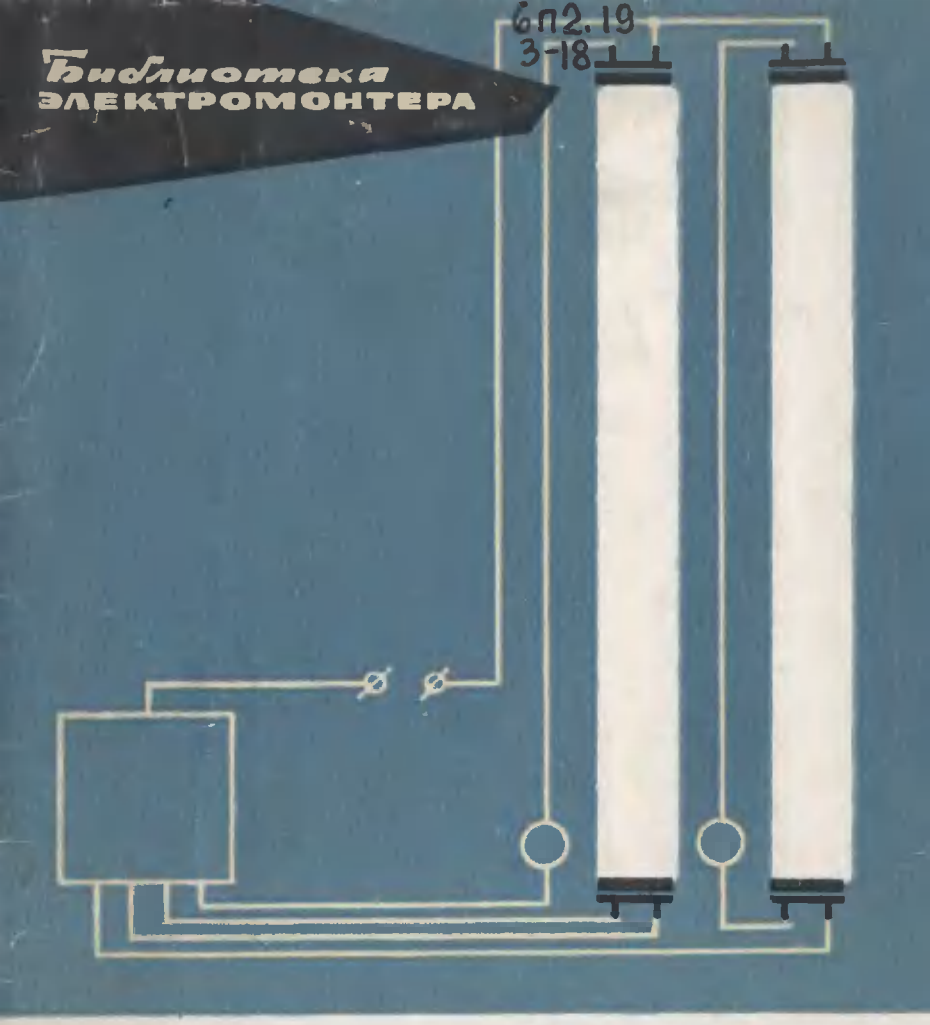
6П2.19
3-18

Библиотека электромонтера



С. М. ЗАК

МОНТАЖ СВЕТИЛЬНИКОВ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

С 1297493

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

6П2.19
3-18

Выпуск 162

С. М. ЗАК

МОНТАЖ СВЕТИЛЬНИКОВ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большам Я. М., Васильев А. А., Долгов А. Н., Ежков В. В., Каминский Е. А., Мадрыкин С. А., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

УДК 621.757:537.54(04)
З 18

с 1227493

В практике освещения промышленных и общественных зданий газоразрядные светильники находят широкое применение.

В брошюре дается понятие об их устройстве.

Рассматриваются вопросы монтажа, заготовки блоков в монтажно-заготовительном участке, проверки люминесцентных ламп и пускорегулирующих устройств.

Приведены особенности фазировки.

Брошюра предназначена для электромонтеров и мастеров, занятых на монтаже и эксплуатации светильников и газоразрядных ламп.

Зак Самуил Маркович. **Монтаж светильников с газоразрядными лампами.**
Тематический план 1965 г., № 164
М.—Л., изд-во „Энергия", 1965 г. 64 с. с черт. (Библиотека электромонтера. Вып. 162)

Редактор *Е. А. Каминский* Техн. редактор *Н. А. Бульдяев*

Сдано в набор 27/II 1965 г. Подписано к печати 23/IV 1965 г.
Т-06504 Формат бумаги 84×108¹/₃₂ Печ. л. 3,28 Уч.-изд. л. 3,28
Тираж 17 000 экз. Цена 11 коп. Заказ 143

Московская типография № 10 Главполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по печати. Шлюзовая наб., 10.

Государственная публичная библиотека им. В. Г. Белинского г. Свердловск

ВВЕДЕНИЕ

Люминесцентное освещение с каждым днем находит все более широкое применение, вытесняя в ряде случаев лампы накаливания. Поэтому электромонтеры должны иметь достаточно ясные и подробные сведения об его особенностях. Эти особенности сводятся в основном к следующим:

1. Люминесцентные лампы не могут непосредственно включаться в электросеть: в схему обязательно должна включаться пускорегулирующая аппаратура.

2. Для зажигания люминесцентной лампы (в отличие от лампы накаливания) требуется некоторое время.

3. Люминесцентная лампа в сети переменного тока загорается и гаснет 100 раз в секунду. Это, во-первых, неблагоприятно отражается на зрении, во-вторых, в ряде случаев может привести к очень опасному явлению — стробоскопическому эффекту (вращающиеся предметы могут казаться неподвижными либо вращающимися медленнее, чем на самом деле, либо вращающимися в обратную сторону).

Для предохранения зрения применяются специальные схемы включения и принимаются меры, предотвращающие стробоскопический эффект.

4. Люминесцентные лампы, включенные в электрическую сеть, создают помехи радиоприему, которые снижаются при соответствующем включении конденсаторов.

5. Пускорегулирующая аппаратура резко ухудшает коэффициент мощности и поэтому ее недопустимо применять без конденсаторов, повышающих коэффициент мощности.

6. Пускорегулирующая аппаратура вызывает дополнительные потери в электрических сетях и трансфор-

маторах. Даже при равномерной нагрузке всех фаз люминесцентными лампами по нулевому проводу проходит значительный ток, из-за чего проводимость обычных нулевых проводов оказывается недостаточной и приходится принимать специальные меры.

7. Аппаратура для включения люминесцентных ламп сложнее, чем аппаратура ламп накаливания, и ее монтаж имеет ряд особенностей.

В «Библиотеке электромонтера» выпущена серия брошюр, посвященная вопросам люминесцентного освещения. Схемы включения люминесцентных ламп описаны в брошюре Н. В. Волоцкого (вып. 68). Применению газоразрядных источников света посвящена брошюра Д. Я. Малкина (вып. 112). О светильниках для люминесцентных ламп рассказано в брошюре Ю. Б. Айзенберга (вып. 142). Пускорегулирующая аппаратура рассмотрена в брошюре М. И. Фугенфирова (вып. 148).

Настоящая брошюра завершает серию. В ней приведены данные испытаний нагрузок сетей, питающих люминесцентные лампы при наиболее распространенных схемах включения, и на их основании даны необходимые рекомендации.

Рассматривается система фазировки ламп, исключающая стробоскопический эффект. Подробно освещена технология монтажа люминесцентного освещения.

1. ЯВЛЕНИЯ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Физические явления, происходящие при разряде в газовой среде при приложении постоянного напряжения к электродам, впаянным в стеклянную трубку (тлеющий разряд). Тлеющий разряд удобно наблюдать при пониженном давлении газа. Если к электродам, впаянным в стеклянную трубку длиной 30—50 *см*, приложить постоянное напряжение в несколько сот вольт и затем постепенно откачивать воздух из трубки, то наблюдаются следующие явления. При атмосферном давлении приложенное напряжение недостаточно для пробоя газа и трубка остается темной. При уменьшении давления газа в некоторый момент в трубке возникает разряд, имеющий вид светящегося шнура, соединяющего анод

и катод трубки. При дальнейшем уменьшении давления этот шнур расширяется и заполняет все сечение трубки. При давлении 0,1—0,01 *мм рт. ст.* разряд имеет вид, изображенный на рис. 1,*а*.

Непосредственно к катоду прилегает тонкий светящийся слой (катодная пленка) *1*, за которым следует темный слой *2*, получивший название катодного темного пространства. Это темное пространство затем переходит

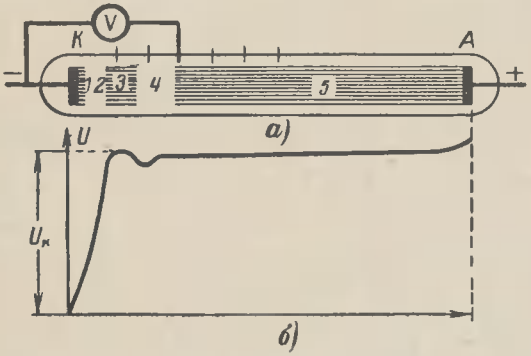


Рис. 1. Тлеющий разряд.

в светящий слой (тлеющее свечение) *3*, который имеет резкую границу со стороны катода и постепенно исчезает со стороны анода. За тлеющим свечением наблюдается опять темный промежуток *4*, называемый вторым темным пространством. Указанные части называются катодными частями разряда. За вторым темным пространством лежит светящаяся область *5*, простирающаяся до анода, или положительный столб.

Характерным для тлеющего разряда является особое распределение потенциала по длине трубки. Его можно определить, впаивая в трубку ряд дополнительных электродов, расположенных в различных местах трубки, и присоединяя между катодом и соответствующим электродом вольтметр *V*. Тогда получается кривая распределения потенциала, изображенная на рис. 1,*б*. Она показывает, что почти все падение потенциала в разряде приходится на область катодного темного пространства. Эта разность потенциалов между катодом и границей тлеющего свечения получила название катодного падения потенциала.

Рассмотренные свойства тлеющего разряда приводят к следующей картине процессов, поддерживающих разряд. Положительные ионы, образующиеся в результате ионизации электронными ударами, движутся к катоду и, проходя через область катодного падения потенциала, приобретают значительную энергию. Под действием интенсивной бомбардировки положительными ионами с катода вылетают электроны, которые движутся к аноду. Эти электроны в области катодного падения потенциала сильно ускоряются и при последующих соударениях с атомами газа их ионизируют. В результате этого опять появляются положительные ионы, которые снова, устремляясь на катод, производят новые электроны и т. д.

Таким образом, основными процессами, поддерживающими разряд, являются ионизация электронными ударами атомов газа и ионными ударами катода, из которого вылетают электроны: общий поток электронов в газовой среде увеличивается.

Распределение концентраций положительных ионов и электронов в различных частях разряда весьма неодинаково. Так как положительные ионы движутся гораздо медленнее, нежели электроны, то у катода концентрация ионов значительно больше, чем концентрация электронов. Поэтому вблизи катода возникает сильный положительный заряд, который и вызывает появление катодного падения потенциала. Напротив, в области положительного столба концентрации положительных ионов и электронов почти одинаковы и здесь заряд отсутствует. Благодаря большой концентрации электронов положительный столб обладает хорошей электропроводностью, и поэтому падение напряжения на нем мало. В положительном столбе положительные ионы, соединяясь с электронами, превращаются в нейтральные атомы. Этот процесс, называемый рекомбинацией ионов, сопровождается свечением.

Если к электродам трубки приложить переменное напряжение, будет наблюдаться пульсация светового потока, так как полярность электродов непрерывно меняется.

В настоящее время тлеющий разряд широко используют в качестве источника света в различных газосветных трубках.

Принцип действия люминесцентных ламп. Люминесцентная лампа представляет собой запаянную с двух сторон стеклянную трубку, на внутреннюю часть которой нанесен слой люминофора — вещества, светящегося под действием ультрафиолетовых лучей. В торцы трубки впаяны два электрода. Воздух из трубки удален и вместо него введено небольшое количество аргона и капля ртути, которые при работе лампы превращаются в пары (аргон облегчает создание электрического разряда). Приложенное к электродам лампы переменное напряжение вызывает электрический разряд между электродами люминесцентной лампы и прохождение тока в парах ртути и аргона, наполняющих трубку. Электрод, с которого в данный момент происходит выделение потока электронов, называется катодом. Эмиссия (испускание) электронов в люминесцентной лампе происходит при нагреве катода до достаточно высокой температуры и поэтому называется термоэлектронной.

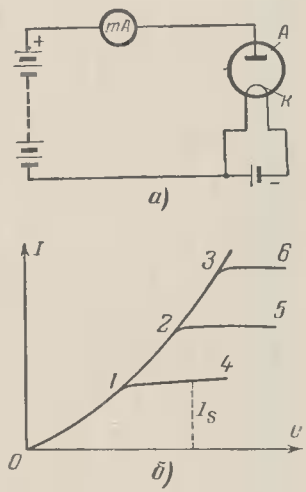


Рис. 2. Наблюдение термоэлектронной эмиссии. Вольт-амперная характеристика электронной лампы

Термоэлектронная эмиссия может наблюдаться в пустотной лампе с двумя электродами: катодом K из тугоплавкого материала (вольфрам , молибден) и анодом A. При холодном катоде тока в цепи нет (рис. 2,*а*), так как сильно разреженный газ внутри лампы не содержит заряженных частиц, и поэтому электропроводность лампы равна нулю. Если же раскалить катод при помощи дополнительного источника тока до высокой температуры, то миллиамперметр mA обнаружит ток, причем ток в цепи появляется только в том случае, если положительный полюс источника напряжения соединен с анодом A, а отрицательный — с катодом K. Если же изменить полярность, то тока в цепи не будет, как бы

сильно ни раскалялся катод. Это обстоятельство показывает, что катод испускает отрицательные частицы, т. е. электроны.

Термоэлектронный ток зависит от разности потенциалов между анодом и катодом и от температуры катода. При увеличении положительного потенциала анода от нуля ток возрастает в соответствии с кривой *0—1* (рис. 2,*б*) и при возрастании анодного напряжения при одной и той же температуре катода достигает некоторого максимального значения I_s, называемого током насыщения, т. е. перестает зависеть от анодного напряжения (участок кривой *1—4*).

При увеличении температуры катода характеристики идут свыше: *0—1—2—5*, *0—2—3—6* и т. д. Различными при разных температурах оказываются значения тока насыщения I_s, быстро увеличиваясь при возрастании температуры катода. Таким образом, вольт-амперная характеристика электронной лампы нелинейна.

Если нагрев катода достаточен для появления термоэлектронной эмиссии, поддерживающей газовый разряд в лампе, который создается рабочим током лампы, такой разряд называют самостоятельным. Если нагрев катода вызывается энергией постороннего источника — разряд называют несамостоятельным. В схемах включения люминесцентных ламп применяется преимущественно несамостоятельный разряд.

Получение максимальной и наиболее экономичной термоэлектронной эмиссии зависит от температуры, материала и формы поверхности катода. Катод изготовляется из вольфрамовой нити, свернутой в небольшую спираль. Спираль покрыта углекислыми солями бария и стронция, превращающимися в процессе обработки в так называемый оксид. Оксидная пленка, покрывающая электрод, увеличивает способность излучения электронов и облегчает зажигание лампы при более низком напряжении.

2. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ

Для возникновения разряда в лампе необходимо: либо в момент включения подогреть ее электроды, либо создать временное повышение напряжения на электро-

дах, либо использовать оба эти приема. Соответственно различают три группы схем: а) импульсного зажигания (прогреваются электроды и создается мгновенный импульс напряжения); б) быстрого зажигания (сильно разогреваются электроды и незначительно повышается напряжение); в) мгновенного зажигания (резко повышается напряжение без подогрева электродов). Наиболее распространена схема импульсного зажигания, на которой мы подробно остановимся ниже.

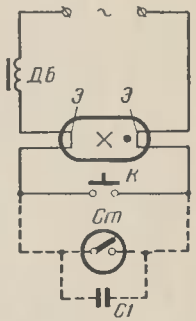


Рис. 3. Простейшая схема импульсного зажигания.

Прежде чем перейти к рассмотрению схем включения люминесцентных ламп, необходимо подчеркнуть следующее. Чтобы зажечь лампу, нужно на время зажигания повысить напряжение на ее электродах, а после зажигания — снизить напряжение. Это объясняется особенностями газового разряда. Дело в том, что при включении лампы возникает начальная ионизация: газовая среда приобретает некоторую проводимость и в лампе возникает небольшой ток. Наличие тока увеличивает степень ионизации, т. е. уменьшает сопротивление лампы, что в свою очередь приводит к увеличению тока. Если этот процесс не ограничить, то ток достигнет недопустимо большой величины и лампа выйдет из строя.

Обе задачи, т. е. повышение напряжения на время зажигания и снижение напряжения на горящей лампе, решаются с помощью индуктивного балластного сопротивления — дросселя *ДБ*, который включают последовательно с лампой, как показано на рис. 3. Действительно, при замыкании кнопки *К* ток проходит через дроссель и электроды *Э* и разогревает их: электроды начинают испускать электроны. Затем кнопку размыкают: ток в дросселе резко снижается. При уменьшении тока согласно закону Ленца в дросселе возникает кратковременное значительное напряжение, стремящееся поддержать исчезающий ток. Это напряжение самоиндукции складывается с напряжением сети, в результате чего к электродам оказывается приложенным импульс напряжения большей величины, чем напряже-

ние сети. Под действием этого импульса в лампе возникает разряд в аргоне: лампа начинает разогреваться.

Под действием тепла испаряется капля ртути и создает в лампе ртутные пары, ионизирующиеся значительно легче аргона, поэтому в дальнейшем разряд происходит в ртутных парах.

Когда лампа горит — через дроссель снова проходит значительный переменный ток. Поэтому в дросселе индуктируется э. д. с. самоиндукции, но теперь она направлена навстречу напряжению сети, и, следовательно, вычитается из него. В результате на лампу приходится уже не полное напряжение сети, а разность между ним и напряжением самоиндукции. Дроссель является своеобразным автоматическим регулятором тока и не дает току безгранично возрастать, как это имело бы место при непосредственном включении люминесцентной лампы в сеть.

В схеме импульсного зажигания вместо кнопки обычно применяется пускатель, называемый стартером *Ст* (см. пунктир на рис. 3). Стартер представляет собой миниатюрную газоразрядную неоновую лампочку с параллельно подсоединенным к ней конденсатором *С1* емкостью 0,007—0,01 *мкф*, который служит для уменьшения радиопомех, создаваемых лампой. Неоновая лампочка и конденсатор помещены в пластмассовый или металлический цилиндрический корпус. Один из электродов стартера неподвижен, другой — изгибается при нагреве. В нормальном состоянии электроды стартера разомкнуты.

В момент включения к электродам лампы и стартера прикладывается полное напряжение сети, так как тока в цепи нет и потеря напряжения в дросселе равна нулю. Пока электроды лампы еще не нагреты, напряжение сети недостаточно для зажигания лампы, но в стартере уже возникает разряд. Ток разряда нагревает электроды стартера: биметаллическая пластина изгибается, контакт замыкается. В результате ток в цепи возрастает и быстро разогревает электроды люминесцентной лампы.

При замыкании контакта в стартере разряд в нем гаснет, так как между электродами нет более зазора. Поэтому выделение тепла прекращается, биметаллический электрод распрямляется. При размыкании контакта стартера возникает импульс повышенного напряжения:

лампа зажигается. А когда лампа уже горит — напряжение и на ее электродах и на электродах стартера уже снижено. Поэтому повторный разряд в стартере возникнуть не может.

Повышение коэффициента мощности. Индуктивное балластное сопротивление (дроссель) резко снижает коэффициент мощности, который обычно не превышает 0,5. Поэтому при значительном количестве люминесцентных ламп нужно повышать коэффициент мощности, включая компенсирующие конденсаторы. Одна из схем с компенсацией показана на рис. 4.

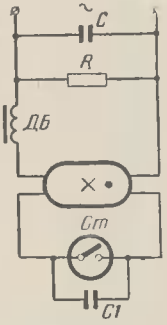


Рис. 4. Включение компенсирующего конденсатора.

Для получения $\cos\varphi=0{,}9—0{,}95$ для ламп 21—80 *вт* нужны конденсаторы емкостью $C=3—6$ *мкф*. Обычно применяются конденсаторы серии КБГ (конденсаторы бумажные герметизированные) на рабочее напряжение 400 *в* и пробивное напряжение 1 500 *в*.

Для снятия остаточного заряда конденсатора после отключения схемы, а также, чтобы предохранить конденсатор от пробоя импульсом зажигающего напряжения включают шунтирующее сопротивление R типа ВС величиной 0,8—1,0 *Мом*, мощностью 0,5 *вт*.

Отечественной промышленностью выпускаются готовые устройства с дросселем и компенсирующими конденсаторами.

3. ОСОБЕННОСТИ ФАЗИРОВКИ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

В лампе, питаемой переменным током 50 *гц*, ток меняет направление 100 раз в секунду, т. е. 100 раз в секунду лампа зажигается и гаснет. Кроме того, в течение каждого полупериода, равного 1/100 *сек*, ток и световой поток изменяются во времени, достигая сначала максимума, а затем спадая до нуля. В силу остаточного свечения люминофора эти пульсации несколько сглаживаются, но все же световой поток значительно изменяется, снижаясь иногда до 55% максимальной величины. Благодаря зрительной инерции органов зре-

ния мы не замечаем пульсации света с частотой 100 раз в секунду. Но при рассматривании быстро движущихся или вращающихся деталей пульсация светового потока люминесцентных ламп опасна и действует неприятно, искажая действительную картину движения предметов.

Сущность стробоскопического эффекта можно пояснить на следующих примерах. Пусть вращающийся предмет за время погасания лампы успевает сделать полное число оборотов. Это значит, что при каждом очередном освещении мы будем видеть предмет в одном и том же положении и сделаем вывод, что он неподвижен. Если вращающийся предмет успевает за время погасания совершить чуть более полного оборота, то наблюдатель увидит медленное вращение (каждый раз на небольшую долю оборота). И, наконец, если предмет за время погасания делает немного меньше полного оборота, то предмет будет казаться вращающимся в обратную сторону. В некоторых случаях движение предмета в пульсирующем потоке люминесцентных ламп кажется скачкообразным. Но даже при отсутствии стробоскопического эффекта пульсация светового потока отрицательно сказывается на зрении и состоянии центральной нервной системы, снижая общую работоспособность человека. Поэтому для уменьшения величины пульсации светового потока люминесцентных ламп применяются специальные меры.

Ленинградский институт гигиены труда и профзаболеваний производил изучение влияния пульсации светового потока на работоспособность людей непосредственно на производстве и в условиях лабораторного эксперимента. Исследования проводились при разных вариантах включения люминесцентных ламп.

1-й вариант — люминесцентные лампы включены в одну фазу сети переменного тока; глубина изменения светового потока в этом случае равна 55%.

2-й вариант — люминесцентные лампы включены на две фазы сети переменного тока; глубина изменения светового потока составляла 25%.

3-й вариант — люминесцентные лампы включены на три фазы сети; глубина изменения светового потока составляла только 5%.

Проведенные наблюдения показали, что глубокие изменения светового потока оказывают неблагоприят-

ное действие на организм человека, вызывают снижение общей работоспособности организма, а следовательно, снижают производительность труда. Питание люминесцентных ламп от сети трехфазного тока при условии правильной расфазировки и определенной последовательности их присоединения практически почти полностью устраняет пульсации светового потока.

Примерная расфазировка и последовательность присоединения люминесцентных ламп, расположенных рядами и питающихся от сети трехфазного тока, дана на рис. 5. Расположенные рядом лампы, как в продольном, так и в поперечном направлениях, подсоединены к разным фазам сети переменного тока со сдвигом в 120°. Подобное присоединение ламп к трехфазной сети снижает колебание светового потока и практически исключает возможность стробоскопического эффекта.

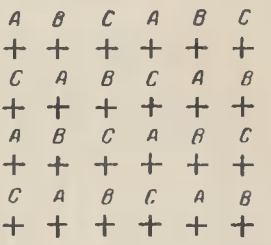


Рис. 5. Расфазировка и последовательность присоединения люминесцентных ламп (обозначены знаком «+»). Буквы *A, B, C* — фазы питающей сети трехфазного тока.

К сожалению электромонтажники не всегда уделяют этому вопросу достаточное внимание и не придерживаются правил фазировки и присоединения ламп, что нередко ведет к дополнительным затратам по частичному перемонтажу осветительной сети.

4. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП С ИМПУЛЬСНЫМ ЗАЖИГАНИЕМ

Антистробоскопическая схема однофазного питания. В § 3 показано, что при большом количестве люминесцентных ламп, присоединенных надлежащим образом к сети трехфазного тока, стробоскопический эффект практически исчезает. Однако во многих случаях приходится пользоваться единичными лампами и присоединять их к однофазным сетям. Для снижения стробоскопического эффекта в этих условиях применяют две лампы, включая их по схеме на рис. 6

Особенности этой схемы состоят в следующем: а) погасания ламп не совпадают по времени: в момент наибольшего погасания одной лампы — световой поток другой достаточно велик, поэтому обе лампы совместно обеспечивают более равномерное освещение; б) коэффициент мощности каждой из ламп низок, но коэффициент мощности обеих ламп достаточно высок.

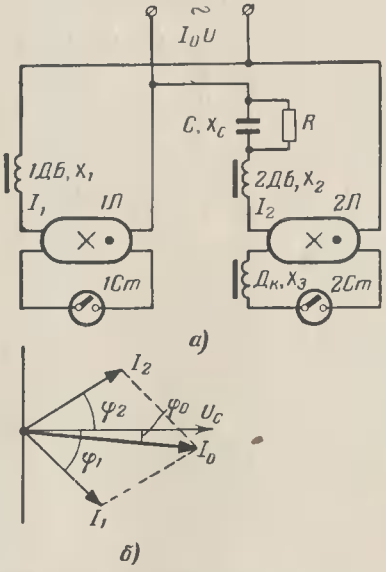


Рис. 6. Двухламповая антистробоскопическая схема с высоким коэффициентом мощности.

Лампа *1Л* (рис. 6,*а*) включена последовательно с балластным дросселем *1ДБ* со значительным индуктивным сопротивлением X_1. Ток этой лампы I_1 отстает от напряжения U сети на угол φ_1 (рис. 6,*б*). Лампа *2Л* включена последовательно с балластным дросселем *2ДБ* и конденсатором C, сопротивление которого X_C значительно (примерно вдвое) превышает индуктивное сопротивление дросселя X_2. Поэтому ток I_2 имеет емкостный характер, т. е. опережает напряжение сети на угол φ_2 (рис. 6,*б*). Общий ток I_0 представляет собой геометрическую сумму токов I_1 и I_2.

Из векторной диаграммы на рис. 6,*б* видно следующее: а) токи I_1 и I_2 сдвинуты на угол φ_1 и φ_2, т. е. достигают максимальных значений не одновременно, что и требуется для создания более равномерного освещения и уменьшения стробоскопического эффекта; б) общий ток I_0 отстает от напряжения U на угол φ_0, значительно меньший чем углы φ_1 и φ_2. Значит, коэффициент мощности обеих ламп достаточно высок.

Из предыдущего (§ 2) известно, что для образования зажигающего импульса в цепь лампы должно быть

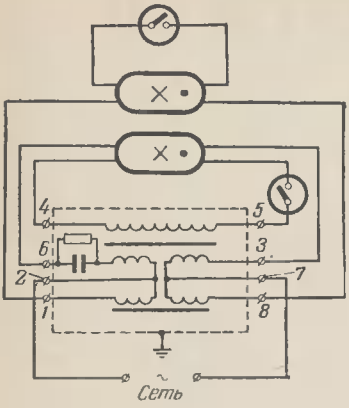


Рис. 7. Схема антистробоскопического устройства типа ОД-2-40.

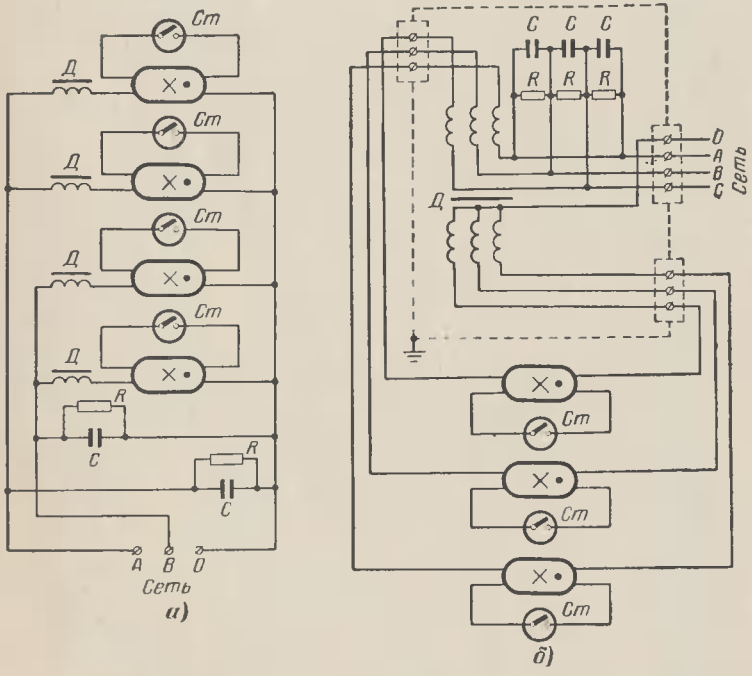


Рис. 8. Схемы компенсирующих люминесцентных светильников.
а — типа ВЛС-4×80; *б* — ВЛС-3×80; *С* — конденсаторы, *R* — разрядные сопротивления; *Ст* — стартеры; *Д* — дроссели.

введено индуктивное сопротивление. Для лампы *1Л* это требование выполняется дросселем *1ДБ*. Для обеспечения перед зажиганием лампы *2Л* нормального накала ее электродов уменьшают общую величину сопротивления. Это достигается введением в цепь дополнительного индуктивного сопротивления в виде второго дросселя $Д_к$. Такое включение частично компенсирует емкостное сопротивление цепи, уменьшая величину полного сопротивления, в результате ток возрастает.

Для предотвращения пробоя конденсатора *С* и снятия с него заряда при отключении схемы служит шунтирующее сопротивление $R=0{,}5 \div 1$ *Мом* мощностью 0,5 *вт*.

Схемы с компенсирующими устройствами. Отечественная промышленность выпускает готовые устройства для подключения ламп по антистробоскопической компенсированной схеме. Одна из таких схем — светильник типа ОД-2-40 Кемеровского совнархоза — показана на рис. 7.

Латвийский совнархоз выпускает компенсирующие люминесцентные светильники типа ВЛС-4Х80 с четырьмя лампами мощностью по 80 *вт* каждая (рис. 8,*а*), а также типа ВЛС-3Х80 с тремя лампами мощностью по 80 *вт* каждая (рис. 8,*б*).

Для повышения $\cos\varphi$ на схеме на рис. 8,*а* параллельно к каждой паре дросселей *Д* включается компенсирующая емкость *С* между фазовыми и нулевым проводами. На схеме на рис. 8,*б* компенсирующие емкости включены в треугольник.

5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ УСТРОЙСТВ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ЛАМПАМИ

Продолжительность горения люминесцентных ламп определяется режимом работы ее электродов, временем, в течение которого люминофор сохраняет способность достаточно хорошо светиться под действием ультрафиолетовых излучений, и долговечностью оксидного слоя ее электродов. Чем реже лампа включается, тем меньше изнашивается оксидный слой. Износу оксидного слоя способствует также пониженное напряжение в сети или пониженная температура окружающего воздуха, удлиняющие процесс зажигания ламп.

За время работы лампы ее световой поток непрерывно уменьшается, причем это уменьшение происходит неравномерно. За первые часы горения он падает на 6—8% и на 15—18% после 200 *ч* горения. В дальнейшем уменьшение светового потока идет медленно и он снижается до 70% своего номинального значения лишь после 2—3 тыс. *ч* горения лампы. Вообще люминесцентная лампа при правильной ее эксплуатации служит более 5 тыс. *ч*. Во время работы лампы оксидный слой постепенно распыляется и наступает момент, когда поток электронов настолько уменьшается, что он не в состоянии поддерживать достаточную ионизацию газа, и лампа перестает работать. Возможны случаи уменьшения потока электронов на одном из электродов лампы, что уменьшает интенсивность свечения.

С 129493

Влияние изменений питающего напряжения. В обычных условиях эксплуатации напряжение питающей сети не сохраняет строгого постоянства. Общеизвестно, как резко влияют на световой поток лампы накаливания колебания напряжения в сети: изменение напряжения на 1% соответствует изменению светового потока лампы накаливания на 3,5%. Иначе ведут себя люминесцентные лампы. Незначительные колебания напряжения мало сказываются на их световом потоке, зато при значительном снижении напряжения лампа гаснет.

В лаборатории Московского проектно-экспериментального отделения ГПИ Тяжпромэлектропроект автор провел измерения напряжения и тока ламп при разных величинах напряжения питающей сети.

На рис. 9,*а* приведена схема из четырех ламп по 40 *вт*, по которой измерялись ток и напряжение на лампе. Напряжение на лампах регулировалось.

Результаты измерений сведены в табл. 1

Таблица 1

Зависимость напряжения и тока лампы от напряжения питающей сети

$U_с$, *в*	$U_л$, *в*	*I*, *а*
220	101	1,82
210	103	1,62
200	105	1,50
190	107	1,30
180	109	1,15
170	112	1,00
160	115	0,70
150	119	0,40
140	134	0,20

Государственная публичная библиотека им. В. Г. Белинского г. Свердловск

и показаны на рис. 9,*б*, где кривая *1* соответствует напряжению на лампе, а кривая *2* — току ламп.

Как видно из табл. 1 и рис. 9, при уменьшении напряжения сети — напряжение на лампах растет, а ток уменьшается. При наблюдениях заметное снижение светового потока начиналось при напряжении сети 180 *в*,

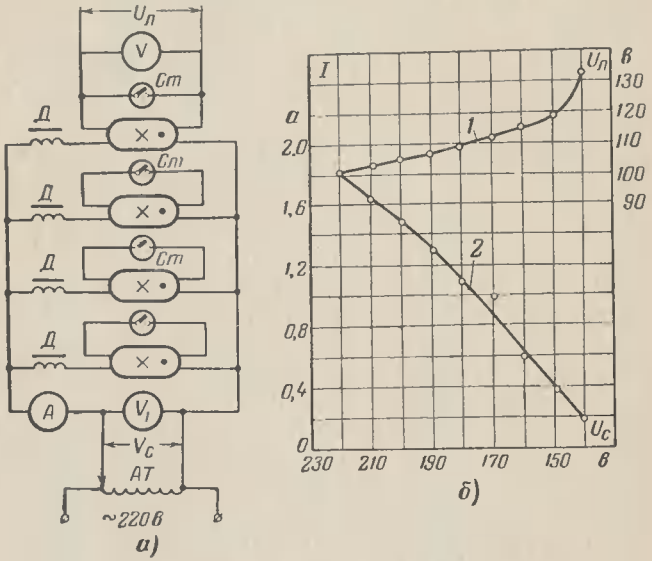


Рис. 9. Напряжение и ток люминесцентных ламп.
а — схема измерения; *б* — зависимость напряжения (*1*) и тока (*2*) ламп от напряжения питающей сети.

дальнейшее снижение напряжения сопровождалось значительным снижением светового потока. При напряжении ниже 140 *в* лампы погасли.

Стенд для проверки люминесцентных светильников на предприятиях или на монтажно-заготовительных участках электромонтажных организаций. На предприятиях и электромонтажных организациях, в которых используется и монтируется значительное количество осветительной арматуры с люминесцентными лампами, целесообразно оборудовать проверочный стенд, на котором тщательно проверяются лампы и детали перед их установкой. Перед установкой должны проверяться: лампы, патроны для ламп, стартеры, пускорегулирую-

щие аппараты. Проверяется также отсутствие замыкания на корпус. Схема проверочного стенда изображена на рис. 10.

Стенд питается от сети переменного тока через вариатор типа ТНН45, с помощью которого напряжение на стенде может регулироваться в пределах от 0 до

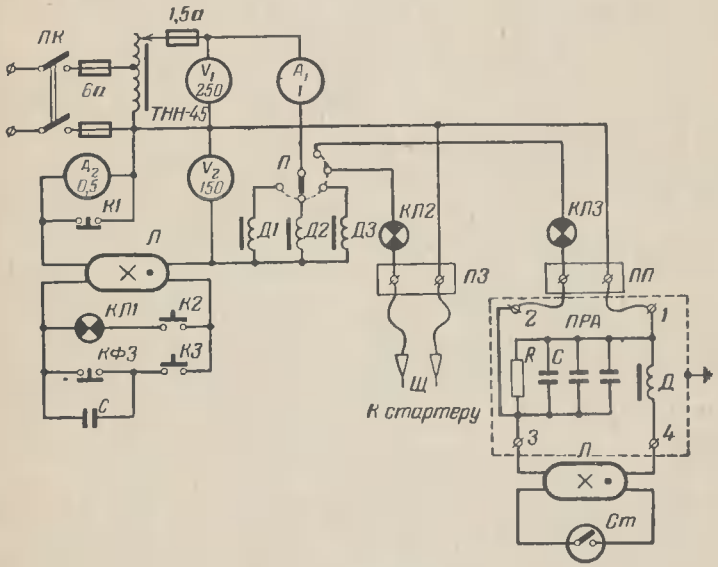


Рис. 10. Схема стенда для проверки люминесцентных ламп.

250 *в*. Величина напряжения на схеме указывается вольтметром V_1. Дроссели *Д1*, *Д2* и *Д3* для ламп мощностью 30, 40 и 80 *вт* вводятся в схему поочередно по мере надобности, с помощью переключателя *П*.

Проверка лампы. Лампу *Л* укладывают на консольные держатели, подключают через патроны в схему стенда и при помощи вариатора устанавливают необходимое напряжение. Нажав кнопку *К2* проверяют наличие накала электродов лампы. Электроды исправной лампы накаляются. После отпускания кнопки *К2* лампа должна зажечься.

В установившемся режиме горения проверяют потребляемый лампой ток и напряжение на ее электродах по амперметру A_1 и вольтметру V_2. Показания прибо-

460—1

ров сравнивают с заводскими данными, отклонения не должны превышать 10—12%. Если при нажатии кнопки *К2* электроды лампы не светятся и контрольная лампа *КЛ1* не горит, значит оборвана одна или обе нити электродов и лампа бракуется.

Не следует долго держать включенной кнопку, так как включенная нить электрода работает с перекалом и может быстро выйти из строя.

Если же обе нити электродов целы, а лампа не зажигается (что может быть даже в новой, но долго хранившейся на складе лампе), следует попробовать ее зажечь, введя в схему дополнительный конденсатор *С*, увеличивающий ток в цепи лампы и нагрев ее электродов. Для этого сначала нажимают кнопку *К3* и затем, прогрев несколько секунд электроды, не отпуская кнопки *К3*, нажимают кнопку *КФ3*. После этого отпускают сначала кнопку *К3*, затем кнопку *КФ3*, при этом лампа должна загореться. Через несколько минут горения проверяют ток и напряжение на лампе. Потом пробуют зажечь лампу обычным способом, без применения конденсатора и окончательно определяют степень ее годности.

Рассмотрим на примере, какое влияние оказывает конденсатор, включенный последовательно с балластным дросселем и электродами лампы, на ток, проходящий в цепи лампы. Принимаем по данным завода-изготовителя: напряжение питающей сети $U_с = 220$ *в*, мощность испытуемой лампы $P = 30$ *вт*, пусковой ток лампы $I_л = 0{,}44$ *а*.

Зная пусковой ток лампы, определяем индуктивное сопротивление дросселя $X_д$ (сопротивления электродов малы и ими в данном случае можно пренебречь):

$$X_д = \frac{U_с}{I_л} = \frac{220}{0{,}44} = 500 \text{ ом}.$$

Определяем емкостное сопротивление X_C конденсатора емкостью $C = 4$ *мкф*:

$$X_C = \frac{10^6}{\omega C} = \frac{10^6}{2\pi f C} = \frac{10^6}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 4} = 795 \text{ ом}.$$

460—2

Определяем ток в цепи с последовательно включенными индуктивным и емкостным сопротивлениями

$$I = \frac{U_c}{X_C - X_д} = \frac{220}{795-500} = 0{,}74 \ a.$$

Выводы: увеличившийся с 0,44 до 0,74 *а* ток сильнее нагревает электроды лампы, поток электронов возрастает и лампа быстрее зажигается.

Следует отметить, что необходимая емкость конденсатора определяется мощностью лампы. Например, для лампы 40 *вт* нужно 5—6 *мкф*, для лампы 80 *мкф* — 9—10 *мкф*.

У любой лампы, а в особенности у ламп, зажигание которых затруднено, может не работать один из электродов. Тогда ток проходит только в одном направлении: возникает «выпрямляющий эффект». При полном отсутствии потока электронов на одном электроде число периодических колебаний светового потока уменьшается вдвое, вызывая неприятное ощущение.

Для обнаружения у лампы выпрямляющего эффекта служит амперметр *А2* постоянного тока. При горящей лампе нажимают кнопку *К1* и сравнивают показания амперметров *А2* и *А1*. Если показание амперметра *А2* достигает 25—30% показаний амперметра *А1*, значит в лампе имеет место выпрямляющий эффект и она бракуется.

Проверка стартеров. Для проверки стартеров используется патрон *П3* и контрольная лампа *КЛ2* мощностью 15—20 *вт*, переключатель *П* устанавливают в необходимое положение. У исправного стартера после его включения в сеть электроды замыкаются и включают лампу *КЛ2*. Далее процесс срабатывания стартера повторяется и лампа мигает.

Если лампа *КЛ2* не горит или горит, но не мигает, стартер непригоден.

Можно проверить, при каком напряжении срабатывает стартер с помощью того же стенда. Установив стартер в патрон *П3*, вариатором изменяют напряжение и по вольтметру V_1 замечают, при каких пределах напряжения начинает и перестает мигать лампа. Исправный стартер замыкает контакты, когда напряжение на его зажимах выше 70 *в* при напряжении сети 127 *в* и выше 130 *в* при напряжении сети 220 *в*.

Проверка пускорегулирующих аппаратов (ПРА). Для проверки пускорегулирующих аппаратов используют зажимы *ПП*.

Переключатель *П* устанавливается в крайнее правое положение. Если замкнуть накоротко контакты *ПП*, то лампа *КЛ3* будет гореть полным накалом. Если подсоединить зажимы *1* и *2* исправного *ПРА* к контактам *ПП*, то лампа горит неполным накалом. Если лампа имеет полный накал, значит пробиты конденсаторы *С*. Концы *3* и *4* должны быть отсоединены от ламп.

Присоединив к контактам *ПП* зажимы *1* и *4*, проверяют снова накал лампы *КЛ3*. Полный накал свидетельствует о коротком замыкании в катушке дросселя *Д*. Присоединение зажимов *3* и *4* дает почти полный накал лампы, так как суммарное сопротивление дросселя и конденсаторов мало.

Испытание сопротивления изоляции *ПРА* на стенде производится следующим образом: к одному из зажимов *ПП* присоединяют корпус *ПРА*, а к другому зажиму поочередно присоединяют все выводы *ПРА*. В случае пробоя изоляции на корпус лампа *КЛ3* горит тем ярче, чем хуже изоляция.

Некоторые типичные неисправности в осветительных установках с люминесцентными лампами и пути их устранения. Ниже приводятся признаки неисправностей для импульсных схем включения.

1. При включении лампа не зажигается, электроды накаляются. Возможные причины: а) неисправность в схеме светильника, обрыв в цепи ПРА; б) плохой контакт в патронах лампы; в) неисправность стартера; г) обрыв или перегорание нитей электродов.

Техника проверки: а) индикатором напряжения проверяется наличие напряжения в патронах лампы. При отсутствии напряжения проверяют схему светильника. Если обрыв проводов не обнаружен, следовательно неисправен ПРА, его заменяют; б) если напряжение в патронах есть и контакты нормально пружинят, заменяют стартер. Если при этом лампа не зажигается, следует заменить лампу.

2. При включении беспрерывно накаляются электроды лампы, но лампа не зажигается. Возможные причины: а) неисправность стартера; б) пробой конденсатора

в стартере; в) повреждение изоляции проводов схемы и касание их к корпусу светильника; г) потеря эмиссии электродами лампы. Длительная работа с неисправным стартером (пригорание его контактов) приводит к перегреву ПРА и перегоранию электродов.

Техника проверки. Заменяют стартер. Если лампа после замены стартера не зажигается, то мегомметром на 500 *в* проверяют сопротивление изоляции проводов по отношению к корпусу светильника. Если сопротивление изоляции проводов удовлетворительное, то заменяют лампу.

3. При включении светильника концы лампы чернеют и лампа больше не зажигается. При последующей проверке лампы обнаруживается сгорание электродов. Возможные причины: а) неисправность лампы (натекание воздуха); б) нарушена регулировка воздушного зазора дросселя (зазор велик, сопротивление дросселя уменьшилось и лампа оказалась под повышенным напряжением); в) нарушена изоляция проводов по отношению к корпусу светильника.

Техника проверки. Проверяют мегомметром на 500 *в* сопротивление изоляции проводов по отношению к корпусу светильника. Если сопротивление изоляции проводов удовлетворительное, то заменяют *ПРА*.

4. При включении лампа периодически зажигается и гаснет. Возможные причины: а) потеря эмиссии; б) неисправен стартер; в) нарушена регулировка воздушного зазора дросселя (зазор мал, сопротивление дросселя увеличилось, напряжение и ток лампы снизились).

Техника проверки. Проверяют лампу на зажигание, если лампа зажигается нормально, то проверяют стартер. Если стартер работает нормально, то заменяют *ПРА*.

5. При включении наблюдается яркая вспышка у концов лампы, после чего лампа не зажигается и электроды не накаляются. Возможные причины: а) нарушение изоляции проводов схемы; б) короткое замыкание в обмотке дросселя; в) неисправна лампа.

Техника проверки. Мегомметром проверяют сопротивление изоляции проводов по отношению к корпусу светильника; если сопротивление изоляции нормальное, проверяют лампу на зажигание. Если лампа зажигается нормально, то заменяют *ПРА*.

6. При включении наблюдается мигание лампы, но лампа не зажигается, светится один электрод. Возможные причины: а) ошибка в схеме (стартер включен последовательно с электродами лампы); б) замыкание в патроне со стороны несветящегося электрода; в) неисправна лампа.

Техника проверки. Проверяются все соединения в схеме, если схема верна, то переставляют лампу так, чтобы ее концы поменялись патронами. Если после этого свечение будет отсутствовать на том же конце лампы, что и прежде, лампа неисправна. Если после перестановки лампы свечение будет отсутствовать на другом ее конце, то нужно устранить неисправность в патроне.

7. При включении лампа зажигается нормально, но горит тускло. Возможные причины: а) мал ток через лампу в рабочем режиме (неисправен *ПРА*); б) пониженное напряжение сети; в) неисправна лампа.

Техника проверки. Проверяют рабочий ток светильника и, если он меньше допустимого, заменяют *ПРА*. Проверяют напряжение сети. При исправности *ПРА* и нормальном напряжении сети заменяют лампу.

6. СЕЧЕНИЯ НУЛЕВЫХ ПРОВОДОВ В УСТАНОВКАХ С ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫМИ ЛАМПАМИ

Выбор сечений нулевых проводов. Согласно «Правилам устройства электроустановок» нулевой проводник в четырехпроводной системе трехфазного тока должен иметь пропускную способность не менее максимально возможной длительной токовой нагрузки и иметь сечение не менее 50% сечения проводника фазы той же цепи.

В сетях с лампами накаливания и однофазными нагрузками обычно по нулевому проводу протекает незначительный ток, обусловленный несимметрией нагрузок в фазных проводах. Поэтому проводимость нулевого провода, равная 50% проводимости фазного провода, во всех случаях оказывается достаточной. В сетях же с газоразрядными источниками света выбор сечения нулевого провода обусловливается не только несимметрией нагрузки по фазам, но главным образом прохождением

по нулевому проводу токов высших гармоник (в основном тока третьей гармоники).

Дело в том, что газоразрядные источники света имеют нелинейную вольт-амперную характеристику. Поэтому при питании их от сети с синусоидальным напряжением кривая тока принимает искаженную несинусоидальную форму. В ней появляются токи, имеющие высшие гармоники, нагружающие нулевой провод трехфазной четырехпроводной сети.

Основную величину тока в нулевом проводе составляют токи третьей гармоники, и так как они равны по величине и одинаково направлены во всех фазах, то в нулевом проводе они суммируются. Отсюда следует, что в сетях с симметричной нагрузкой газоразрядных источников света выбор сечения нулевого провода (в отличие от симметричной нагрузки с лампами накаливания), обусловливается главным образом токами высших гармоник. И сечение нулевого провода выбирается равным сечению фазовых проводов.

Рассмотрим этот вопрос подробнее.

На рис. 11,*а* показан синусоидальный ток (кривая *1*) в фазе *А*, соответствующий нагрузке лампами накаливания. При нагрузке же люминесцентными лампами возникает дополнительно ток третьей гармоники (кривая *2*), в результате чего ток в фазе *А* изменяется по несинусоидальной кривой *3*. (Кривая *3* получена сложением кривых *1* и *2*.)

Аналогичные кривые построены для фаз *В* (рис. 11,*б*) и *С* (рис. 11,*в*) со сдвигом фаз кривых *1* на 120 и 240° соответственно.

На рис. 11,*г* показан ток в нулевом проводе. В силу совпадения по фазе токов третьих гармоник все они суммировались и образовали кривую *4* тройной частоты 150 *гц*.

Если бы фазы были нагружены не равномерно, то в нулевом проводе, кроме токов третьей гармоники, появился ток основной частоты 50 *гц*, тем больший, чем неравномернее нагружены фазы.

Ток в нулевом проводе при разных схемах импульсного зажигания. Ток в нулевом проводе имеет разную величину в зависимости от схемы включения газоразрядных светильников.

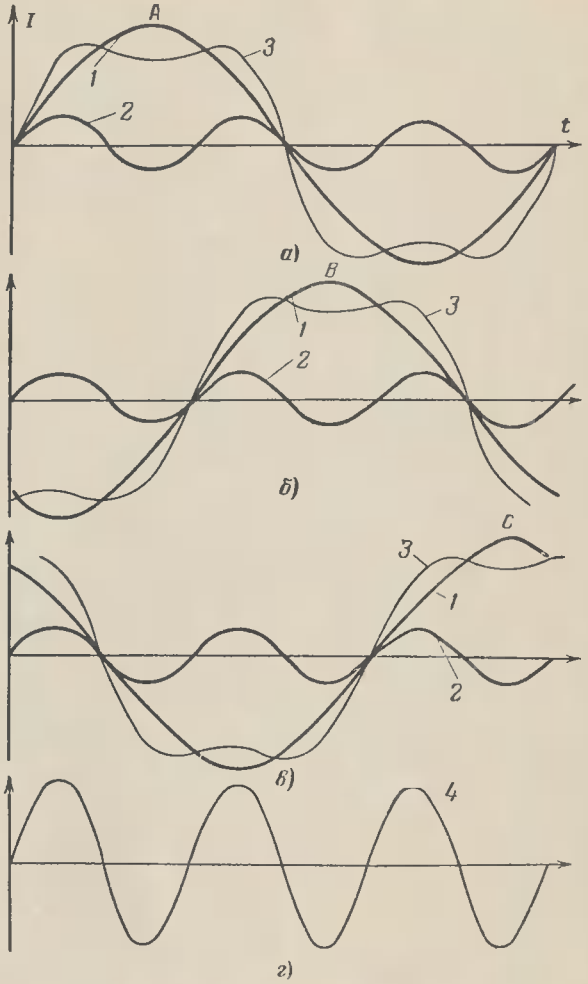


Рис. 11. Ток третьей гармоники в нулевом проводе четырехпроводной сети, питающей люминесцентные лампы.

На практике в основном встречаются следующие схемы: а) без компенсации индуктивности балластных дросселей (см. рис. 3); б) с компенсацией индуктивности балластных дросселей конденсаторами, включенными в треугольник (см. рис. 8,*б*); в) с компенсацией индуктивности балластных дросселей конденсаторами, включенными последовательно с каждым вторым дросселем (схема 2УБК, см. рис. 6); г) с компенсацией индуктивности балластных дросселей конденсаторами, включенными между фазными и нулевым проводами (см. рис. 8,*а*).

Московское проектно-экспериментальное отделение ГПИ Тяжпромэлектропроект провело исследование работы трехфазных сетей при питании газоразрядных источников света.

В числе других работ были определены:

1. Токи в нулевом проводе при питании различных типов люминесцентных ламп. Результаты измерений сведены в табл. 2.

2. Распределение токов в нулевом проводе трехфазной четырехпроводной сети в следующих случаях: а) параллельное соединение между собой четвертой нулевой жилы и металлических оболочек кабеля; б) параллельное соединение между собой металлических оболочек кабеля (без четвертой жилы); в) параллельное соединение между собой четвертой (нулевой) жилы и стальной трубы.

В табл. 3 приведены отношения тока в нулевом проводе к току в фазе. Измерения производились для разных схем включения люминесцентных светильников с лампами мощностью в 40 и 80 *вт*. Следует иметь в виду, что указанные в таблицах значения токов являются максимальными, так как измерения производились при минимальных сопротивлениях питающего трансформатора и проводов: использовались короткие отрезки проводов, а трансформаторы имели соединение треугольник — звезда с нулем, т. е. имели наименьшее сопротивление для токов третьей гармоники.

Различные значения относительных величин тока в нулевом проводе в зависимости от наличия или отсутствия компенсации индуктивности для схем, приведенных на рис. 3 и 8,*б*, получаются только из-за различных значений тока в фазном проводе. Абсолютная же

Ток (*а*) в проводах трехфазной четырехпроводной распределенных по

Мощность и количество испытаных люминесцентных ламп	Конденсаторы включены по схеме звезды с нулем $\cos\varphi = 0{,}9$ (рис. 8, *а*)				Конденсаторы включены по схеме треугольника $\cos\varphi = 0{,}9$ (рис. 8, *б*)			
	$I_ф$			I_0	$I_ф$			I_0
	A	*B*	*C*		*A*	*B*	*C*	
40 *вт*, 99 шт.	8,7	8,8	9,15	6,1	8,7	8,8	9,15	4,5
40 *вт*, 24 шт.	2,05	1,9	2,1	1,35	2,05	1,9	2,1	1,2
40 *вт*, 12 шт.	0,98	0,93	0,97	0,65	0,98	0,93	0,97	0,6
40 *вт*, 6 шт.	—	—	—	—	—	—	—	—
80 *вт*, 12 шт.	1,9	1,85	1,85	0,85	1,9	1,85	1,85	0,78

Примечание. $I_ф$ — ток в фазном проводе; I_0 — ток в нулевом проводе.

величина тока в нулевом проводе для схем на рис. 3 и 8,*б* не зависит от наличия или отсутствия компенсации индуктивности балластных дросселей.

Для схемы на рис. 6, где компенсация индуктивности балластных дросселей осуществляется путем включения

Таблица 3

Отношение тока в нулевом проводе к току в фазном проводе $I_0/I_ф$

Мощность и напряжение люминесцентной лампы	Рис. 6		Без компенсации индуктивности балластных дросселей (рис. 3)	С компенсацией индуктивности балластных дросселей (рис. 8, *б*)	С компенсацией индуктивности балластных дросселей. Конденсаторы включены по схеме звезды с нулем (рис. 8, *а*)
	3,5 *мкф* на 40 *вт*, 7,0 *мкф* на 80 *вт*, $\cos\varphi$=0,9	3,7 *мкф* на 40 *вт*, 7,4 *мкф* на 80 *вт*, $\cos\varphi$=0,95			
40 *вт*, 220 *в*	0,73	1,0	0,33	0,6	0,7
80 *вт*, 220 *в*	0,5	0,66	0,24	0,42	0,46

Таблица 2

линии при питании люминесцентных ламп, фазам равномерно

Без конденсаторов (рис. 3)				ПРА по схеме 2УБК (рис. 6)							
				3,5 *мкф* на лампу 40 *вт*, 7 *мкф* на лампу 80 *вт*, $\cos\varphi = 0{,}9$				3,7 *мкф* на лампу 40 *вт*, 7,4 *мкф* на лампу 80 *вт*, $\cos\varphi = 0{,}95$			
$I_Ф$			I_0	$I_Ф$			I_0	$I_Ф$			I_0
A	*B*	*C*		*A*	*B*	*C*		*A*	*B*	*C*	
14,7	14,4	15,6	4,5	—	—	—	—	—	—	—	—
3,6	3,5	3,8	1,2	—	—	—	—	—	—	—	—
1,8	1,75	1,85	0,6	0,925	0,925	0,915	0,675	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	0,42	0,41	0,44	0,44
3,3	3,2	3,3	0,78	1,9	1,85	1,85	0,93	1,77	1,75	1,74	1,15

конденсаторов последовательно с каждым вторым балластным дросселем, ток в нулевом проводе больше, чем для схем на рис. 3 и 8,*б*. Это объясняется тем, что конденсаторы, включенные последовательно с дросселями, компенсируют часть индуктивности дросселей, уменьшая общее сопротивление ветвей конденсатор — дроссель — лампа. В результате ток третьей гармоники в этих ветвях больше, чем в ветвях без конденсаторов. Значит общий ток третьей гармоники в схеме на рис. 6 больше, чем в схемах на рис. 3 и 8,*б*.

В схемах с включением конденсаторов между фазным и нулевым проводами (см. рис. 8,*а*) отношение тока в нулевом проводе к току в фазном проводе $I_0/I_Ф$ может значительно превзойти величины, указанные в табл. 3. Это может наступить, когда сопротивления конденсаторов и питающего трансформатора при частоте 150 *гц* равны или близки по величине.

На рис. 12 представлены кривые зависимости тока в нулевом проводе к току в фазе $I_0/I_Ф$ от отношения нагрузки люминесцентными светильниками и мощности питающего трансформатора.

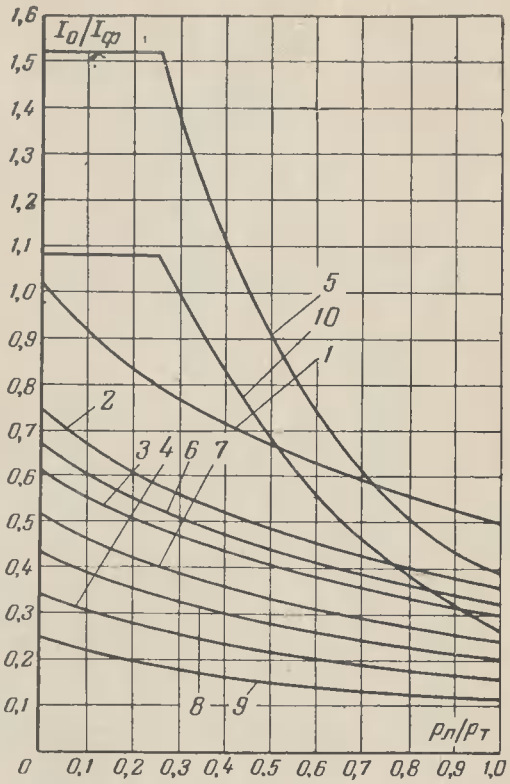


Рис. 12. Зависимость отношения тока I_0 в нулевом проводе к току $I_ф$ в фазе от отношения мощности люминесцентных ламп $P_л$ к мощности питающего трансформатора $P_т$. Кривые *1—5* относятся к лампам мощностью 40 *вт*, 220 *в*. Кривые *6—10* к лампам 80 *вт*, 220 *в*.

1 — схема на рис. 6, C=3,7 *мкф*, cos φ=0,95; *2* — то же, но C=3,5 *мкф*, cos φ=0,9; *3* — схема на рис. 8,*б*, cos φ=0,9; *4* — схема на рис. 3, cos φ=0,5; *5* — схема на рис. 8,*а*; cos φ=0,9; *6* — схема на рис. 6, C=7,4 *мкф*, cos φ=0,95; *7* — то же, но C=7,0 *мкф*, cos φ=0,9; *8* — схема на рис. 8.*б*, cos φ=0,9; *9* — схема на рис. 3, cos φ=0,5; *10* — схема на рис. 8,*а*, cos φ=0,9.

Кривые построены на основании расчетов, произведенных также для разных схем включения люминесцентных светильников. При расчетах учитывалось сопротивление трансформатора для токов третьей гармоники, имеющего соединение обмоток «звезда — звезда с нулем», т. е. стандартных трансформаторов 6—10/0,4 *кв*, применяемых для питания осветительных установок.

Распределение тока третьей гармоники в нулевом проводе при параллельном соединении его с оболочками кабеля, металлическими коробами или газопроводной трубой. Линии, проложенные в стальных трубах, в металлических коробах или кабельные линии, в которых одним проводом служит фаза, а другим — четвертая жила, соединенная параллельно с трубой, металлической оболочкой короба или металлическими оболочками кабеля, имеют меньшую величину сопротивления нулевого провода по сравнению с другими видами линий. Это объясняется тем, что большая часть тока третьей гармоники протекает по стальной трубе или коробу, в которых проложена линия, или по металлическим оболочкам кабеля, когда труба, короб или оболочки соединены с четвертой жилой (проводом), и наглядно подтверждается опытами, результаты которых сведены в табл. 4.

В табл. 4 приведены результаты измерений как в абсолютных величинах (в амперах), так и в процентах к общему току в нулевом проводе.

При определении тока в нулевом проводе для таких видов линии (а следовательно, и при выборе его сечения) следует учитывать поправочный коэффициент шунтирования нулевого провода металлическими оболочками, в которых проложена линия, так как параллельно нулевому проводу включается металлическая оболочка кабеля или стальная водогазопроводная труба.

Поправочные коэффициенты определяются по табл. 5.

Обратим внимание на следующее. Согласно табл. 5 поправочный коэффициент для четырехжильного бронированного кабеля в свинцовой оболочке составляет 0,5, или 50%. Это значит, что при параллельном соединении жилы с оболочками кабеля 50% тока третьей гармоники проходит по четвертой нулевой жиле, а 50% — по металлическим оболочкам кабеля.

Если же обратиться к табл. 4, то из нее следует, что ток, проходящий по четвертой жиле, составляет 35, а не

Таблица 4

Распределение тока третьей гармоники между четвертой (нулевой) жилой кабеля и стальными оболочками и между четвертым (нулевым) проводом и стальной трубой

Линия	Ток, *а* / Процент общего тока			
	Четвертая (нулевая) жила или провод	Алюминиевая оболочка	Свинцовая оболочка	Стальная броня или труба
Кабель ААБ 3×16+1×10 *мм²*	0,82 / 13,5	3,94 / 64,5		1,34 / 22
Кабель ААБ 3×16 *мм²*		4,61 / 75,5		1,49 / 24,5
Кабель СБ 3×16+1×10 *мм²*	2,15 / 35		0,7 / 11,5	3,25 / 53,5
Кабель СБ 3×16 *мм²*			1,82 / 30	4,28 / 70
Провод 4×1,5 *мм²* в трубе 1/2″	1,55 / 25,5			4,55 / 74,5

50% тока третьей гармоники. Рекомендация табл. 5 считать увеличение тока равным 50% связана с созданием резерва при выборе сечения четвертой жилы.

Выводы. 1. Ток в нулевом проводе трехфазной четырехпроводной линии, питающей люминесцентные светильники, зависит в основном от типа ламп, способа компенсации индуктивности балластных дросселей и соотношения суммарной мощности ламп и мощности питающего трансформатора.

2. При компенсации индуктивности путем включения конденсаторов между фазными и нулевым проводом наибольший ток в нулевом проводе будет иметь место при суммарной мощности ламп, не превышающей 25% мощности трансформатора (рис. 12, кривые *5* и *10*). В этих случаях величина тока в нулевом проводе может достигать по отношению к току в фазных проводах сле-

Таблица 5

Значения поправочного коэффициента

Вид линии	Поправочный коэффициент
Кабель трехжильный в алюминиевой оболочке (нулевой провод) небронированный Провод, проложенный открыто Шинопровод открытый	1,0
Кабель трехжильный в алюминиевой оболочке (нулевой провод) бронированный Кабель четырехжильный в свинцовой оболочке небронированный	0,8
Кабель четырехжильный в свинцовой оболочке бронированный Провод в стальной трубе Шинопровод в металлическом коробе	0,5
Кабель четырехжильный в алюминиевой оболочке	0,3

дующих величин: а) люминесцентные лампы 40 *вт*, 220 *в* — 155%; б) люминесцентные лампы 80 *вт*, 220 *в* — 108%.

Вероятность возникновения больших токов в нулевом проводе в случае соединения конденсаторов по схеме на рис. 8,*а* мала, так как для этого требуется совпадение нескольких условий.

3. При компенсации индуктивности путем включения конденсаторов последовательно с каждым вторым балластным дросселем (рис. 6) наибольший ток в нулевом проводе будет иметь место при суммарной мощности ламп, не превышающей 10%[1] мощности питающего трансформатора (рис. 12, кривые *1*, *2*, *6* и *7*). В этих случаях величина тока в нулевом проводе может достигать по отношению к току в фазных проводах следующих величин: а) люминесцентные лампы 40 *вт*, 220 *в* при емкости на одну лампу 3,7 *мкф* — 100%; б) то же при емкости на одну фазу 3,5 *мкф* — 73%; в) люминесцентные лампы 80 *вт*, 220 *в* при емкости на одну лампу 7,4 *мкф* — 66%; г) то же при емкости на одну лампу 7,0 *мкф* — 50%.

4. При компенсации индуктивности путем включения конденсаторов, соединенных в треугольник, с изолированной нейтралью трансформатора (рис. 12, кривые *3* и *8*). Наибольший ток в нулевом проводе будет иметь место при суммарной мощности ламп, не превышающей 10% мощности питающего трансформатора. В этом случае величина тока в нулевом проводе может достигать по отношению к току в фазных проводах следующих величин: а) люминесцентные лампы 40 *вт*, 220 *в* — 60%; б) люминесцентные лампы 80 *вт*, 220 *в* — 42%.

5. При отсутствии компенсации индуктивности балластных дросселей (рис. 12, кривые *4* и *9*) наибольший ток в нулевом проводе будет иметь место при тех же условиях, что в п. 4. Ток в нулевом проводе в этом случае может достигать: а) люминесцентные лампы 40 *вт*, 220 *в* — 33%; б) люминесцентные лампы 80 *вт*, 220 *в* — 24%.

Разница по сравнению с величинами, приведенными в п. 4, получается лишь за счет разных величин фазных токов из-за разных величин cos φ. Абсолютные же значения тока в нулевом проводе для условий *4* и *5* одни и те же.

6. При прокладке линий, питающих газоразрядные светильники, в металлических оболочках (стальные трубы, короба, металлические оболочки кабелей и пр.), когда эти оболочки соединены с четвертым (нулевым) проводом линии, ток в нулевом проводе уменьшается до 0,8—0,3 величины тока при отсутствии металлических оболочек (см. табл. 5).

7. ВЛИЯНИЕ ТОКОВ ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИКИ НА РАБОТУ ТРАНСФОРМАТОРА

Как уже отмечалось в § 6, токи третьей гармоники при питании газоразрядных светильников совпадают по фазе. Таким образом, в нулевом проводе трехфазной четырехпроводной сети, а следовательно, в обмотках трехстержневого трансформатора, имеющего соединение обмоток звезда — звезда с нулем, также проходят токи третьей гармоники. Они создают магнитные потоки, направленные во всех стержнях трансформатора в одну и ту же сторону. Но магнитный поток третьей гармоники в каком-нибудь стержне, например в первом, не

может замкнуться ни через второй, ни через третий стержни, так как в каждом из них он встречает поток третьей гармоники, направленный навстречу. Это приводит к тому, что магнитные потоки третьей гармоники во всех трех фазах выходят из сердечника и замыкаются через масло и воздух. Стремясь идти по пути наименьшего магнитного сопротивления, поток замыкается через стальные части и в особенности через кожух трансформатора. В результате в стальных частях трансформатора возникают вихревые токи, вызывающие повышенный нагрев: коэффициент полезного действия трансформатора понижается.

Наконец, следует указать, что ГОСТ допускает соединение звезда — звезда с нулем лишь в том случае, если ток в нулевом проводе не превышает 25% номинального вторичного тока в фазе. Отсюда следует, что если трансформатор питает смешанную нагрузку, а осветительная нагрузка состоит из газоразрядных светильников, необходимо следить за тем, чтобы условия загрузки трансформатора удовлетворяли требованию ГОСТ; в противном случае номинальная мощность трансформатора может быть недоиспользована.

8. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА СВЕТИЛЬНИКОВ С ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ЛАМПАМИ

Эффективность индустриализации электромонтажных работ. Одним из наиболее эффективных способов повышения производительности труда, улучшения качества, а также ускорения и удешевления электромонтажных работ является их индустриализация и применение новой технологии. Этим требованиям отвечают в сетях люминесцентного освещения тросовые проводки, проводки, монтируемые с применением стальных труб, коробов и щелевых конструкций. Несущие элементы этих проводок (тросы, трубы, короба и конструкции) используются как для прокладки проводов и кабелей, так и для подвески светильников.

Эти виды электропроводок позволяют осуществить большую часть работ по монтажу электросети в виде отдельных монтажных узлов, включая изготовление всех элементов и деталей проводки, монтаж самой проводки и выполнение ответвлений к осветительным электропри-

емникам заранее, не зависимо от состояния строительных работ на объектах, для которых они предназначены.

Монтаж светильников на тросах. Применение тросовых электропроводок позволяет осуществить большую часть работ по монтажу электросети, одновременно с общестроительными работами и только установку светильников выполнить после окончания отделочных работ над местом их расположения.

Тросовые электропроводки по способу подвески подразделяются на проводки с непосредственным укреплением проводов и кабелей к тросу и проводки с креплением проводов на тросовых подвесках.

В качестве несущих тросов применяется стальная оцинкованная или имеющая лакокрасочное покрытие горячекатаная проволока диаметром от 5,0 до 10 *мм* марки СТЗ по ГОСТ 2590-57 или стальные канаты-тросы, сплетенные из стальных оцинкованных проволок диаметром от 4,6 до 6,8 *мм* по ГОСТ 2788-55. В каждом отдельном случае выбор несущего троса производится при разработке проекта электроустановки по данным расчета с учетом длины пролета тросовой проводки и расчетных нагрузок на трос.

Для расчета несущего троса учитывается, кроме полезного груза от арматуры, проводов и кабелей, также дополнительный груз весом 80 *кг*, прикладываемый в процессе монтажа или эксплуатации в центре пролета (в виде приставной лестницы, на которой находится рабочий) между анкерными креплениями.

Выбор несущего элемента тросовой проводки (проволоки или каната) производится из условий обеспече-

Таблица 6

Зависимость диаметра проволоки (*мм*) от стрелы провеса и нагрузки, действующей в пролете длиной 6 *м*

Стрела провеса, *м*	Диаметр проволоки при нагрузке на трос, *кГ*					
	90	100	110	120	130	140
0,5	5	5,5	6	6	7	7
0,4	6	6	7	7	7	8
0,3	7	7	8	8	8	9
0,2	8	9	9	10	10	10

ния трехкратного запаса механической прочности для стальной проволоки и 2,5-кратного запаса для стального каната. При отсутствии данных в проекте можно пользоваться данными, приведенными в табл. 6 и 7.

Таблица 7

Зависимость диаметра стального каната (*мм*) от стрелы провеса и нагрузки, действующей в пролете длиной 6 *м*

Стрела провеса, *м*	Диаметр каната при нагрузке на трос, *кГ*								
	130	155	180	205	230	255	280	305	330
0,5	4,6	5	5,4	6,8	6,8	6,8	6,8	2×4,6	2×4,6
0,4	5,4	6,8	6,8	6,8	2×4,6	2×4,6	2×4,6	2×4,6	2×4,6
0,3	6,8	6,8	2×4,6	2×4,6	2×4,6	2×4,6	2×4,6	2×5	2×5
0,2	2×4,6	2×4,6	2×4,6	2×5	2×5	2×6,8	2×6,8	2×6,8	2×6,8

Натяжение троса производится с усилием, не превышающим 0,7 усилия, допускаемого для данного несущего троса.

Допускаемые усилия для тросов приведены в табл. 8 и 9.

Таблица 8

Допустимые усилия на проволоку

Диаметр проволоки, *мм*	Вес одного метра проволоки, *кг*	Допускаемое усилие на проволоку, *кГ*	Допускаемое усилие при натяжении проволоки, *кГ*
5	0,154	805	565
5,5	0,186	970	680
6	0,222	1 160	810
7	0,302	1 570	1 100
8	0,394	2 030	1 440
9	0,510	2 600	1 820
10	0,616	3 220	2 260

Монтаж тросовой электропроводки осуществляется путем заготовки отдельных узлов проводки, равных расстоянию между анкерными креплениями. В процессе заготовки узлов на натянутом несущем тросе закрепляются провода и выполняются ответвления к светиль-

Таблица 9

Допускаемые усилия на стальные канаты

Диаметр каната, *мм*	Вес одного метра каната, *кг*	Допускаемое усилие на канаты, *кГ*	Допускаемое усилие при натяжении каната, *кГ*
4,6	0,0787	1 000	700
5	0,0935	1 190	835
5,4	0,1109	1 410	990
6,8	0,1665	2 110	1 480

никам (рис. 13), после чего узлы проводки сматываются в бухты и маркируются.

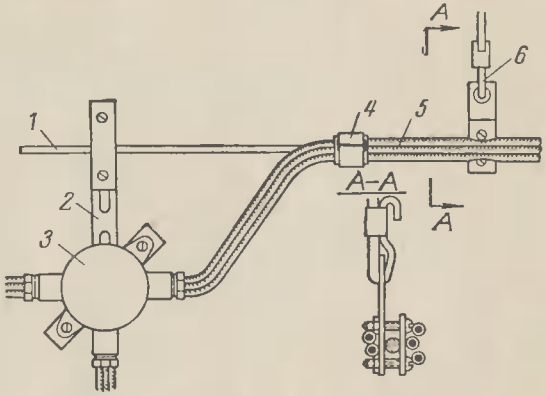


Рис. 13. Прокладка провода на тросе и крепление ответвительной коробки на перфорированной полосе.

1 — трос; *2* — перфорированная полоса; *3* — ответвительная коробка; *4* — бандаж; *5* — провод; *6* — струнный подвес.

На месте монтажа работа по устройству тросовых электропроводок сводится к установке крепежных конструкций, сборке, подъему и натяжке отдельных монтажных узлов электропроводки и монтажу светильников. Несущие тросы подвешиваются между двумя концевыми анкерными крюками, закрепленными к строительным конструкциям. Расстояние между анкерными крепле-

ниями на концах троса, как правило, не превышает 60 *м*. Формы концевых крепежных электроконструкций для троса зависят от особенностей мест крепления их и имеют различные исполнения. Наиболее часто применяемые виды крепежных концевых конструкций и способы крепления их к различным строительным конструкциям показаны на рис. 14.

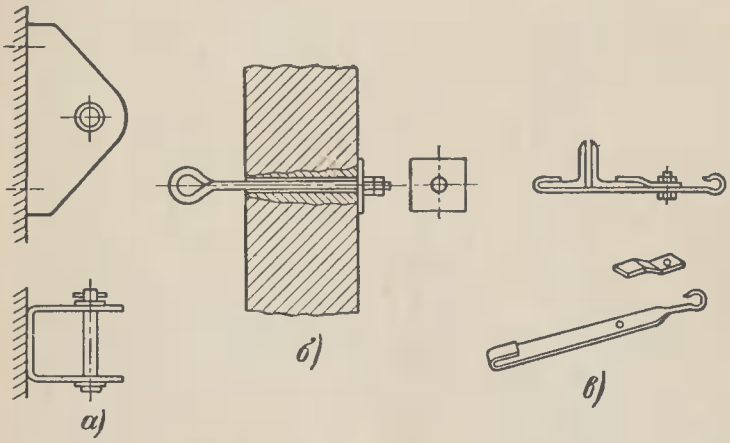


Рис. 14. Анкерные концевые крепежные конструкции для несущих тросов и способы их установки.

а — конструкция для крепления к стене; *б* — натяжной болт с кольцом; *в* — конструкция для крепления к металлической ферме

Стальной канат (трос) *1* с крюком концевой конструкции соединяется следующим способом. На конце каната делают петлю, применяя стальную обойму *2*, так называемый «коуш» и тросовый зажим *3*, как показано на рис. 15,*а*.

Обойма-коуш представляет собой удлиненное стальное приспособление желобочной формы, предохраняющее несущий трос от смятия и перетирания. Тросовый зажим представляет собой две продолговатые планки, скрепляемые между тремя болтами, и служит для жесткого зажатия троса при образовании заглушки.

В случае применения взамен стального каната стальной проволоки *4* петля выполняется без коуша и зажима, путем простого просовывания конца проволоки через стальную обойму *5* (рис. 15, *б*).

Концевые анкерные крепежные конструкции предусматривают осуществление натяжки несущего троса с помощью гайки за счет удлиненной резьбы на свободном конце крюка (рис. 14,*б*) или специального натяжного устройства, так называемой натяжной муфты, конструктивное устройство которой приводится на рис. 16,*а*. Если длина резьбы недостаточна для натяжки троса, то применяется дополнительная натяжная муфта, включаемая последовательно с натяжным устройством, с помощью которой производится окончательная натяжка несущего троса.

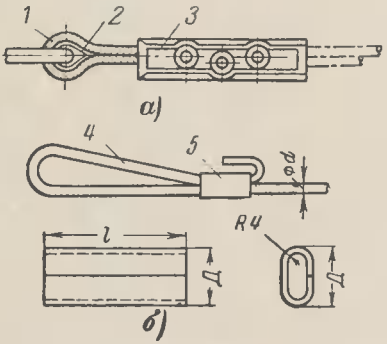


Рис. 15. Выполнение петли на канате.
а — с помощью коуша и тросового зажима;
б — с помощью стальной обоймы.
Размеры обоймы:

d	*l*	*R*	*Д*	*d*	*l*	*R*	*Д*
3	40	2,00	12	6	50	4	18
4	40	2,50	14	7	55	4,5	20
5,5	45	3,75	17	8	60	5	22

Несущий трос в зависимости от его длины натягивается при малых пролетах вручную, а при больших пролетах — с применением блока, полиспаста или лебедки. Контроль за правильной натяжкой несущего троса осуществляется динамометром, включенным последовательно с тросом полиспаста или блока, с помощью которых производится натяжка (рис. 16,*б*).

Свободный конец несущего троса закрепляется за крюк натяжного устройства, на которое и передается тяжение всего троса после отключения полиспаста или лебедки. Окончательную натяжку несущего троса и регулировку стрелы провеса производят с помощью предварительно ослабленных анкерных болтов и натяжных муфт.

Для облегчения и разгрузки несущего троса и его концевых креплений в тросовых проводках применяются дополнительные поддерживающие вертикальные струн-

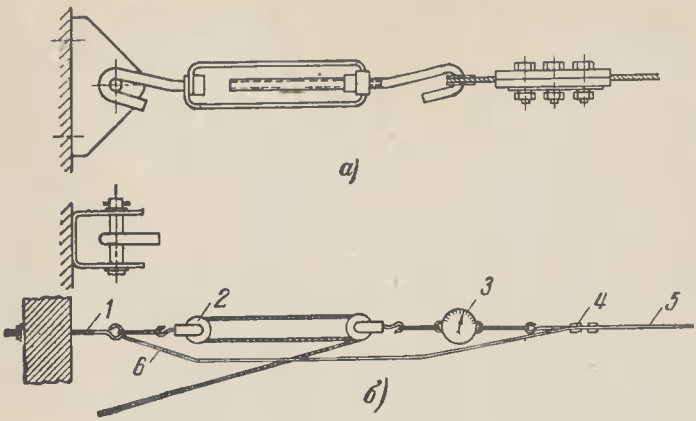


Рис. 16. Натяжка несущего троса.

а — натяжная муфта; *б* — применение полиспаста; *1* — натяжное устройство; *2* — полиспаст; *3* — динамометр; *4* — плашечный зажим; *5* — несущий трос; *6* — конец несущего троса, соединяемый с натяжным устройством.

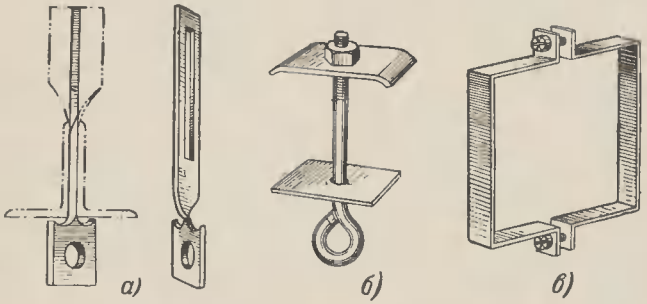


Рис. 17. Крепежные конструкции для вертикальных подвесов.

а и *б* — серьга и крюк для крепления к металлическим фермам; *в* — хомут для крепления к железобетонным фермам.

ные подвески, продольные и поперечные оттяжки. Вертикальные подвески или оттяжки устанавливаются в местах установки светильников, из расчета по одной на каждые два светильника на расстоянии не более 6 *м*. В качестве подвесок и оттяжек применяется стальная проволока диаметром 3—4 *мм*. Верхний конец подвесок и оттяжек закрепляется к фермам и потолочным конструкциям зданий с помощью специальных серег, крю-

ков и хомутов (рис. 17), нижний конец прикрепляется к несущему тросу с помощью тросодержателя. Петли на концах подвесок и оттяжек выполняются так же, как и на концах несущего троса из проволоки (рис. 15,*б*).

Устройство струнных вертикальных подвесок и оттяжек для несущего троса показано на рис. 18.

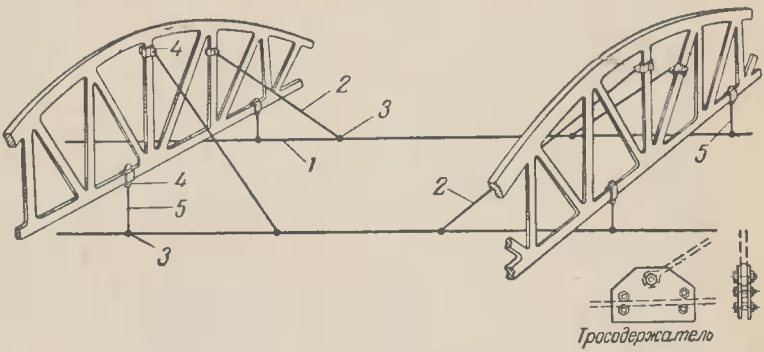


Рис. 18. Устройство продольных струнных оттяжек и вертикальных подвесок для разгрузки несущего троса.

1 — несущий трос; *2* — продольные струнные оттяжки; *3* — плашечный зажим; *4* — крепежные конструкции; *5* — вертикальные струнные подвески.

Монтаж светильников на тросовых электропроводках осуществляется путем подвешивания их на несущем тросе с помощью специальных подвесных крюков с хомутами, а также непосредственно на конструкциях, на которых подвешены провода, имеющих для этой цели специальные обоймы. Пример подвески светильников на тросе с применением конструкции для крепления проводов приведен на рис. 19.

Монтаж светильников на стальных трубах. При различных видах электропроводок в качестве несущих элементов проводки и светильников могут применяться водогазопроводные трубы диаметром $^3/_4''$ по ГОСТ 3262-62 и стальные электросварные трубы диаметром 26 *мм* по ГОСТ 1753 (тонкостенные). Несущий элемент проводки при этом представляет собой прямую конструкцию, состоящую из отрезков труб, соединенных между собой с помощью ответвительных коробок на резьбе или на сварке. Длина труб между ответвительными коробками учитывает длину труб, заводимых

в коробки по 15 *мм* на каждый конец при резьбовом соединении и по 5 *мм* при соединении сваркой. Длина отдельных узлов электропроводки в трубах определяется с учетом особенностей каждого помещения и условий транспортировки, но не превышает 8 *м*.

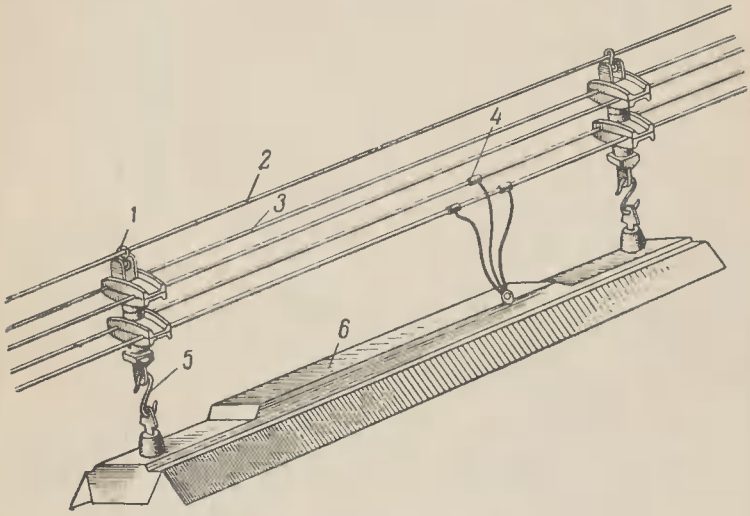


Рис. 19. Пример подвески светильника на тросе.

1 — подвеска тросовой проводки с обоймой типа У934; *2* — несущий трос; *3* — питающий провод; *4* — ответвительный зажим типа У730; *5* — крюк; *6* — светильник.

Отрезок трубы на конце узла, предназначенный для соединения сваркой с коробкой соседнего узла, поставляется на монтаж без проводов во избежание порчи их при сварке. В процессе сборки отдельных узлов выполняются: соединение труб, затяжка проводов в трубы в местах соединения узлов и ответвление проводов в коробках к светильникам.

Несущие стальные трубы, предназначенные для подвески люминесцентных светильников, закрепляются жестко вдоль ферм или свободно подвешиваются на струнных подвесках и оттяжках диаметром 5—6 *мм* к фермам и потолочным конструкциям зданий. Устройство струнных подвесок и оттяжек для несущих труб выполняется так же, как и для несущего троса, и пока-

зано на рис. 18. Нижний конец подвесок и оттяжек закрепляется к трубе с помощью специальных хомутов, предназначенных также и для подвески светильников на трубах. В местах установки светильников расстояние между подвесками и оттяжками не превышает 3 *м*.

Монтаж светильников на несущих трубах осуществляется путем подвешивания их с помощью специальных крюков и хомутов, как показано на рис. 20.

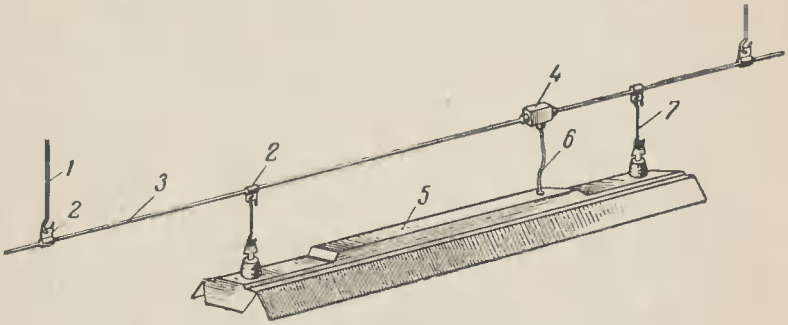


Рис. 20. Пример подвески светильника на трубах.

1 — вертикальный подвес; *2* — хомут; *3* — несущая труба; *4* — ответвительная коробка; *5* — светильник; *6* — провод или кабель; *7* — крюк для подвески светильника.

Монтаж светильников на коробах. Для подвески люминесцентных светильников используются короба заводского изготовления: специальные серии КЛ (рис. 21), а также предназначенные для прокладки проводов (К815) *.

Короба предназначены для однорядной или двухрядной подвески светильников типа ОД или ОДО с люминесцентными лампами и прокладки в них проводов питающей сети и поставляются со всеми элементами, обеспечивающими подвеску светильников. Короба имеют длину 2 *м* и соединяются между собой с помощью соединительных скоб и винтов. Непрерывность электрической цепи обеспечивается сваркой мест соединения коробов, а заземление светильников — путем присоединения его корпуса к нулевому проводу. Провода или кабели вводятся с торцов крайних коробов через за-

* Изделия, отмеченные серией или индексом в скобках, изготовляются заводами Главэлектромонтажа.

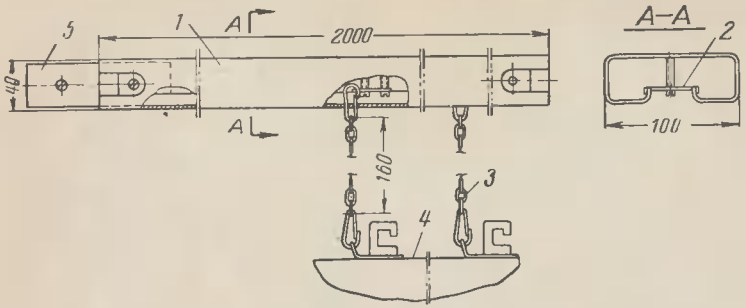


Рис. 21. Короб серии КЛ для светильников с люминесцентными лампами.

1 — короб; *2* — держатель; *3* — цепочка; *4* — светильник; *5* — соединительная скоба; в разрезе *А—А* цепочки не показаны.

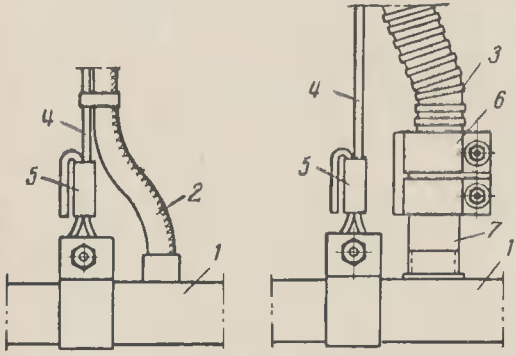


Рис. 22. Ввод питающей сети в короб.

1 — короб; *2* — кабель; *3* — металлорукав; *4* — вертикальный подвес; *5* — обойма; *6* — соединительная муфта; *7* — патрубок.

глушки, привариваемые на монтаже, или через отверстия в верхней части короба, образуемые по месту (рис. 22).

Короба подвешиваются на вертикальных подвесках и продольных оттяжках, которые закрепляются к фермам или потолочным конструкциям зданий с помощью крепежных конструкций (рис. 23).

Подвески и оттяжки располагаются аналогично расположению их при тросовых проводках (рис. 18). Для

подвесок и оттяжек применяется проволока диаметром 6 *мм*.

Подвески и оттяжки с крепежными конструкциями соединяются петлями, выполняемыми с применением стальных обойм. Нижние концы подвесок соединяются с коробом скобами, захватывающими короб, и натяжными муфтами, которые предназначены для регулирования длины подвеса.

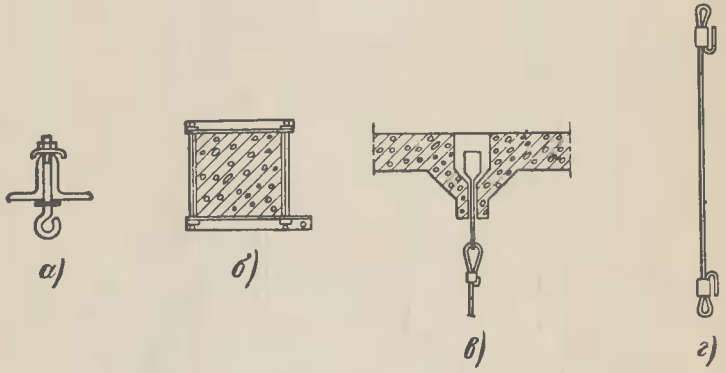


Рис. 23. Крепежные конструкции для подвески коробов.
а — крюк для крепления к металлической ферме; *б* — конструкция для крепления к железобетонной ферме; *в* — серьга для крепления к перекрытию; *г* — подвес.

Провода светильников с проводами питающей сети соединяются малогабаритными зажимами. Магистральные провода с ответвлениями прокладываются внутри короба после его закрепления и сварки планок, обеспечивающих непрерывность электрической цепи. Светильники заземляют отдельным проводом, который присоединяется к корпусу светильника и нулевому проводу.

Короба (К815), предназначенные для прокладки проводов, в ряде монтажных организаций используются и для подвески светильников. Эти короба прикрепляются к фермам и потолочным конструкциям зданий с помощью крепежных конструкций, применяемых и для коробов серии КЛ (рис. 23). Короб к подвеске прикрепляется с помощью ушка, приваренного к коробу, и крюка на нижнем конце подвески.

Провода питающей сети прокладывают внутри короба; ответвления от них к светильникам выводят через отверстие, образованное по месту.

Подвеска светильников к этим коробам осуществляется с помощью специальных крюков и приваренных к коробу ушек (рис. 24).

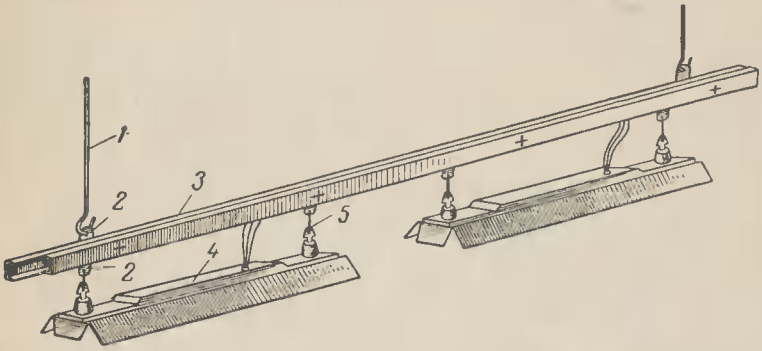


Рис. 24. Подвеска светильника на коробе.

1 — подвеска; *2* — ушко для подвески короба и светильника; *3* — короб типа К815; *4* — светильник; *5* — крюк.

Для подвески люминесцентных светильников типов ОД и ОДО применяются также короба, изготавливаемые в мастерских монтажных организаций из листовой стали 1,5 *мм*, длиной до 7 *м*, свариваемые из отдельных частей с помощью коробчатых накладок. Способ монтажа светильников на этих коробах показан на рис. 25.

Короба между собой соединяются винтами через отверстия на одном конце короба и в коробчатой накладке, приваренной к противоположному концу. Провода питающей сети, замаркированные на концах, прокладываются внутри короба. Провода светильников с проводами ответвлений от питающей сети соединяются с помощью малогабаритных зажимов, устанавливаемых на крышках монтажных отверстий, которые расположены в верхней части короба против каждого светильника.

Светильники закрепляются к коробам с помощью специальных скоб и шпилек, зашплинтованных на концах, а на время ремонтных работ подвешиваются на

цепочках-держателях, устанавливаемых внутри короба. При закреплении светильника провода ответвлений и цепочки убираются в короб. Неприкрываемая светильниками щель короба закрывается крышками на винтах.

Монтажные узлы электропроводки с применением этих коробов представляют собой полностью законченное устройство, включая установку светильников, проверку схем и испытание напряжением. Узлы электропроводки при длине коробов не менее 4 *м* доставляются на монтаж в специальных приспособлениях (контейнерах), которые обеспечивают их сохранность при транспортировке. Одно из таких приспособлений показано на рис. 26.

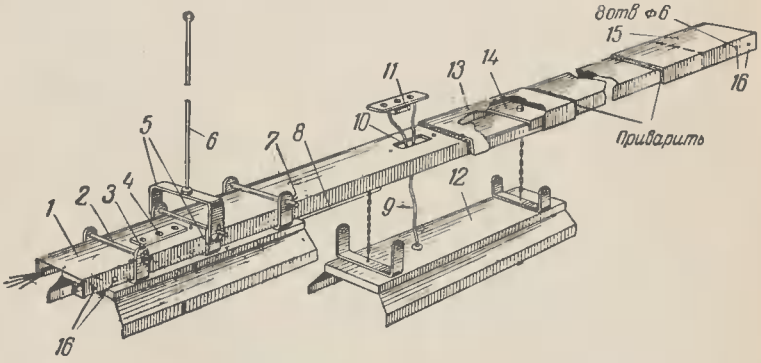


Рис. 25. Подвеска светильников на коробе.

1 — секция короба; *2* — шпилька; *3* — скоба для крепления светильника; *4* — крышка монтажного отверстия; *5* — скоба подвески; *6* — подвеска; *7* — шплинт; *8* — крышка; *9* — провод; *10* — монтажное отверстие; *11* — малогабаритный зажим; *12* — светильник; *13* — накладка; *14* — держатель с цепочкой; *15* — соединительная накладка; *16* — отверстия для соединения секций.

На месте монтажа работы сводятся к установке крепежных конструкций с подвесками, подъему монтажных узлов, соединению их и закреплению на подвесках. Подвеска из проволоки диаметром 8 *мм* на верхнем конце имеет крюк, а на нижнем — нарезку длиной 100 *мм*. Закрепление верхнего конца подвески к фермам и потолочным конструкциям зданий выполняется крепежными изделиями (рис. 23).

Подвески к коробу прикрепляют двумя специальными скобами, одна подкладывается снизу короба, другая

зажимается между двумя гайками на нижнем конце подвески. Концы скоб через отверстия на их концах соединяются между собой шпилькой.

Непрерывность электрической цепи обеспечивается сваркой мест соединения коробов. Светильники заземляются отдельным проводом, который присоединяется к корпусу светильника и нулевому проводу.

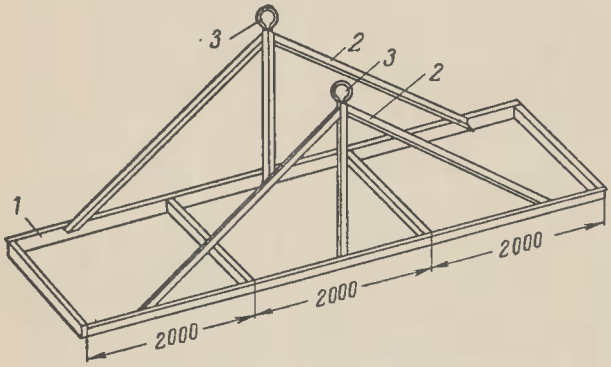


Рис. 26. Приспособление для транспортировки длинномерных узлов жесткой электропроводки.

1 — рама из угловой стали № 5; *2* — конструкции жесткости из угловой стали № 4; *3* — кольца для захвата стропами.

Провода и кабели в короба вводятся аналогично вводам в специальные короба (рис. 22). Подвеска светильников на коробе показана на рис. 25.

Монтаж светильников на щелевых конструкциях. Щелевые конструкции предназначаются для подвески светильников с люминесцентными лампами и прокладки по ним проводов питающей сети (рис. 27). Щелевые конструкции изготовляются в виде прямых секций длиной до 7 *м*, а также секций различной формы, отвечающей требованиям архитектурного оформления внутренней части зданий.

Щелевая конструкция представляет собой сдвоенные — параллельно расположенные несущие полосы преимущественно из стали углового профиля 25×25 или 30×30 *мм*, сваренные между собой с промежутком 9—11 *мм*.

Для образования равномерной щели по всей длине конструкции в нее вваривают распорные сухари через каждые 1,5—2 *м*.

Конструкции между собой соединяются винтами через отверстия на одном конце конструкции и в соединительной планке, заложенной в щель и приваренной на конце конструкции. Соединительными планками и запол-

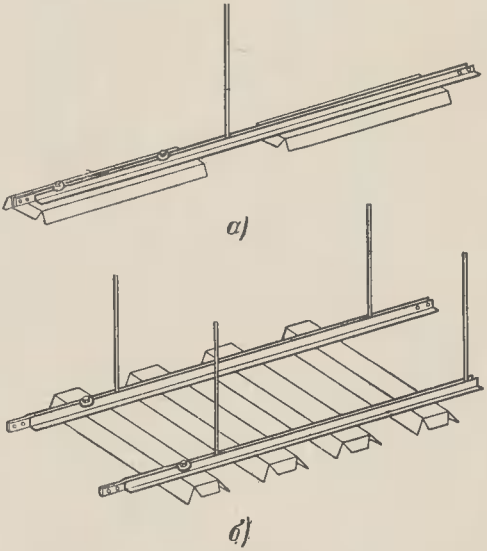


Рис. 27. Щелевые конструкции для крепления светильников.

а — продольное крепление; *б* — поперечное крепление.

нителями зазоров щели в местах соединений конструкций служит полосовая сталь 25×4 *мм*.

Непрерывность электрической цепи обеспечивается сваркой мест соединений щелевых конструкций. Корпус светильника заземляется присоединением к нулевому проводу питающей сети.

Конструкции к потолочным элементам зданий прикрепляют с помощью подвесок из проволоки диаметром 8—10 *мм* с нарезкой на концах на длине 100—150 *мм*. Подвеска с навернутыми гайкой и контргайкой пропускается через поддерживающую конструкцию (в виде

угольника или планки) и отверстие в перекрытии. Подвески устанавливаются через 3 *м* при расположении светильников вдоль линии и через 2 *м* при расположении поперек линии. Нижний конец подвесок закрепляется с щелевой конструкцией с помощью гаек и контргаек.

Применение щелевых конструкций позволяет осуществить разнообразное расположение светильников: продольное и поперечное по отношению к оси линии (рис. 27), по замкнутому кругу, многоугольнику и т. п.

Светильники монтируются с помощью болтов, устанавливаемых через щель конструкции.

Для удобства монтажа электросети конструкции сложной конфигурации монтируются в подвешенном состоянии на высоте 1,5—2 *м* от пола. По окончании прокладки проводов или кабелей, закрепления и подключения светильников конструкции поднимаются с помощью подъемного механизма и нескольких стропов и закрепляются на подготовленных подвесках.

Люминесцентные светильники на щелевых конструкциях смонтированы в зрелищных и выставочных помещениях, в частности, на Выставке достижений народного хозяйства.

Монтаж светильников на специальных площадках. Для удобства монтажа и эксплуатации в цехах промышленных предприятий (при отсутствии мостовых кранов) применяются электропроводки, которые монтируются на специальных металлических площадках, устанавливаемых на нижних поясах ферм (рис. 28). Электропроводки в коробах или стальных трубах отличаются небольшой разновидностью узлов и деталей и позволяют большую часть работ по монтажу, включая прокладку проводов, выполнять в мастерских. На месте монтажа работы по устройству электропроводки на площадках сводятся к сборке узлов проводки, закреплению их сваркой и монтажу светильников. Светильники монтируются на кронштейнах с подкосами, которые закрепляются сваркой к перилам площадок и подвесок из стального канатика диаметром 1,95 *мм*. Канатик позволяет поднимать светильники на площадку для ремонтных работ и замены ламп.

Ответвления от питающей сети (проложенной внутри короба) к светильникам выводятся через отверстия, вы-

полняемые по месту, и прокладываются от короба до кронштейна в металлорукаве или другим способом, защищающим провод.

Непрерывность электрической цепи обеспечивается сваркой мест соединения коробов или труб или приваркой их к площадке, имеющей сварные соединения. Светильники заземляются отдельным проводом, который

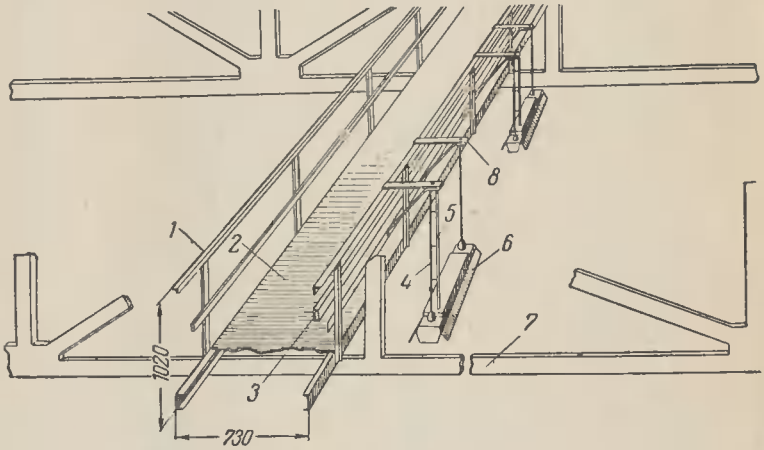


Рис. 28. Пример подвески светильников на специальной площадке.
1 — перила; *2* — площадка; *3* — короб для питающей сети; *4* — подвески; *5* — провод; *6* — светильник; *7* — нижний пояс фермы; *8* — кронштейн.

присоединяется к корпусу светильника и к нулевому проводу питающей сети.

Специальные площадки применяются также на чердаках, расположенных над подвесными потолками для электропроводок, светильники которых размещаются на прогонах площадок над проемами в потолке. Пример устройства площадок на чердаке и установки светильников приведен на рис. 29.

Светильники монтируются с помощью поворотных приспособлений, фиксирующих их в разных положениях и обеспечивающих возможность выполнения ремонтных работ и смену ламп (рис. 30).

Присоединение ламп к питающей сети производится с помощью штепсельного разъема и гибкого кабеля, имеющего третий заземляющий провод (рис. 31).

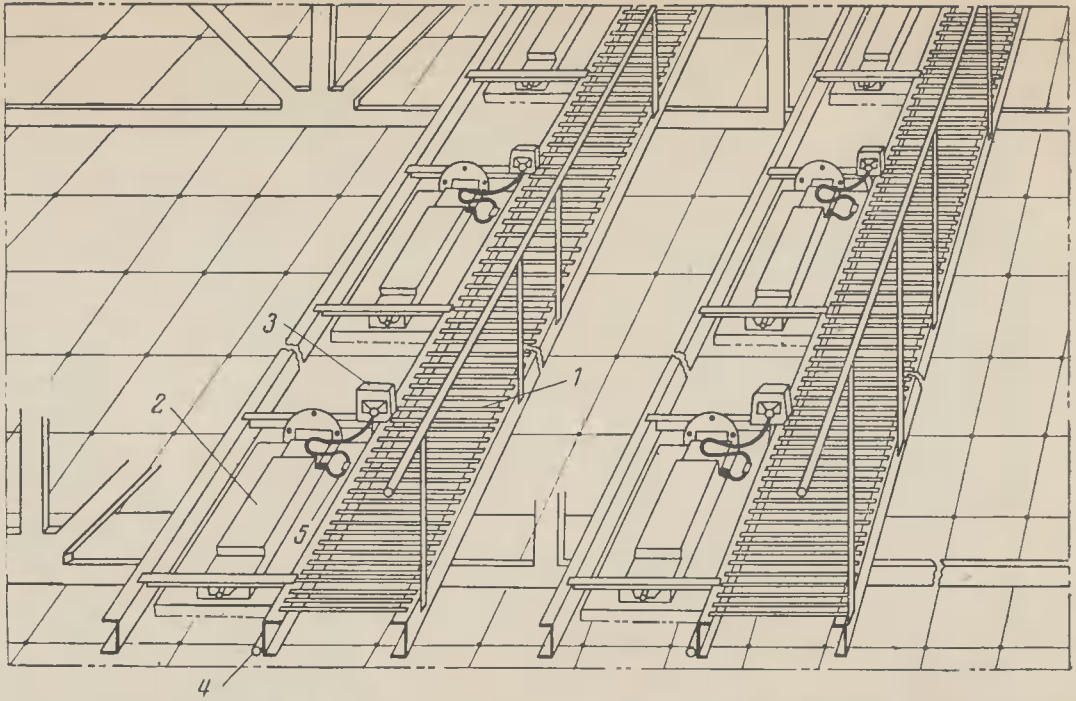


Рис. 29. Пример установки светильников над подвесным потолком.

1 — специальная площадка; *2* — светильник; *3* — штепсельный разъем; *4* — труба для питающей сети. *5* — малогабаритный зажим.

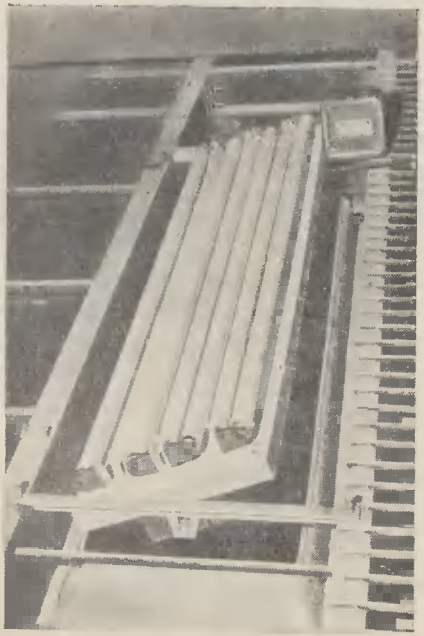


Рис. 30. Монтаж светильника на поворотном приспособлении. Светильник повернут.

Рис. 31. Присоединение светильника с помощью штепсельного разъема.

Рис. 32. Размещение светильников в проемах подвесного потолка.

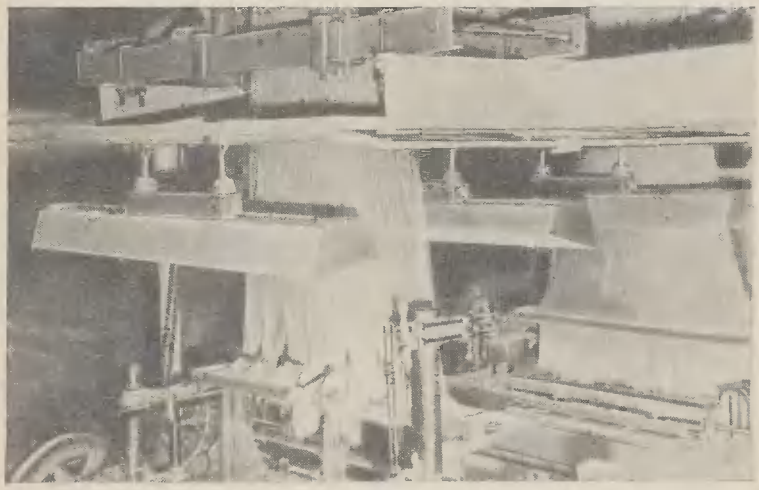


Рис. 33. Пример применения светильников для местного освещения.

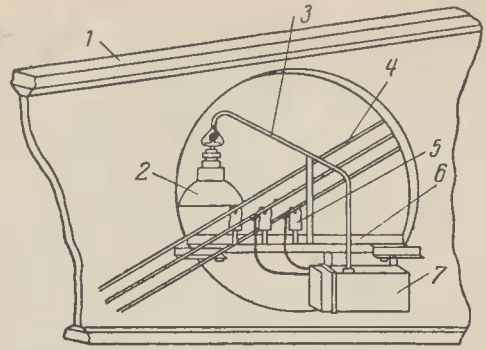


Рис. 34. Пример установки для ртутной лампы типа ДРЛ на таврообразной балке.

1 — железобетонная балка; *2* — светильник; *3* — кронштейн; *4* — питающие провода; *5* — фарфоровый изолятор; *6* — опорная конструкция; *7* — пускорегулирующий аппарат.

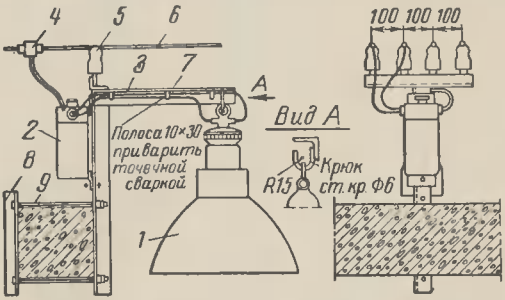


Рис. 35. Пример подвески светильника для ртутной лампы типа ДРЛ на железобетонной ферме.

1 — светильник; *2* — пускорегулирующий аппарат; *3* — кронштейн; *4* — ответвительный зажим типа У730; *5* — фарфоровый изолятор; *6* — питающий провод; *7* — полоска для крепления провода; *8* — крепежный уголок; *9* — шпилька.

Общий вид размещения светильников в проемах подвесного потолка дан на рис. 32.

Светильники с люминесцентными лампами применяются также и для местного освещения. Монтаж светильников для местного освещения на конструкциях ткацких машин показан на рис. 33.

Монтаж ртутных ламп типа ДРЛ. В цехах промышленных предприятий и других высоких помещениях применяются ртутные люминесцентные лампы типа ДРЛ, включаемые в сеть через пускорегулирующие аппараты (ПРА). Электропроводки к этим лампам, как правило, монтируются в открытом исполнении на изоляторах. Примеры установки светильника для ртутной лампы типа ДРЛ и выполнения открытой проводки на большой высоте приведены на рис. 34 и 35.

Светильники, пускорегулирующие аппараты, провода питающей сети монтируются с применением конструкций, которые закрепляются на фермах и балках с помощью хомутов и захватов.

9. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА ОТВЕТВЛЕНИЙ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Ответвления от питающей сети выполняются: а) в тросовых или других электропроводках с открыто проложенными проводами — открыто с соединением проводов пайкой, опрессовкой или сжимами; б) в электропроводках, выполненных кабелем или проводом в трубах — в ответвительных коробках сваркой, пайкой или опрессовкой; в) в электропроводках в металлических коробах — внутри короба сваркой, пайкой, опрессовкой или сжимами.

Электросварка однопроволочных жил проводов сечением до 10 *мм*^{2} выполняется от трансформатора мощностью 0,5 *ква* при напряжении вторичной обмотки 9—12 *в* с помощью держателя с угольным электродом. Схема соединения сваркой однопроволочных алюминиевых жил проводов производится путем сплавления их концов, предварительно зачищенных до блеска, скрученных и покрытых флюсом (рис. 36). Сварка заканчивается после появления на торцах скрученных жил шарика расплавленного металла.

При сварке концы соединяемых жил желательно располагать вертикально скруткой вниз, под скруткой — угольный электрод (рис. 37). Можно, однако, производить сварку при расположении концов жил скруткой вверх. При сварке к концам соединяемых жил можно прижать любое место угольного электрода. При загряз-

нении шлаками угольный электрод зачищают напильником.

Флюс и его изготовление. Флюс служит для удаления пленки окиси алюминия с поверхности свариваемых жил и для защиты алюминия от окисления в процессе сварки. При сварке алюминия рекомендуется флюс ВАМИ (Всесоюзный институт алюминия и магния), так как он по

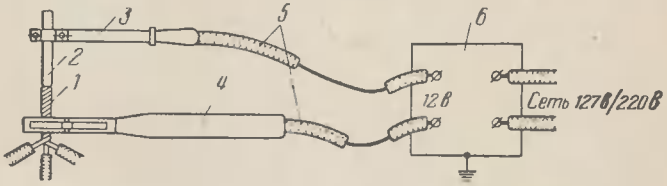


Рис. 36. Схема электросварки алюминиевых проводов контактным разогревом.

1 — концы жил, очищенные от изоляции; *2* — угольный электрод; *3* — электрододержатель; *4* — плоскогубцы; *5* — провода к трансформатору; *6* — трансформатор.

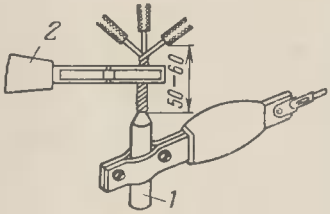


Рис. 37. Сварка при помощи электрода *1* и плоскогубцев *2*.

сравнению с другими флюсами меньше способствует коррозии.

Флюс представляет механическую смесь хлористого калия 50%, хлористого натрия 30% и криолита марки К-1 20% (по весу), предварительно измельченных путем растирания и просеянных через сито с числом отверстий 1 200 на 1 *см*^{2}.

Флюс хранят в герметически закрытых банках.

Флюс, разведенный в воде (на 100 *г* порошкообразного флюса требуется 35 *г* воды) до сметанообразного состояния, наносится тонким слоем на свариваемые

концы жил. Избыток флюса не способствует сварке, не повышает прочности соединения, но увеличивает коррозию. Для защиты от коррозии свариваемые соединения и ответвления проводов после сварки покрывают влагостойким глифталевым ГФ-95 (1154), асфальтовым, полихлорвиниловым, эмалевым или другим изоляционным лаком.

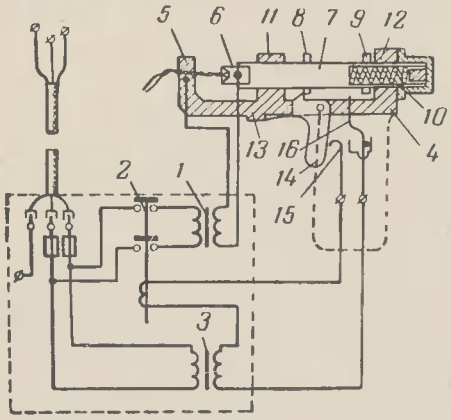


Рис. 38. Принципиальная схема сварочного аппарата типа ВКЗ-1.

Сварочный аппарат типа ВКЗ-1. Соединение алюминиевых проводов сечением до 6 *мм*^{2} осуществляется также электросваркой с помощью аппарата ВКЗ-1 без применения флюса. Схема аппарата приведена на рис. 38.

Основными узлами аппарата являются: сварочный трансформатор *1* 220/10 *в*, контактор *2* с катушкой на 36 *в*, трансформатор *3* 220/36 *в* для цепи управления и сварочный прибор *4*. Сварочный прибор имеет раздвижные губки *5* для сжатия свариваемых проводов и угольный электрод *6*, зажатый на конце полого стержня *7*, имеющего снаружи бортики *8* и *9* и внутри — пружину *10*. Полый стержень *7* может поступательно перемещаться в отверстиях стоек *11* и *12* основания *13*, на котором укреплен спусковой рычаг *14*. В нажатом положении этот рычаг замыкает расположенный в полой рукоятке прибора контакт *15* цепи управления.

160—1

Работа аппаратом ВКЗ-1 производится следующим образом.

Аппарат устанавливают вблизи места сварки и присоединяют к сети 220 *в* кабелем ШРПС, 3×1 *мм*^{2} со специальной трехштырьковой штепсельной вилкой, в которой один из штырей служит для заземления корпуса аппарата. Затем сварочный прибор подготавливают к сварке. Для этого полый стержень *7* подают рукой назад до упора, вследствие чего пружина *10* сжимается, а бортик *8* заскакивает за зуб спускового рычага *14*, удерживая стержень *7* от продвижения вперед. После этого раскрывают губки *5*, нажимая большим пальцем на их рычаг (на рис. 38 не показан). Предварительно зачищенные на длине 35—40 *мм* скрученные вместе концы жил вставляют в «ванночку» (коническую выточку) угольного электрода *6*. При отпускании рычага скрутка свариваемых проводов прочно зажимается между губками.

Аппарат готов к сварке.

Сварка осуществляется с момента нажатия на спусковой рычаг *14* и в дальнейшем выполняется автоматически. При нажатии на спусковой рычаг *14* бортик *8* освобождается и полый стержень *7* под действием пружины *10* нажимает угольным электродом *6* на скрученные концы свариваемых жил. Продолжая нажимать на спусковой рычаг, замыкают контакты *15* и *16*, включая катушку контактора *2* (реле МКУ-48). При срабатывании контактора включается сварочный трансформатор *1*, от вторичной цепи которого через место контакта между угольным электродом и скруткой свариваемых концов жил проходит ток 250—280 *а*. Благодаря значительному выделению тепла в месте контакта конец скрутки начинает расплавляться. Упирающийся в него угольным электродом полый стержень *7* под действием пружины *10* перемещается в сторону губок (характеристика пружины подобрана так, чтобы давление угольного электрода на концы свариваемых проводов сочеталось со скоростью их оплавления). При перемещении полого стержня *7* на строго определенное расстояние (предусмотренное конструкцией аппарата и обеспечивающее образование в «ванночке» угольного электрода «бобышки» оптимального размера) бортик *9* отжимает планку контакта *16*, и отключает контактор. Сварочный трансфор-

460—2

матор отключается и сварка прекращается независимо от воли оператора.

После отключения трансформатора полый стержень с угольным электродом еще подвигается в сторону губок на расстояние порядка 1 *мм*, пока бортик *8* не упрется в стойку *11*. За это время в «ванночке» угольного электрода остывает расплавленный металл. Нажимая большим пальцем на рычаг, монтер раскрывает губки и освобождает сваренные концы жил.

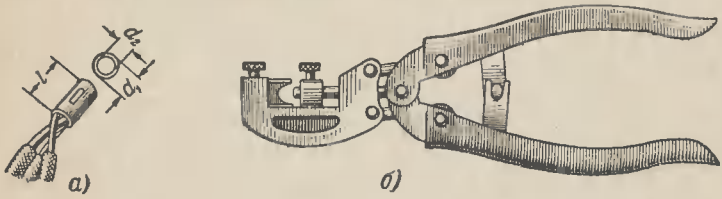


Рис. 39. Соединение алюминиевых жил опрессовкой с помощью клещей типа ПК-1 или ПК-2.
а — готовое соединение; *б* — клещи типа ПК-2.

При продвижении угольного электрода вперед происходит раздавливание имевшейся на алюминиевых проводах оксидной пленки и выдавливание ее из места сварки.

Наряду со сваркой соединения однопроволочных алюминиевых жил сечением 2,5—10 *мм*² в ответвительных коробках выполняются опрессовкой местным вдавливанием, клещами ПК-1 или ПК-2 (рис. 39) в алюминиевых гильзочках с применением кварце-вазелиновой пасты.

В зависимости от числа и сечения опрессовываемых жил подбираются гильза, клещи, пуансоны, ма́трицы.

Гильзы и инструмент для опрессовки однопроволочных алюминиевых жил сечением 2,5—10 *мм*². Размеры и назначение гильз и необходимый для опрессовки инструмент указаны в табл. 10.

Зачищенные и смазанные пастой жилы вставляются в зачищенную внутри гильзу и опрессовываются. Если суммарное сечение жил меньше, чем это указано в табл. 10, то гильза заполняется изогнутыми концами соединяемых жил.

Опрессованное соединение изолируется полиэтиленовым колпачком.

Таблица 10

Типоразмер гильзы	Размеры, *мм*			Максимальное суммарное сечение жил, *мм*²	Инструмент		
					Маркировка		Тип клещей
	d_1	d_2	l		Пуансон	Матрица	
ГАО-4-1	7	4	11	7,5	4; 6	10	ПК-2
ГАО-5-1	9	5	14	13	16	16	
ГАО-6-1	11	6	18	20,5	25; 35; 50	25Н; 25С	ПК-1
ГАО-8-1	14	8	18	32,5	25; 35; 50	50Н; 35Г; 50С	

Примечание. 1. Гильзы изготовляются из трубок по ГОСТ 1747-56. 2 d_1 и d_2—наружный и внутренний диаметры гильзы, l—длина.

Если магистральные провода прокладываются открыто на изоляторах (без разрезания магистрали) ответвления от них выполняются опрессованием, пайкой или на сжимах.

Опрессование способом сплошного обжатия применяется при соединении многопроволочных медных проводов сечением 1,5—2,5 *мм*². К очищенному от изоляции магистральному проводу прикладывается внахлестку очищенный конец провода отпайки. Место соединения проводов обертывается медной или латунной лентой. Обжатие производится клещами типа ПК-2 с помощью матриц и пуансонов, подобранных в соответствии с сечением соединяемых проводов.

Пайка при соединении как однородных, так и разнородных проводов, например проводов с медными и алюминиевыми жилами, выполняется мягкими припоями. Одним из наиболее употребляемых является припой *А*, который состоит из цинка 58—58,5%, олова 40% и меди 1,5—2% (по весу).

При пайке ответвлений однопроволочных проводов к очищенному от изоляции магистральному проводу прикладывается внахлестку очищенный конец провода отпайки и присоединяется двойной скруткой: в месте касания жил проводов образуется желобок, как показано на рис. 40.

Провода, соединенные двойной скруткой, нагревают пламенем бензиновой паяльной лампы до температуры, близкой к температуре плавления припоя *А*. После этого желобок протирается с одной стороны соединения с нажимом палочкой припоя, введенной предварительно

в пламя лампы. В результате трения оксидная пленка сдирается, по мере прогрева соединения желобок начинает облуживаться и заполняться припоем. Флюса не требуется.

После облудки желобка и заполнения его припоем с одной стороны соединения аналогично облуживается и заполняется желобок с другой стороны.

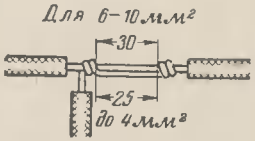


Рис. 40. Присоединение ответвления пайкой при двойной скрутке.

При ответвлении медного провода от алюминиевого зачищенный конец медного провода предварительно облуживается припоем марки ПОС-30.

Для открытых ответвлений внутри зданий, а также в коробах, целесообразно применять специальный ответвительный сжим в пластмассовом корпусе, который позволяет выполнять ответвления от медных и алюминиевых проводов без разрезания магистрали.

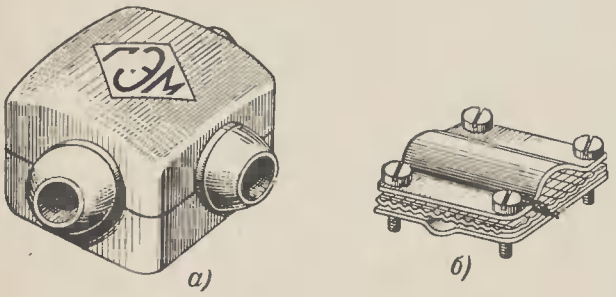


Рис. 41. Ответвительный сжим типа У730.
а — пластмассовый корпус; *б* — внутренняя часть сжима.

Ответвительный сжим У730 (рис. 41) в тройниковом пластмассовом корпусе предназначается для выполнения ответвлений проводом сечением 1—2,5 *мм*² от магистральных проводов сечением от 4 до 10 *мм*².

Сжим состоит из двух штампованных латунных квадратных пластинок с продольными полуцилиндриче-

скими желобами размером по диаметру жил магистральных и ответвительных проводов. Между этими пластинками помещается третья с рифленой поверхностью. Эта пластинка служит переходной. Она особенно необходима для соединения медных жил с алюминиевыми. Все три пластинки имеют антикоррозийное покрытие и соединяются между собой четырьмя винтами, расположенными по углам.

При выполнении ответвления сжимом с магистральных проводов в местах ответвления и с концов ответвительных проводов снимается изоляция, жилы проводов зачищаются до металлического блеска и покрываются кварце-вазелиновой пастой. Пластинка с рифленой поверхностью закладывается между соединяемыми жилами; две крайние пластинки накладывают по обе стороны соединения, после чего их до отказа зажимают винтами.

Разъемный пластмассовый корпус служит для изоляции и механической защиты места ответвления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенберг Ю. Б., что нужно знать о светильниках с люминесцентными лампами, издательство «Энергия», 1964.
2. Волоцкой Н. В., Люминесцентные лампы и схемы их включения в сеть, Госэнергоиздат, 1962.
3. Инструкция по соединению и оконцеванию изолированных проводов и кабелей с алюминиевыми жилами $\frac{\text{ВСН-71-62}}{\text{МС РСФСР}}$, Госэнергоиздат, 1963.
4. Лукачер В. Г., Осветительные устройства с люминесцентными лампами, Госэнергоиздат, 1959.
5. Малкин Д. Я., Применение газоразрядных источников света, издательство «Энергия», 1964.
6. Фугенфиров М. Н., Пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп, издательство «Энергия», 1964.
7. Черниговская Ф. М., Влияние пульсации светового потока люминесцентных ламп на состояние зрительных функций и работоспособность человека, «Светотехника», 1958, № 12.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Явления, происходящие при включении в электрическую сеть люминесцентных ламп 4
2. Принципиальная схема включения люминесцентной лампы 8
3. Особенности фазировки люминесцентных ламп 11
4. Схемы включения люминесцентных ламп с импульсным зажиганием 13
5. Эксплуатация устройств с люминесцентными лампами . . . 16
6. Сечения нулевых проводов в установках с люминесцентными лампами 24
7. Влияние токов третьей гармоники на работу трансформатора 34
8. Технология монтажа светильников с газоразрядными лампами 35
9. Технология монтажа ответвлений в осветительных сетях 57
Литература 64

Цена 11 коп.

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Имеются в продаже

Айзенберг Ю. В. Что нужно знать о светильниках с люминесцентными лампами. «Энергия». 1964.

Андриевский В. П., Эксплуатация деревянных опор линий электропередачи. Госэнергоиздат. 1962.

Ашкенази Г. И. и Холмянский Р. М. Электрооборудование театрально-зрелищных зданий. Госэнергоиздат. 1961.

Гомберг А. Е. и Мусаэлян Э. С. Проверка и испытания турбогенераторов в процессе монтажа. (Вторичные устройства). Госэнергоиздат. 1963.

Дадиомов М. С. Управление осветительными сетями. «Энергия». 1964.

Демчев В. И. и Царьков В. М. Прожекторное освещение. Госэнергоиздат. 1962.

Дормакович П. А. и др. Изготовление и обслуживание газосветных установок. Госэнергоиздат. 1962.

Иевлев В. И. и Рябцев Ю. И. Монтаж трансформаторов напряжением 500 *кв*. Госэнергоиздат. 1961.

Ильин Е. В. Монтаж электрооборудования мостовых кранов. Госэнергоиздат. 1962.

Камнев В. С. Подшипники качения в электрических машинах. Госэнергоиздат. 1960.

Сохранский С. Т. и Хромченко Г. Е. Эпоксидные кабельные муфты и заделки. Госэнергоиздат. 1963.

Фугенфиров М. И. Пускорегулирующая аппаратура для люминесцентных ламп. «Энергия». 1964.

Фингер А. А. Ртутные выпрямители. «Энергия». 1964.

Чернов К. К. Обслуживание трансформаторов. «Энергия». 1964.

Издательство книг не высылает.

Перечисленные в настоящем списке книги требуйте в магазинах Книготорга, в случае отсутствия книг в местных магазинах заказы следует направлять по адресу: Москва, К-50, ул. Медведева, 1. Отдел «Книга — почтой» магазина № 8 «Техническая книга». Заказанные книги будут высланы в адрес заказчика наложенным платежом.