_1, r_2 и r_3 — сопротивления соответствующих фаз по отношению к земле, Ом; R — сопротивление тела человека, Ом; U — фазное напряжение сети, В.

Предельно неблагоприятный случай будет при $r_2 = 0$ или $r_3 = 0$.

Тогда в однофазной сети

$$I_h = \frac{U}{R},$$

а в трехфазной

$$I_h = \frac{\sqrt{3}U}{R},$$

т.е. ток может достигнуть безусловно опасного значения.

Для устранения подобной опасности применяется защитное заземление, т.е. преднамеренное электрическое соединение металлических нетоковедущих частей установки с заземлителем, обладающим определенным, достаточно малым, сопротивлением растеканию $r_з$ (рис. 4.5). За счет введения параллельно R сопротивления $r_з$ уменьшается эквивалентное сопротивление $r_{эк}$ и снижается возможное напряжение прикосновения $U_{пр}$, во всяком случае, до $U_{пр} = I_з r_з$, где $I_з$ — ток замыкания при аварийном пробое на корпус.

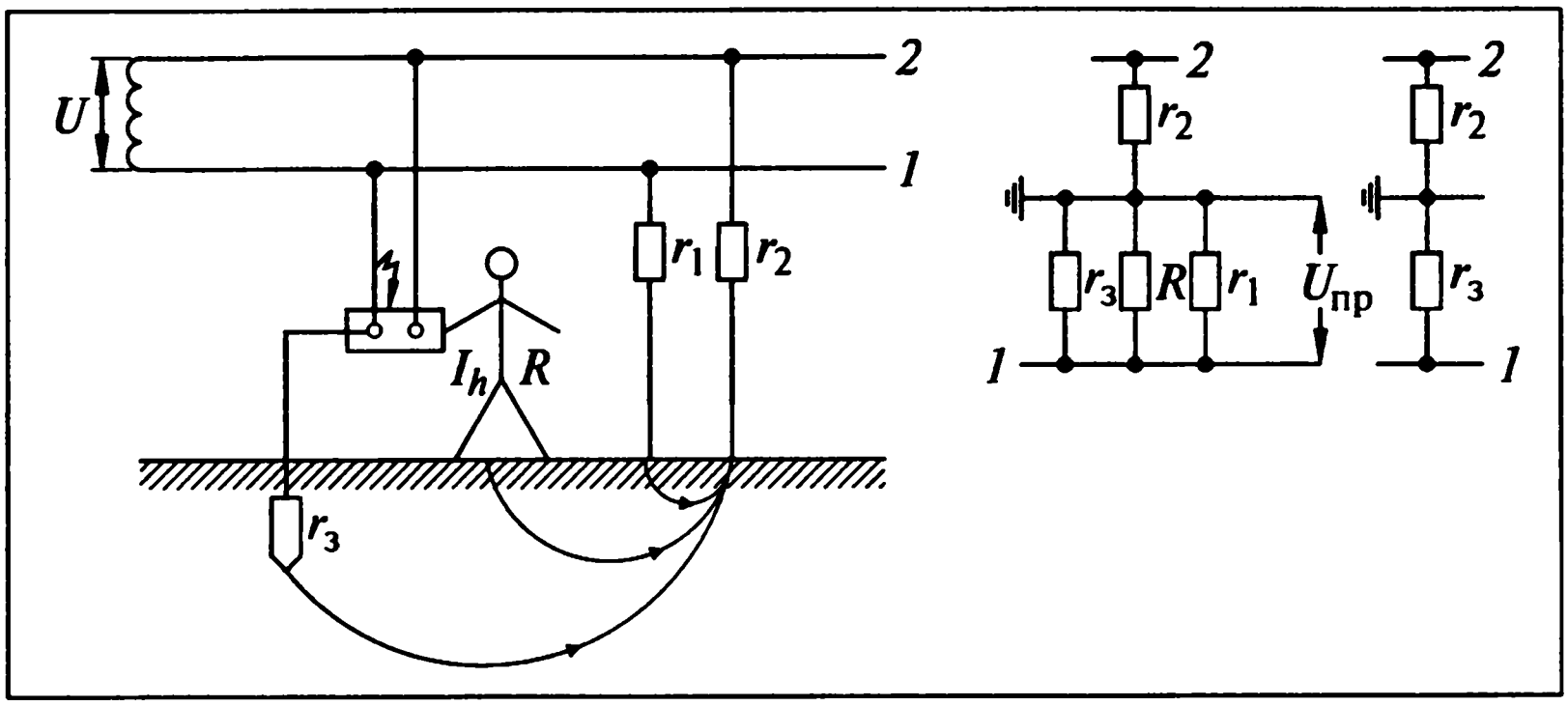

Рис. 4.5. **Схема защитного заземления**

Исходя из допустимого значения $U_{пр}$ (например, 40 В), можно подобрать значение $k_з$, обеспечивающее безопасность установки.

Значение $r_з$ по действующим нормам не должно превышать 4 Ом. При этом значении $r_з$ практически обеспечивает безопасность в осветительных установках. Если проверка $r_з$ по условиям безопасности при переходе высшего напряжения в цепь низшего дает меньшее значение, то принимается это меньшее значение.

В наружных установках металлические опоры и стальная арматура железобетонных опор должны быть связаны с землей сопротивлением, не превышающим 50 Ом.

При устройстве заземлителей нужно в первую очередь использовать естественные заземлители (металлические трубопроводы, обсадные трубы артезианских скважин и т.п.). Для сети заземления должны использоваться специальные провода, а в удобных случаях естественные токопроводы (подкрановые пути, фермы, стальные трубы электропроводок и т.п.).

Сечения заземляющих проводников должны составлять не менее 1/3 сечения фазных проводников, а в случае проводников из разных металлов иметь проводимость не менее 1/3 проводимости фазных проводников. В любых случаях можно не применять сечения бóльшие 100 мм^2 — для стали, 35 мм^2 — для алюминия и 25 мм^2 — для меди.

В сетях напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью защитное заземление не применяется, поскольку при пробое на корпус оно не обеспечивает безопасного значения напряжения прикосновения и не в состоянии достаточно быстро ликвидировать

опасное состояние установки. Взамен этого устраивается защитное зануление.

Если пренебречь сопротивлением фазного провода и переходным сопротивлением в месте замыкания, то ток замыкания при пробое на корпус и применении защитного заземления может быть определен по упрощенному выражению

$$I_з = \frac{U_ф}{r_н + r_з}, \qquad (4.3)$$

где $r_н$ — сопротивление рабочего заземления нейтрали, Ом.

В сетях, где токи аппаратов защиты не превышают допустимых токов нагрузки (возможны округления в сторону ближайших больших значений), при соблюдении расчетных значений потери напряжения, а также когда проводимость зануляющих проводников внутри зданий составляет не менее 50 % проводимости фазного проводника, проверка расчетом обеспечения отключения сетей в большинстве случаев может не производиться.

Кратковременно, до отключения защиты, на заземленных частях оборудования могут создаваться опасные потенциалы, обусловливаемые соотношением сопротивлений фазного и нулевого проводов и определяемые в предельно неблагоприятном случае выражением

$$U_{пр} = I_к r_0. \qquad (4.4)$$

Теоретически даже при равенстве сечений фазного и нулевого проводов напряжение прикосновения имеет еще опасное значение: $U_{пр} = 0{,}5 U_ф$.

Практически в цехах со встроенными или близко расположенными подстанциями, достаточно насыщенных технологическим оборудованием, при замыканиях на корпус $U_{пр}$ не превышает 10 – 12 В вследствие дополнительной проводимости, параллельной проводимости нулевого провода, которая создается многочисленными связями с землей через зануленные металлические части электроустановок и имеющие с ними электрический контакт трубопроводы различных коммуникаций, металлические конструкции зданий, металлические конструкции технологического оборудования и т.п. Однако для удаленных от подстанций небольших объектов без водопровода $U_{пр}$ сохраняет опасное значение. Для снижения опасности в последнем случае весьма эффективно устройство дополнительных местных очагов повторного заземления нулевого провода, выполняемых в виде контурного заземления. Одновременно может быть так-

же рекомендовано устройство защитного отключения при появлении потенциала на корпусе зануленного оборудования. В отдельных случаях опасность может быть устранена устройством дополнительных связей с заземлителем нейтрали.

Безопасность в сетях с заземленной нейтралью обеспечивается только при непрерывности цепи нулевого провода. Обрыв нулевого провода в осветительных установках приводит к выносу потенциала на заземленное электрооборудование через нить лампы накаливания или сопротивление нагревательного прибора даже при отсутствии пробоя на корпус. По этой причине в цепи нулевого провода, когда он используется в качестве зануляющего, не допускается применять разъединяющих аппаратов или аппаратов защиты.

Для снижения опасности при возможном обрыве нулевого провода должно предусматриваться его повторное заземление $r_п$ на концах воздушных линий.

Значение $r_п$, по ПУЭ, не должно превышать 4 Ом. Когда же необходимо обеспечить защиту от перехода в осветительные сети напряжения 1000 В и более, то для $r_з$ принимаются значения меньшие 4 Ом.

В сети 380/220 В при практически выполнимых $r_п$ и $r_з$ получающиеся значения $I_з$ слишком малы (например, при $r_п = r_з = 4$ Ом $I_з = 27{,}5$ А) и не в состоянии обеспечить быстрое отключение аппаратов защиты. Следовательно, аварийный режим будет длительным, причем в течение него $U_{пр}$ будет недопустимо большим (например, при $r_п = r_з$ значение $U_{пр} = 0{,}5U_ф$).

Расчет достаточности сечения проводов по условиям безопасности проводится по формуле

$$I_к = \frac{U_ф}{\sqrt{(r_т + r_0)^2 + x^2} + \frac{z_п}{3}} \geq 3I_в, \qquad (4.5)$$

где x — реактивное сопротивление петли фазный — нулевой провода, принимаемое для линий с проводами из цветных металлов из расчета 0,6 Ом/км; $r_т$ — активное сопротивление трансформатора, приведенное к напряжению низшей стороны для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей; учитывается только при трансформаторах мощностью до 630 кВ · А и при проводах из цветных металлов; принимается равным для трансформаторов 100, 160, 250 и 400 кВ · А соответственно 0,17; 0,12 — 0,08 и 0,05 Ом; $I_в$ — ток плавкой вставки предохранителя или уставка автомата с тепловым расцепителем.

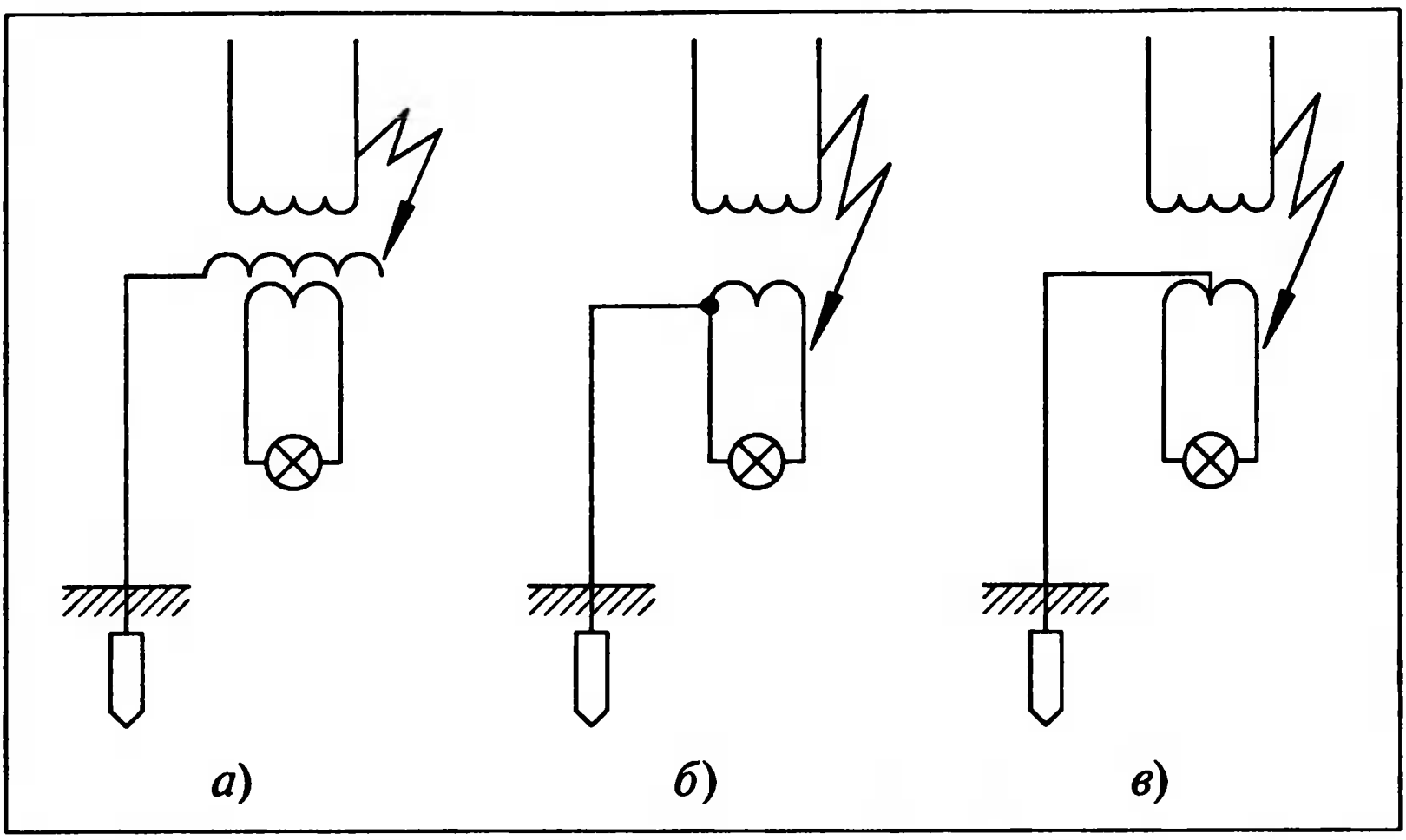

Рис. 4.6. **Защита от перехода высшего напряжения в цепь низшего в сети местного и переносного освещения:**

а — применение экранной обмотки; *б* — заземление конца обмотки низшего напряжения; *в* — заземление средней точки обмотки низшего напряжения

Защита от перехода высшего напряжения в цепь низшего (рис. 4.6). При эксплуатации возможно аварийное непосредственное соединение: обмоток трансформаторов высшего и низшего напряжений, проводов воздушных линий, цепей разных напряжений через металлоконструкции и т.п. Во всех этих случаях, если не принять мер защиты, значительно повысится потенциал проводов в сети низкого напряжения, произойдет пробой изоляции и недопустимый потенциал распространится на все металлические части установки, связанные между собой сетью заземления или зануления. Безопасность при подобных авариях достигается применением быстродействующей защиты на стороне высшего напряжения, срабатывающей при замыканиях сети, и ограничением предельного значения напряжения прикосновения до отключения.

Для ограничения напряжения прикосновения в системах с изолированной нейтралью последняя заземляется через пробивной предохранитель, изолирующий ее от земли в нормальном режиме и пробиваемый при переходе высшего напряжения. В сетях с заземленной нейтралью никаких дополнительных устройств не требуется, поскольку нейтраль уже в нормальном режиме имеет глухое заземление.

Сопротивление заземлителей нейтрали ($r_з$ или $r_н$) должно быть проверено по соотношению

$$r_н = \frac{U'_{пр}}{I'_к}, \qquad (4.6)$$

где $U'_{пр}$ — допустимое напряжение прикосновения при переходе высшего напряжения; $I'_к$ — полный ток замыкания на землю на стороне высшего напряжения.

Действующие правила (ПУЭ) позволяют принять $U'_{пр} = 125$ В, учитывая его фактическое снижение до безопасного значения за счет многочисленных дополнительных связей с землей через зануленное (заземленное) электрооборудование.

Обычно значение $r_н$ или $r_з$ по выражению (4.6) бывает меньше требуемого нормами, исходя из условий безопасности при пробое на корпус без перехода напряжения.

Смертельно опасны последствия перехода напряжения в сетях местного и переносного освещения 12 и 36 В, а также в сетях, питающих ручные инструменты.

ГЛАВА ПЯТАЯ

Защита осветительных сетей

5.1. ВЫБОР КОММУТАЦИОННО-ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

Все осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания, а в некоторых случаях также от перегрузки. Защиту от перегрузки должны иметь: сети внутреннего освещения, выполненные открыто проложенными проводами с горючей наружной оболочкой или изоляцией; осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюги, чайники, плитки, комнатные холодильники, пылесосы, стиральные и швейные машины и т.п.), при любых видах проводов, кабелей и способах проводки; сети во взрывоопасных и пожароопасных зонах при любых видах проводов, кабелей и способах проводки.

Защита осветительных сетей осуществляется аппаратами защиты — предохранителями и автоматическими выключателями (автоматами), отключающими защищаемую электрическую сеть при ненормальных режимах. Для защиты осветительных сетей наиболее распространены автоматы. Одним из преимуществ автоматов перед предохранителями является возможность их использования не только для защиты, но и для отключения.

Предохранители или автоматы следует устанавливать во всех местах сети, где сечение провода по направлению к местам потребления энергии уменьшается. Однако установка аппаратов защиты не требуется, если предыдущий аппарат защищает провода меньшего сечения. Естественно, что аппараты защиты должны быть установлены в начале всех головных участков сети.

При выполнении ответвлений к щиткам от питающей сети аппараты защиты могут не устанавливаться при длине ответвления до

1 м. Допускается осуществлять ответвления к щиткам с установкой аппаратов защиты на расстоянии до 30 м от места ответвления, если провода при прокладке в стальных трубах будут иметь пропускную способность не менее 10 %, а при открытой прокладке — не менее 50 % пропускной способности питающей линии. Такое отступление от общего правила, в частности, имеет в виду ответвления от питающих линий, прокладываемых в цехе на большой высоте, где обслуживание аппаратов защиты весьма затруднено.

Независимо от общих требований для повышения надежности и удобства эксплуатации осветительных установок защитные аппараты целесообразно устанавливать:

а) в местах разветвления питающей сети более чем на три направления;

б) в начале питающих стояков, обслуживающих три и более щитка;

в) на вводах в здание;

г) в начале ответвлений от основной линии системы блока трансформатор — магистраль;

д) в установках наружного освещения при ответвлении к каждому светильнику;

е) в установках местного освещения на низшей стороне понижающих трансформаторов.

Плавкие предохранители по сравнению с автоматами в силу их простоты и малой стоимости пока имеют преимущественное распространение. Плавкий предохранитель состоит из корпуса той или иной конструкции и заключенной в нем плавкой вставки. Плавкая вставка изготовляется из легко плавящегося проводника, сильно нагревающегося, а затем плавящегося при прохождении по нему тока свыше номинального. Корпус предохранителя допускает установку в нем серии плавких вставок на определенный диапазон токов. Таким образом, представляется возможным подобрать соответствующую конкретному случаю плавкую вставку, применяя один или несколько типов предохранителей.

В осветительных сетях наибольшее применение получили следующие предохранители:

- пробочные типа Н;
- трубчатые типы ПР.

Применяемые типы предохранителей и значения номинальных токов плавких вставок к ним приведены в табл. 5.1.

Пробочные предохранители Н-10 имеют малую резьбу Е14 и применяются только для вспомогательных цепей (например, цепи сигнализации). Малая механическая прочность не позволяет приме-

Таблица 5.1. **Номинальные токи предохранителей Н и ПР и плавких вставок к ним**

Тип предохранителя	Номинальный ток, А		Предельно отключаемый ток, А
	предохранителя	плавких вставок к предохранителю	
Н-10	10	4; 6; 10	Ориентировочно 1000
Н-20	20	6; 10; 15; 20	
Н-60	60	10; 15; 20; 25; 35; 60	
ПР	15	6; 10; 15	1200
	60	15; 20; 25; 35; 60	3500
	100	60; 80; 100	10 000
	200	100; 125; 160; 200	10 000

нять их в собственно осветительных сетях. Предохранители Н-20 имеют нормальную резьбу Е27 и получили преимущественное распространение для осветительных групповых сетей. Предохранители Н-20 изготовляются с квадратным основанием размером 55 × 55 мм, высотой 60 мм и прямоугольным — размером 90 × 50 мм, высотой 55 мм. К первым провода присоединяются сзади, а вторые — предохранители прямоугольной формы, имеют два исполнения: для присоединения проводов спереди и для присоединения сзади к проходным шпилькам. Предохранители типа Н-60, имеющие большую резьбу Е33, применяются только в питающих сетях и то только на тех объектах, где отсутствует постоянный обслуживающий персонал. Во всех других случаях в питающей сети следует рекомендовать установку трубчатых предохранителей типа ПР. Такое ограничение для предохранителей типа Н обусловливается сравнительно небольшими, допускаемыми для них значениями предельно отключаемых токов.

Предохранители типа ПР в отличие от предохранителей типа Н имеют открытые токоведущие части, ввиду чего для их обслуживания допускается лишь специальный персонал. К преимуществам предохранителей типа ПР следует отнести большой предельно отключаемый ток. Основная область их применения — защита отдельных участков питающей сети.

Чем больше ток, расплавляющий плавкую вставку, превышает номинальный ток вставки, тем меньше будет время ее расплавления. Однако плавкие вставки предохранителей не перегорают мгновенно при протекании по ним тока больше номинального. Практически мгновенное (несколько секунд) перегорание плавких вставок

гарантируется лишь при токе, превышающем номинальный в 2,5 раза. Плавкие вставки выдерживают при испытаниях полуторный ток не менее 1 ч, а ток, превышающий номинальный на 20 – 30 %, — неопределенно продолжительное время. В условиях эксплуатации материал плавких вставок окисляется и стареет и нередко происходит перегорание при токе, близком к номинальному. Поэтому во избежание ложных отключений предохранители не должны нагружаться током выше номинального.

Действующие электротехнические правила требуют, чтобы номинальный ток плавкой вставки был не меньше рабочего тока нагрузки, т.е.

$$I_{в} \geq I_{раб}. \qquad (5.1)$$

В последнее время наметилась тенденция к замене предохранителей установочными автоматами. Успехи техники позволили конструировать автоматы с хорошими электрическими данными (большие предельно отключаемые токи — до 10 000 А, быстрое отключение при коротких замыканиях) и с конструктивными размерами, чрезвычайно удобными для установки на щитках. Особенностями конструкций автоматов являются возможность совмещения в автомате функций предохранителя и выключателя, гарантированная безопасность их обслуживания и удобство комплектации в малогабаритные надежные щитки. Автоматы изготовляются с разделителями, содержащими только тепловое или тепловое и электромагнитное реле. Тепловое реле работает в области перегрузок и отключает автомат через отрезки времени, находящиеся в обратной зависимости от величины перегрузки, а электромагнитное реле отключает автомат мгновенно при коротких замыканиях. Условия защиты проводов и кабелей установочными автоматами близки к условиям защиты предохранителями. Поэтому аналогично (5.1) ток уставки установочного автомата должен быть не меньше рабочего тока нагрузки, т.е.

$$I_{а} \geq I_{раб}. \qquad (5.2)$$

В расчетах при пользовании (5.1) и (5.2) не следует выбирать номинальные токи плавких вставок предохранителей или токи уставок автоматов излишне большими. Как правило, номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток уставки установочного автомата надо принимать равным или ближайшим к бóльшим значе-

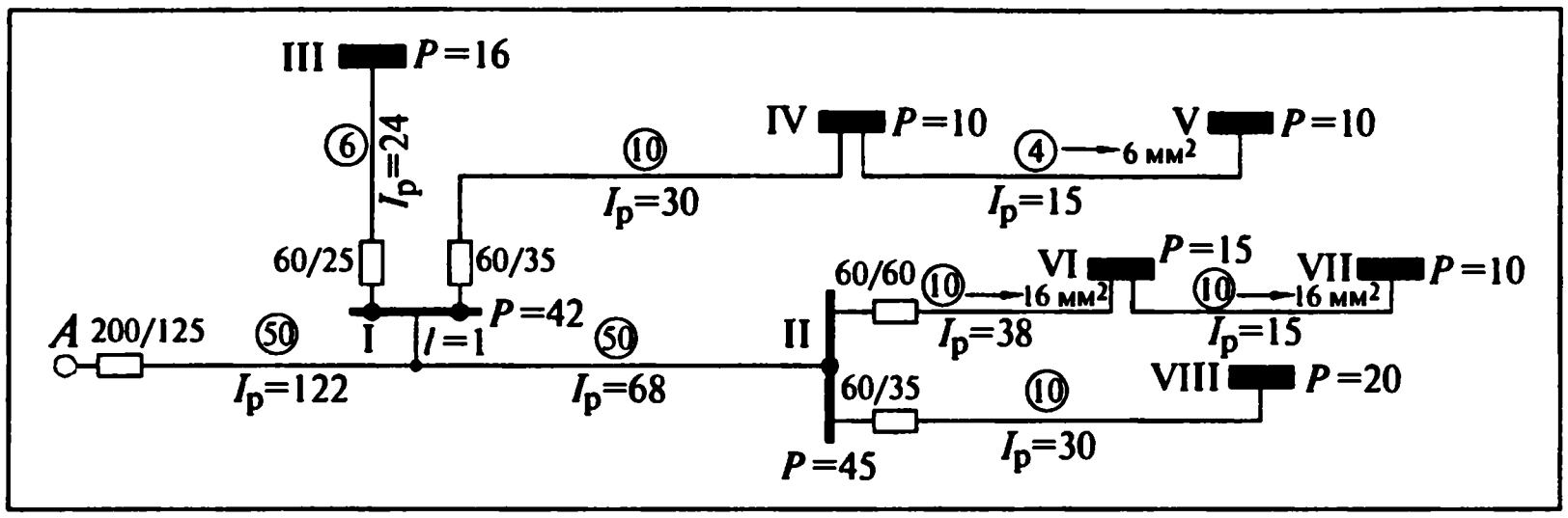

Рис. 5.1. **Схема и исходные данные для примера 5.1**

ниям выражений, стоящих в правых частях соотношений (5.1) и (5.2) соответственно.

Выбор уставок автоматов без выдержки времени производится непосредственно по таблицам, предложенным ПУЭ.

Как уже указывалось, сечения приводов и кабелей должны быть такими, чтобы при данном рабочем токе и выбранной плавкой вставке температура проводников в эксплуатации не достигала значений, при которых нарушается механическая прочность провода, возникает опасность пожара или нарушается изоляция проводов и кабелей. Поэтому во всех случаях длительно допустимый ток провода $I_{доп}$ должен быть не меньше рабочего тока, определяемого расчетной нагрузкой, т.е.

$$I_{доп} > I_{раб}. \qquad (5.3)$$

Кроме того, сечения проводов и кабелей должны удовлетворять соотношениям

$$I_{доп} \geq \beta I_{в} \quad \text{или} \quad I_{доп} \geq \beta I_{а}, \qquad (5.4)$$

где β — коэффициент, обусловливающий запас в сечении проводов для помещений, где электропроводка может вносить элементы повышенной пожарной опасности.

При защите предохранителями в производственных помещениях промышленных предприятий $\beta = 1$, в жилых домах, бытовых и общественных помещениях, огнеопасных складских и служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий $\beta = 1{,}25$.

При защите установочными автоматами во всех случаях $\beta = 1$.

Правилами устройства электроустановок нормируются не только длительно допустимые нагрузки на провода. Правилами устанавли-

ваются также предельно допустимые значения номинальных токов плавких вставок предохранителей и уставок автоматов без выдержки времени для проводов различного сечения и конструкции и разных условиий прокладки.

Выбор сечений проводов и кабелей по условиям нагревания производится в следующей последовательности:

а) определяется рабочий ток $I_{раб}$ по расчетной нагрузке;

б) по рабочему току выбирается предохранитель или автомат и соответственно номинальный ток плавкой вставки $I_в$ или ток уставки $I_а$ по соотношениям (5.1) и (5.2);

в) проверяется соответствие сечений проводов выбранным вставкам предохранителей или токам уставок автоматов.

Пример 5.1. Проверить сечения медных проводов четырехпроводной сети напряжением 380/220 В, приведенной на рис. 5.1, по условиям нагревания и выбрать для защиты проводов плавкие вставки. Цех, в котором проложена сеть, работает в две смены (число часов использования $T = 2200$ ч).

На расчетной схеме указаны сечения фазных проводов, мм^2, и чисто активные нагрузки на щитки, кВт. Сеть проложена в стальных трубах в помещениях с температурой не выше 25 °С. Щитки *VI*, *VII* и *VIII* установлены в зданиях общественного назначения, остальные щитки — в производственных помещениях с нормальной средой.

Определим расчетные рабочие токи на отдельных участках сети по формуле

$$I_{раб} = \frac{P}{\sqrt{3}U_A}.$$

По расчетным токам подбираем предохранители и плавкие вставки в соответствии с формулой (5.1) и указываем их на плане дробной цифрой: числитель — ток предохранителя, знаменатель — ток плавкой ставки. Затем проверяем соответствие выбранных токов плавких вставок сечениям проводов, указанных на рис. 5.1.

Проверка показывает, что на участке *IV* – *V* провода должны иметь сечение 6 мм^2 или при сохранении сечения проводов равным 4 мм^2 у щитка *IV* на линии к щитку *V* должен быть установлен предохранитель с плавкой вставкой 15 А. На участке *II* – *VI* сечение проводов должно быть увеличено до 16 мм^2. На участке *VI* – *VII* по аналогии с участком *IV* – *V* должны быть приняты провода сечением 16 мм^2 или у щитка *VI* следует установить предохранитель с плавкой вставкой 15 А. Целесообразность сохранения сечения проводов на

участках *IV – V* и *VI – VII*, определенного расчетом по потере напряжения, обусловливается протяженностью этих участков. При длине подобных участков более 10 м установка дополнительных предохранителей в начале участков обычно экономически окупается.

5.2. КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В УСТАНОВКАХ С РАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

Если в схеме отсутствуют специальные компенсирующие конденсаторы, то коэффициент мощности комплекта люминесцентная лампа — ПРА при включении его в сеть весьма низок и находится в пределах 0,5 – 0,55. В схемах с последовательным включением двух ламп (например, ПРА типа 2АБЗ-40) коэффициент мощности достигает 0,7, а в двухламповых схемах, работающих по принципу "расщепленной фазы" (например, ПРА типа 2УБК-40), — 0,9 – 0,95.

При низком коэффициенте мощности увеличиваются токи в сети, что может потребовать увеличения сечения проводов, номинальных данных сетевых аппаратов и мощности трансформаторов. Несколько возрастают и потери в сети. По этим причинам ПУЭ до последнего времени требовали, чтобы уже в местах установки ламп коэффициент мощности повышался до 0,95.

В принципе возможна, однако, как индивидуальная компенсация реактивной мощности — непосредственно у ламп, так и групповая, когда конденсаторы устанавливаются у щитков и обслуживают целую группу ламп.

Групповая компенсация имеет определенные преимущества: групповые конденсаторы могут быть надежнее и долговечнее, чем используемые в настоящее время индивидуальные конденсаторы случайных типов, специально не предназначенные для данных условий применения. По результатам некоторых расчетов, групповая компенсация, кроме того, экономичнее индивидуальной.

Целесообразность применения той или иной системы компенсации подлежит дальнейшему изучению, причем решение вопроса будет зависеть, в частности, и от того, какие новые типы групповых и индивидуальных конденсаторов будут освоены промышленностью.

Пока же, когда в наших установках почти исключительно используются ПРА по двухламповой стартерной схеме, вопрос компенсации решается, так сказать, автоматически: те же конденсаторы, которые служат для создания в цепи лампы опережающего тока,

обеспечивают и повышение коэффициента мощности примерно до 0,92.

Для МГЛ и ламп ДРЛ применяется как индивидуальная, так и групповая компенсация реактивной мощности.

Комплект лампа ДРЛ — ПРА имеет коэффициент мощности около 0,57, что, как отмечено выше, может повести к утяжелению сети. Компенсация реактивной мощности может облегчить сеть, но, в свою очередь, связана с установкой сравнительно дорогих индивидуальных или групповых конденсаторов.

По имеющимся данным, для повышения коэффициента мощности до 0,9 – 0,95 в сетях 220 В, 50 Гц с дуговыми лампами необходимо установить конденсаторы следующих емкостей (на одну лампу):

Лампы мощностью, Вт	1000	750	500	250
Конденсаторы емкостью, мкФ	80	60	40	20

Конденсаторы такой емкости в настоящее время не выпускаются, что ограничивает применение индивидуальной компенсации. Из изготовляемых промышленностью наиболее подходящими являются металло-бумажные конденсаторы типа МБГО емкостью 10 мкФ, напряжением 600 В. Эти конденсаторы приходится соединять параллельно и устанавливать в стальных ящиках (например, для лампы 1000 Вт нужен ящик размерами 380 × 300 × 200 мм) совместно с разрядными сопротивлениями, обеспечивающими быстрый разряд конденсаторов после их отключения.

Разрядное сопротивление R определяется по формуле, Ом:

$$R \le 15 \cdot 10^6 \frac{U^2}{Q}, \qquad (5.5)$$

в которой реактивная мощность конденсатора Q, квар, находится по соотношению

$$Q = 2\pi f C U^2 \cdot 10^{-3}, \qquad (5.6)$$

где C — емкость конденсатора, мкФ; U — напряжение на зажимах конденсатора, кВ.

Для конденсатора типа МБГО емкостью 10 мкФ реактивная мощность Q равна 0,15 квар. Для ламп 1000 Вт может быть принято углеродистое лакированное сопротивление 620 000 Ом, для ламп 750 Вт — сопротивление 825 000 Ом.

В установках с групповой компенсацией необходимая мощность конденсатора Q может быть определена по формуле

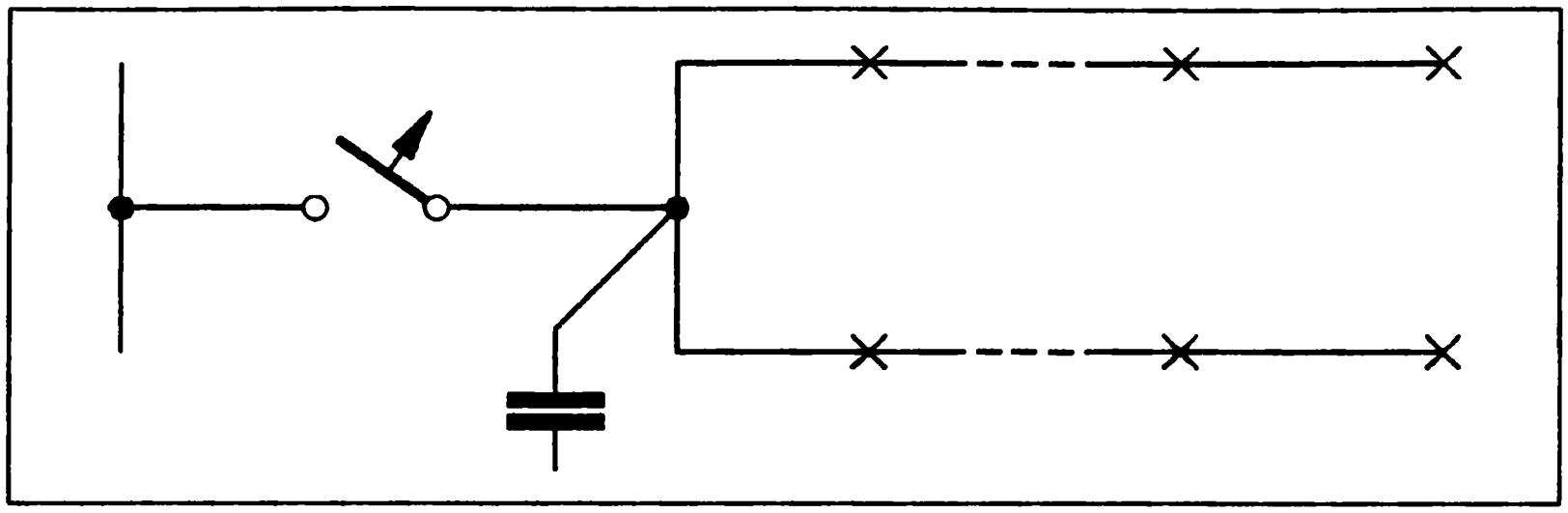

Рис. 5.2. **Возможная схема подключения групповой линии при компенсации коэффициента мощности на групповых линиях**

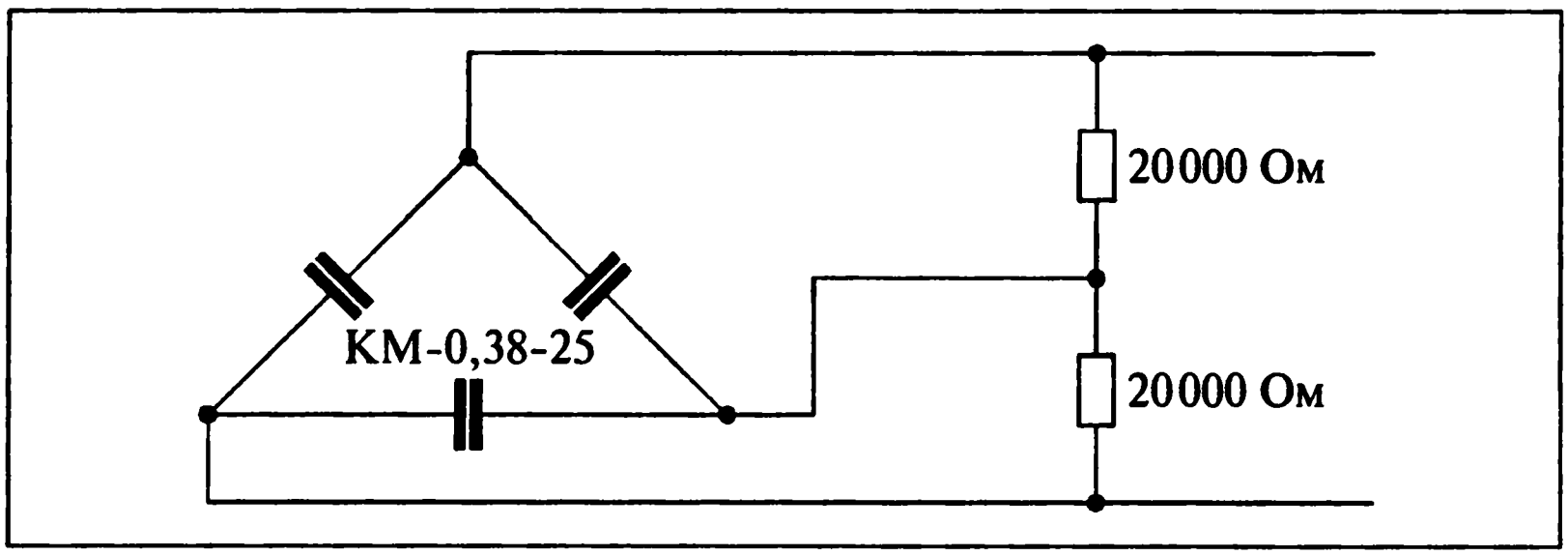

Рис. 5.3. **Схема включения разрядных сопротивлений с конденсатором КМ-0,38-25**

$$Q = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \qquad (5.7)$$

где P — установленная мощность, кВт, включая потери в ПРА; φ_1 и φ_2 — углы сдвига фаз, соответствующие желаемому (φ_2) и исходному (φ_1) значениям коэффициента мощности.

Для повышения коэффициента мощности с 0,57 до 0,95 на каждый 1 кВт установленной мощности требуются конденсаторы мощностью 1,1 квар. При групповой компенсации могут быть использованы бумажно-масляные трехфазные конденсаторы типа КМ-0,38-25, мощностью 25 квар, а также другие, меньшей мощности, например 10 квар.

Каждый конденсатор 25 квар достаточен для группы мощностью 22 кВт, включая потери в ПРА. Группы могут разветвляться за местом установки конденсаторов, как показано на рис. 5.2. Для линий с конденсаторами КМ-0,38-25 уставка расцепителя автомата не превышает 40 А, а ток каждой из параллельных линий — 36 А.

Разрядное сопротивление для конденсаторов КМ-0,38-25, подсчитанное по формуле (5.5), не должно превышать 87 000 Ом. На каждый конденсатор можно установить по одному трубчатому сопротивлению типа У1 мощностью 150 Вт, сопротивлением 40 000 Ом, с двумя секциями по 20 000 Ом, включаемыми по схеме рис. 5.3.

Конденсаторы вместе с сопротивлениями устанавливаются вблизи щитков в стальных шкафах, обычно по три — пять в одном шкафу. Размеры шкафа на пять конденсаторов 1250 × 1450 × 700 мм.

Групповую компенсацию реактивной мощности на подстанции можно осуществлять теми же конденсаторами КМ, собранными в батареи, и с применением вводных шкафов для их подключения к шинам подстанции.

Произведенные Тяжпромэлектропроектом сопоставительные расчеты показали, что вариант с компенсацией реактивной мощности на групповых линиях щитков экономически почти равноценен варианту без компенсации реактивной мощности. Однако некоторое предпочтение можно отдать варианту с компенсацией, имеющему дополнительные преимущества на высоковольтной стороне электроснабжения. Кроме того, во всех случаях, когда отсутствие компенсации приводит к необходимости увеличения мощности трансформатора, целесообразность компенсации бесспорна.

От компенсации реактивной мощности рекомендуется отказываться в случаях, когда к трансформатору подключена перекомпенсированная силовая нагрузка или когда имеется перекомпенсация на высоковольтной стороне электроснабжения предприятия.

Из сказанного видно, что вопрос компенсации реактивной мощности в сетях освещения нельзя решать изолированно от всего комплекса вопросов электроснабжения и без детального учета местных условий.

Можно добавить, что если питающие осветительные сети весьма коротки, то установка конденсаторов у групповых щитков почти не уменьшает затрату проводникового металла, хотя может привести к уменьшению числа групп. В зависимости от размеров цеха и требований к управлению освещением последнее обстоятельство может быть или не быть существенным.

Таким образом, в ряде случаев решение вопроса о необходимости и способах компенсации реактивной мощности в установках с лампами ДРЛ целиком входит в компетенцию электроснабженцев.

К вопросу о целесообразности индивидуальной компенсации реактивной мощности можно будет вернуться после разработки и освоения отечественной промышленностью специальных надежных конденсаторов для ламп ДРЛ, долговечных и недорогих; при

применении же конденсаторов типа МБГО или им подобных индивидуальная компенсация явно нецелесообразна. Однако всегда следует иметь в виду важное эксплуатационное преимущество установки конденсаторов в комплекте ПРА или вообще вблизи ламп, заключающееся в отключении конденсаторов одновременно с лампами.

Некоторые фирмы уже поставляют ПРА, в комплект которых входят компенсирующие конденсаторы. При надежной конструкции последних это, конечно, очень удобно.

5.3. ПРИМЕНЕНИЕ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК С РАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

Наличие ПРА заметно удорожает осветительные установки с разрядными лампами, усложняет их эксплуатацию, требует значительного дополнительного расхода цветных металлов и электроэнергии, а также приводит к усложнению конструкций светильников. Например, стоимость существующих ПРА превышает в несколько раз стоимость самих ламп, потери мощности в ПРА составляют 20 – 25 % мощности лампы, а удельный расход цветных металлов в них достигает 6 – 7 кг/кВт, т.е. в 2 – 3 раза превышает средний расход цветных металлов в осветительной сети.

Если учесть также и другие недостатки ПРА (неудовлетворительное зажигание ламп в стартерных схемах, малый срок службы стартеров, сокращение срока службы ламп в ряде схем, шум, радиопомехи и т.п.), то понятно то исключительное внимание, которое уделяется созданию рациональных ПРА. В настоящее время известно свыше тысячи различных схем и конструкций ПРА. Столь большое количество разработок подтверждает необходимость совершенствования существующих ПРА и указывает на трудность задачи и отсутствие достаточно хороших решений.

Несмотря на определенное различие всех упомянутых ПРА — как стартерных, так и бесстартерных (схемы быстрого и схемы мгновенного зажигания), комплексные технико-экономические показатели осветительных установок при применении всех этих схем достаточно близки. Совершенно иные, качественно отличные, показатели имеют осветительные установки при работе люминесцентных ламп на повышенной частоте.

Меньшее индуктивное сопротивление, необходимое при повышенной частоте, позволяет резко сократить габариты и массу ПРА, а также снизить его стоимость.

При частотах выше 800 Гц появляется возможность использования емкости в качестве балластного сопротивления, что еще больше упрощает и удешевляет ПРА. Показатели ПРА на повышенной частоте можно оценить лишь приближенно, поскольку промышленное производство их отсутствует. Однако на основании работ, проведенных МЭИ и ВНИСИ, а также зарубежных данных можно считать, что при частотах 400 – 850 Гц и 1000 – 3000 Гц потери мощности в ПРА составят соответственно 5 – 8 % и 3 – 4 % мощности лампы, масса цветных металлов уменьшится в 4 – 5 и в 6 – 7 раз, а стоимость ПРА снизится в 2 и 4 раза.

Большим преимуществом применения повышенной частоты следует считать увеличение при этом светового потока ламп и срока их службы. Рост световой отдачи не одинаков для ламп разной мощности и до частоты 600 – 800 Гц зависит также от типа примененного балластного сопротивления. В первом приближении можно считать, что световая отдача в среднем увеличивается на 7 % при частотах 400 – 1000 Гц и на 10 % при частотах 1500 – 3000 Гц. При больших частотах световая отдача продолжает возрастать.

Зависимость срока службы ламп от частоты тока исследована недостаточно. Для предварительных расчетов можно остановиться на среднем увеличении срока службы на 10 %, хотя уже указываются значения 25 – 35 %. Имеются также основания считать, что при повышенной частоте замедляется снижение светового потока ламп по мере их старения.

Весьма важно, что при повышении частоты резко ослабляется, а затем и полностью исчезает стробоскопический эффект.

Наконец, некоторые авторы указывают, что при высокочастотном люминесцентном освещении один и тот же светотехнический эффект может быть достигнут при освещенности в 1,5 раза меньшей, чем при частоте 50 Гц.

Основной недостаток применения разрядных ламп на повышенной частоте заключается в необходимости дорогостоящих преобразователей частоты, снижающих надежность действия осветительных установок и создающих дополнительные потери электроэнергии. В электрических сетях при повышенной частоте (особенно заметно при частотах более 1000 Гц) из-за возрастания поверхностного эффекта увеличивается потеря напряжения. С повышением частоты уменьшается также коммутационная способность защитных и отключающих аппаратов.

Неясна еще допустимость применения большого объема осветительных установок с частотой 10 000 Гц и выше вследствие создания

постоянных электромагнитных полей в непосредственной близости от людей.

Проблема применения повышенной частоты решается при применении электронных ПРА, которые позволяют не только избавиться от пульсаций светового потока, но и улучшить светотехнические характеристики и стабилизировать их во времени.

5.4. ВЫПОЛНЕНИЕ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Способы выполнения сети должны выбираться в зависимости от назначения помещения, места прокладки, условий среды и особенностей строительных конструкций. Правильная оценка этих факторов обеспечивает надежность действия осветительной установки, а также пожарную и электробезопасность.

Принимаемые решения по выполнению электрической сети непосредственно влияют на степень индустриализации электромонтажных работ и тем самым на сроки строительства, поэтому вопросам индустриализации должно уделяться особое внимание.

Осветительная сеть входит в общий комплекс технологических, санитарно-технических и электротехнических коммуникаций здания и должна быть теснейшим образом увязана с местами прокладки и способами выполнения всех этих коммуникаций, особенно с электросиловыми сетями.

При условии соблюдения технических требований обязательно должна учитываться экономичность различных видов проводок.

Ниже рассматриваются лишь основные решения по выполнению электрической сети, с которыми приходится встречаться при проектировании и устройстве осветительных установок, и не затрагиваются чисто электромонтажные вопросы (например, способы выполнения оконцеваний жил проводов и кабелей, последовательность выполнения монтажа и т.п.), подробно изложенные в специальной литературе и ведомственных инструкциях, а также не приводятся справочные данные, которые можно найти в разного рода справочниках.

Трасса сети. Трасса линий сети должна быть по возможности кратчайшей и вместе с тем обеспечивать удобство монтажа и обслуживания сети. Эти требования отчасти противоречивы, что заставляет искать компромиссные решения. Так, при прокладке по потолку трасса иногда может быть короче, но монтаж по стенам, несомненно, удобнее. Совмещение нескольких линий может вызвать увеличение расхода проводов, но их общая трассировка красивее, проще в монтаже и т.д.

Надо отметить, что во главу угла следует ставить, как правило, не удобство монтажа. выполняемого 1 раз, а эксплуатационные достоинства того или иного решения.

Нулевые провода нескольких групповых линий одного вида освещения, прокладываемых по общей трассе, часто целесообразно объединять, если только требования, предъявляемые к сечению объединенных нулевых проводов, не вызывают чрезмерного увеличения сечения общего нулевого провода. Не допускается объединение нулевых проводов рабочего и аварийного освещения, а также проводов, на которых установлены аппараты защиты.

Питание штепсельных розеток для переносных, ручных и настольных ламп при малом их числе (до четырех) рекомендуется осуществлять непосредственно от групповых линий рабочего освещения. При большом числе штепсельных розеток рекомендуется питать их отдельными группами от щитков.

При прокладке в стальных и других механически прочных трубах, рукавах, коробах, лотках и замкнутых каналах строительных конструкций зданий следует широко использовать разрешение ПУЭ на совместную прокладку:

а) цепей одного вида освещения с общим количеством проводов до восьми включительно;

б) цепей, питающих сложный светильник с любым числом проводов;

в) осветительных сетей напряжением до 36 В совместно с цепями напряжением до 500 В при условии заключения первых в отдельную изоляционную трубу.

Во всех случаях запрещается совместная прокладка в одной трубе, коробе или лотке цепей рабочего и аварийного освещения, а также любых взаиморезервируемых цепей.

Представляется целесообразным не относить это запрещение к случаю прокладки осветительных сетей в коробах, служащих одновременно для подвески светильников с люминесцентными лампами. Необходимую надежность можно в этом случае гарантировать конструктивными решениями коробов (разделение мест прокладки проводов рабочего и аварийного освещения) или заключением проводов аварийного освещения в дополнительную изоляционную трубку.

Влияние среды помещения на конструктивные решения осветительной сети. Среда помещения непосредственно воздействует на все элементы осветительной установки, в том числе на щитки, установочные изделия, проводки и крепежные конструкции. Во многих случаях это воздействие исключает возможность применения тех

Таблица 5.2. **Коррозионная стойкость неметаллических материалов**

Наименование материалов	Азотная кислота	Аммиак	Анилин	Ацетилен	Ацетон	Бензол	Бром	Дихлоэтан	Калий азотнокислый	Магний хлористый	Морская вода	Серная кислота	Сероводород	Соляная кислота	Фенол	Фтористоводородная кислота
Бетон:																
• кислотоупорный	⊗											⊗		⊗		●
• гидравлический	●	⊗				⊗	●		⊗	●	●	●	●	●		●
Графит и уголь	◑	⊗				⊗	●			⊗		●		⊗	⊗	⊗
Древесина	●	◑					●		◑	●	⊗	●		◑		⊗
Замазка кислотоупорная	⊗				⊗	⊗	◑			◑		⊗		●	⊗	●
Лаки:																
• кузбасский	⊗													⊗		
• масляный № 42													◑			
• перхлорвиниловый	◑		●		●	●		●				⊗		⊗		
Лигнофоль						●						⊗		⊗		⊗
Пластмассы:																
• винипласт	⊗	⊗	●		●		◑	●	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	◑	⊗
• гетинакс						⊗								⊗		
• полихролвинил	◑	◑	●			●	⊗			⊗		◑		⊗	◑	⊗
• полиэтилен	◑	⊗			⊗	⊗	●					⊗		⊗		⊗
• полистирол	⊗	◑			◑	●		●	⊗	⊗		⊗		⊗		⊗
• совиден	⊗	●			◑	◑			⊗	⊗		⊗	⊗	⊗		⊗
• текстолит	⊗				●	⊗				⊗	⊗	⊗		⊗		
• фаолит	⊗	◑	●		●	⊗	●			⊗		⊗	⊗	⊗	●	●
Резина (мягкая)	⊗	◑	●	●	⊗	●	●			⊗		⊗	◑	⊗		⊗
Стекло	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗			⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	●
Фарфор	⊗	⊗		⊗	⊗	⊗	⊗		⊗	⊗		⊗	⊗	⊗	⊗	●
Хлоропрен	⊗					◑		⊗	⊗			⊗	●	⊗		◑
Эбонит	⊗	⊗			⊗	⊗	●		⊗	⊗		⊗	⊗	⊗	●	⊗

Примечание. ⊗ — стойкие; ◑ — пониженностойкие; ● — нестойкие.

или иных проводок, изделий или конструкций, иногда требует дополнительных защитных покрытий или использования металлов большей толщины, учитывающей потерю от коррозии.

В табл. 5.2, по данным, собранным Г. А. Карвовским, приведены сведения о коррозионной стойкости неметаллических материалов, получивших наибольшее распространение в электрических установках. Следует иметь в виду, что данные этой таблицы относятся к нахождению материалов в растворах при температуре до 60 °С.

Поскольку в осветительных установках материалы могут подвергаться действию растворов чаще всего в виде брызг, паров или газовой среды при температуре до 40 °С, то фактические условия работы электрических устройств будут благоприятнее указанных в табл. 5.2. При отсутствии сведений о поведении материала в таблице сделан пропуск.

Дополнительно к данным табл. 5.2 следует отметить поведение эпоксидных смол и компаундов: они стойки в средах, в которых присутствуют аммиак, едкий и хлористый натрий, азотная, серная и соляная кислоты.

Коррозионная стойкость металлов часто определяется потерей массы образца за соответствующий промежуток времени, но для практических целей удобнее пользоваться глубинным показателем скорости коррозии. Массовая и глубинная скорости коррозии связаны следующим соотношением:

$$q = \frac{a\gamma}{8{,}76}, \qquad (5.8)$$

где q — потеря массы металла, г/(м^2 · ч); a — глубина коррозии, мм/год; γ — плотность металла, г/см^3.

Коррозионная стойкость металлов и их сплавов приведена в табл. 5.3.

При проектировании необходимо учитывать степень коррозии металлов, компенсируя ее увеличением толщины металла относительно расчетных параметров в размере $a\tau$, где τ — срок амортизации изделия в годах.

При пользовании табл. 5.3 следует иметь в виду, что скорость коррозии принималась по наиболее неблагоприятным данным при температуре агрессивной среды до 60 °С. Так же как и в табл. 5.2, при отсутствии сведений о поведении металла в какой-либо среде в графе сделан пропуск.

При выборе рода проводки приходится прежде всего учитывать условия среды, так как часто лишь небольшая часть проводок из все-

Таблица 5.3. **Коррозионная стойкость металлов и их сплавов**

Наименование материала	Азотная кислота	Аммиак	Анилин	Ацетилен	Бром	Водорода перекись	Железохлорнос	Калий хлористый	Магний хлористый	Морская вода	Серная кислота	Сернистый ангидрид	Сероводород	Соляная кислота	Углерода окись	Уксусная кислота	Фтористо-водородная кислота	Хлор
Алюминий		●	⊗	○		○		●	◑	●	◑	○	○	●	○	⊗	●	●
Алюминиекремнистый сплав			○			◑	●			●	◑					⊗		
Алюминиецинковый сплав			○								◑					◑		
Алюминиемагниевый сплав						⊗				⊗								
Бронза:																		
• алюминиевая										⊗	◑	⊗	⊗			◑		⊗
• кремнистая	●					⊗				⊗	◑					◑		⊗
• оловянистая	●		●	●						⊗	◑					◑		
• оловянно-цинковая	●									⊗	◑					◑		
• свинцовистая	●									⊗								
Кадмий	●	●								⊗								○
Латунь	●		●		●					⊗	◑							
Медь	●		●	●	●	●	●		●	⊗	◑	○			●	◑		●
Медно-никелевый сплав (нейзильбер)		●							⊗		◑			◑		⊗		⊗
Никель	◑	◑		○	⊗	◑	●		◑	⊗			◑	◑	●			◑
Нихром	⊗	◑	●	⊗	●	⊗			◑	○	◑		⊗	◑		⊗	◑	⊗
Олово	◑				●		●		◑	⊗		○	⊗	◑		◑		●
Свинец		⊗	⊗	⊗			●	⊗		⊗	⊗	○	⊗			◑	◑	⊗
Серебро		○		●	●			○	⊗		◑		◑	◑	⊗		⊗	⊗
Сталь:																		
• углеродистая Ст.1	●	⊗								⊗		●	⊗	●				
• углеродистая Ст.3	●									⊗	●	●						
• марганцовистая	●								⊗		●			●				
• хромистая	⊗	⊗			●	○	●	◑				●	⊗	●	○	◑	●	●
• хромоникелевая	⊗	⊗	⊗	⊗	●	⊗	◑	◑	⊗		●	⊗	⊗	◑	○	◑	●	●
Цинк				◑	●	●	○			⊗		●	⊗	●	○			●

Примечание. ○ — совершенно стойкие, весьма стойкие; ⊗ — стойкие, ◑ — пониженно стойкие, малостойкие; ● — нестойкие.

Таблица 5.4. **Выбор рода проводки в зависимости от условий среды**

Род проводки	Тип провода и условия прокладки	Характеристика помещения																	Наружные установки
		сухие		влажные	сырые	особо сырые	пыльные	с химически активной средой	пожароопасные				взрывоопасные						
		административно-бытовые	производственные						П-I	П-II	П-IIа	П-III	В-I	В-Iа	В-Iб	В-Iг	В-II	В-IIа	
Открытая на изолирующих опорах	ПРД на роликах	х	х	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	АПР на роликах	х	х	х	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	х
	АПР на изоляторах	–	+	+	+	+	х	+	х	х	х	х	–	–	–	–	–	–	+
	Неизолированные провода на изоляторах	–	х	х	х	х	–	х	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Открытая по поверхностям стен и потолков	АТПРФ	+	+	–	–	–	+	–	–	+	+	–	–	–	х	–	–	–	–
	АВРГ (в исключительных случаях)	х	х	х	+	+	+	+	+	х	х	х	–	х	+	–	–	х	х
	АНРГ	х	х	+	+	+	+	х	х	х	х	+	–	х	х	–	–	х	х
	АППВ и АПН	х	х	х	х	–	х	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	АПР в тонких металлоизоляционных трубках	+	+	–	–	–	х	–	–	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
	АПР и АПРТО в стальных трубках	+	+	+	+	х	+	х	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Скрытая	АППВ, АППВС и АПН в строительных конструкциях или под штукатуркой	+	+	+	х	–	х	–	х	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
	АПР в изоляционных бумажно-металлических трубках	х	х	х	–	–	х	–	х	х	х	–	–	–	–	–	–	–	–
	АПР в изоляционных трубках	х	х	–	–	–	х	–	–	х	х	–	–	–	–	–	–	–	–
	АПРТО в каналах строительных конструкций	+	+	х	х	–	х	–	–	х	х	–	–	–	–	–	–	–	–
	АПРТО в стальных трубах	х	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	х

Примечание. Используются следующие обозначения:
+ — рекомендуется; х — допускается, если это целесообразно по местным условиям; – — запрещается или применение нецелесообразно.

го их многообразия может быть рекомендована или допущена для конкретных условий.

Так, например, во взрывоопасных помещениях *исключается* любая открытая проводка незащищенными проводами на изолирующих опорах, из скрытых проводок может быть допущена только прокладка проводов в стальных трубах, а открытые проводки защищенными проводами по поверхностям строительных конструкций имеют ряд ограничений.

В сырых, особо сырых, пыльных, пожароопасных помещениях, а также в помещениях с химически активной средой *не допускается* прокладка незащищенных проводов на роликах; в пыльных и пожароопасных помещениях *запрещено* применение неизолированных проводов. *Нельзя* также прокладывать трубчатые провода (АТПРФ) по поверхностям и незащищенные провода АПР в любых изоляционных трубках как при скрытой, так и при открытой прокладке в помещениях с химически активной средой, особо сырых, сырых и влажных (во влажных помещениях из перечисленных видов проводок может быть допущена при ее целесообразности лишь скрытая прокладка АПР в изоляционных трубках) и т.п.

Все эти ограничения приведены в табл. 5.4, в которой даны рекомендации по выбору рода проводки в зависимости от условий среды.

В дополнение к рекомендациям табл. 5.4 необходимо учитывать следующие положения:

- в случаях, уже оговоренных выше, надо применять провода и кабели с медными жилами;
- в особо сырых помещениях и при наличии среды, агрессивной по отношению к резине, следует применять провода АПВ вместо проводов АПР и АПРТО при всех способах прокладки;
- в пожароопасных помещениях прокладку проводов АПР на изоляторах допускается применять лишь в местах, не доступных механическим повреждениям и удаленных от горючих материалов;
- прокладка проводов АТПРФ в пожароопасных помещениях классов П-II и $П\text{-}II_а$ и во взрывоопасных класса В-Iб, а также прокладка кабелей АНРГ, АВРГ, АСРГ во взрывоопасных помещениях классов В-Iа, В-Iб и $В\text{-}II_а$ допускается только при отсутствии механических и химических воздействий;
- прокладку провода АПР в наружных установках на роликах (обязательно больших) следует применять лишь в местах, где исключена возможность непосредственного попадания на проводку дождя и снега (например, под навесами), а на изоляторах — по стенам, конструкциям и для осуществления вводов в здания.

Весьма неблагополучно обстоит дело с применением проводок в помещениях с высокой температурой воздуха. Обычная резиновая изоляция в этих условиях быстро высыхает и стареет. Это обстоятельство может не иметь существенного значения лишь для участков, где может быть допущена прокладка неизолированных проводов и где токи утечки ограничиваются электрическим сопротивлением изоляторов. Во всех остальных случаях в помещениях или отдельных местах с высокой температурой необходимо применять провода с теплостойкой изоляцией, например провода с кремнийорганической резиновой изоляцией типа РКГМ, длительно выдерживающей температуру 180 °С, или провода с кембриковой изоляцией (СЛГ, ОЛГ, НЛГ), допускающей в течение длительного времени температуру 85 °С.

В отдельных случаях (например, теплофикационные туннели) вместо проводов с резиновой изоляцией успешно применялись кабели с обедненно-пропитанной бумажной изоляцией, допускающие более высокую температуру, чем провода и кабели с резиновой изоляцией.

При вынужденном применении проводов и кабелей с резиновой изоляцией в помещениях с высокой температурой необходимо стремиться к прокладке их в местах с относительно меньшей температурой и предусматривать увеличенное сечение проводов, чтобы сниженные токовые нагрузки не вызывали перегрева жил.

Применение стальных неизолированных проводов, как уже упоминалось, допускается только в наружных установках и в нормальных или влажных производственных и лабораторных помещениях.

Проводка в стальных трубах, весьма надежная в условиях почти любых сред, должна быть сильно ограничена требованием экономии стальных труб. Поэтому такие трубы можно применять лишь в случаях, когда по условиям среды или места прокладки иная проводка недопустима или явно нецелесообразна. При этом надо, как правило, использовать тонкостенные трубы, за исключением проводок в помещениях особо сырых, с химически активной средой, взрывоопасных и в наружных установках, где должны применяться стальные водогазопроводные трубы.

В стальных трубах должны прокладываться специально предназначенные для этого провода. Применение проводов АПР в стальных трубах можно считать целесообразным лишь при открытой прокладке труб в сухих или влажных невзрыво- и непожароопасных помещениях.

Для прокладки проводов непосредственно в толще строительных конструкций или в штукатурке (замоноличивание проводов), а так-

же непосредственно (без каких-либо защитных трубок) в каналах строительных конструкций должны применяться специально предназначенные или разрешенные для этого провода. В настоящее время такими проводами являются АППВ, АППВС и АПН.

Исполнение щитков, аппаратов и установочных изделий должно соответствовать условиям среды помещений. В частности, изделия с корпусами нужной механической прочности, нормального защищенного исполнения могут надежно эксплуатироваться только во влажных или сухих непыльных помещениях. Для пыльных помещений необходимо пылезащищенное (закрытое) исполнение изделий, а для сырых — влагостойкое.

Щитки, аппараты, выключатели и штепсельные розетки в помещениях особо сырых и с химически активной средой устанавливать, как правило, *не следует*.

Список литературы

1. **Правила** устройства электроустановок. 7-е изд. Разд 6. М.: Издательство НТЦ ЭНАС, 1999. С. 5 – 19.
2. **Справочная** книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. М.: Энергоатомиздат, 1995.
3. **Справочная** книга электрика. М.: Колос, 2004.
4. **Мешков В. В., Епанешников М. М.** Осветительные установки. М.: Энергия, 1982.
5. **Естественное**, искусственное и совмещенное освещение / МГСН 2.06-99. М.: ГУП НИАЦ, 1999.
6. **Гжонковский Я.** Возможности экономии электрической энергии на освещение в Польше // Светотехника. 2002. № 2. С. 14 – 17.
7. **DALI** Technical Guide. OSRAM, 2003.

Содержание

Часть 1

Предисловие 3

Список сокращений 5

ГЛАВА ПЕРВАЯ. **Осветительные установки как элемент системы электроснабжения** 6

1.1. Термины и определения 6
1.2. Общие требования к осветительным установкам 11
1.3. Постоянство напряжения у источников света 13
1.4. Влияние источников света на показатели качества электроэнергии 19
1.5. Учет влияния токов высших гармоник в сетях, питающих разрядные лампы 22

ГЛАВА ВТОРАЯ. **Схемы распределения электроэнергии в осветительных установках** 24

2.1. Принципы построения схем электроснабжения осветительных установок 24
2.2. Групповые сети 26
2.3. Источники питания осветительных сетей 28
2.4. Построение осветительной сети 32

ГЛАВА ТРЕТЬЯ. **Расчет осветительных сетей**. 36

3.1. Требования к осветительным сетям 36
3.2. Специфика осветительных сетей 39
3.3. Расчет двухпроводных сетей переменного тока 40
3.4. Расчет четырехпроводных (трехфазных) равномерно нагруженных сетей переменного тока 45
3.5. Расчет трехпроводных (двухфазных) сетей переменного тока 48
3.6. Расчет электрических осветительных сетей на минимум проводникового материала 50

3.7. Расчет проводов по условиям нагревания и проверка на механическую прочность 53
3.8. Типы систем заземления и защитные меры при выполнении осветительных сетей 57

Список литературы 61

Часть 2

Предисловие 67

Список сокращений 69

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ. **Устройство и эксплуатация осветительных сетей** 70

4.1. Выполнение осветительных сетей 70
4.2. Управление освещением 77
4.3. Защита от поражения электрическим током 85

ГЛАВА ПЯТАЯ. **Защита осветительных сетей** 92

5.1. Выбор коммутационно-защитной аппаратуры 92
5.2. Компенсация реактивной мощности в установках с разрядными лампами 98
5.3. Применение повышенной частоты для осветительных установок с люминесцентными лампами 102
5.4. Выполнение осветительных сетей 104

Список литературы 113

Библиотечка электротехника
Приложение к производственно-массовому журналу "Энергетик"

АНЧАРОВА ТАТЬЯНА ВАЛЕНТИНОВНА

Осветительные сети производственных зданий
(Часть 2)

АДРЕС РЕДАКЦИИ:
115280, Москва, ул. Автозаводская, 14/23
Телефоны: (495) 675-19-06, тел. 675-00-23 доб. 22-47; факс: 234-74-21

Научный редактор **А. М. Александров**
Редакторы: **Л. Л. Жданова, Н. В. Ольшанская**
Худож.-техн. редактор **Т. Ю. Андреева**
Корректор **Е. П. Севостьянова**

Сдано в набор 20.01.08. Подписано в печать 25.03.08.
Формат 60×84 1/16. Печать офсетная.
Печ. л. 3,25. Заказ БЭТ/03(111)-2008
Макет выполнен издательством "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.
Отпечатано типографией издательства "Фолиум": 127238, Москва, Дмитровское ш., 58.