

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра электротехники

С. Л. КУРИЛИН

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
И ТЕХНОЛОГИЯ
ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Учебно-методическое пособие

Часть 3

ТЕХНОЛОГИЯ
ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Одобрено методической комиссией электротехнического факультета

Гомель 2010

УДК 621.3(075.8)
ББК 31.2
К93

Рецензент – зав. кафедрой «Электроподвижной состав» канд. техн. наук, доцент
В. С. Могила (УО «БелГУТ»).

Курилин, С. Л.

К93 Электротехнические материалы и технология электромонтажных работ : учеб.- метод. пособие. В 3 ч. Ч. 3. Технология электромонтажных работ / С. Л. Курилин ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 112 с.
ISBN 978-985-468-681-3 (ч. 3)

Описаны виды и способы выполнения электрических соединений, прокладки сетей электроснабжения и электропроводок, а также технология монтажа электрооборудования и электронной аппаратуры.

Предназначено для студентов электротехнического факультета специальности 1-37 02 04 «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте».

УДК 621.3(075.8)
ББК 31.2

ISBN 978-985-468-681-3 (ч. 3)
ISBN 978-985-468-450-5

© Курилин С. Л., 2010
© Оформление. УО «БелГУТ», 2010

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Способы и технология выполнения электрических соединений.....	4
1.1	Скрутка и опрессовка.....	4
1.2	Сварка.....	8
1.2.1	Электродуговая сварка	8
1.2.2	Сварка электроконтактным разогревом	12
1.2.3	Термитная сварка	14
1.2.4	Газовая сварка	17
1.3	Пайка.....	19
1.4	Разборные соединения.....	24
1.5	Соединение алюминия с медью.....	27
1.6	Технология электроизоляционных работ.....	28
2	Монтаж сетей электроснабжения.....	30
2.1	Трёхфазная система электроснабжения.....	32
2.2	Воздушные линии электропередачи.....	35
2.2.1	Опоры изоляторы и провода воздушных ЛЭП.....	37
2.2.2	Монтаж воздушной линии электропередачи.....	39
2.3	Кабельные линии электропередачи.....	41
2.3.1	Конструкция и разновидности силовых кабелей.....	41
2.3.2	Прокладка кабелей.....	44
2.3.3	Концевые заделки и кабельные муфты.....	47
3	Технология прокладки электропроводок.....	49
3.1	Провода и кабели, применяемые в электропроводках	49
3.2	Скрытые электропроводки.....	51
3.3	Открытые электропроводки.....	54
3.4	Электропроводки в кабельных каналах	58
3.5	Электропроводки на лотках.....	59
3.6	Электропроводки в трубах.....	60
4	Монтаж электрооборудования и электронной аппаратуры.....	62
4.1	Классификация электрооборудования.....	62
4.2	Монтаж распределительных устройств.....	63
4.3	Монтаж электрических машин.....	66
4.4	Монтаж осветительных установок.....	73
4.5	Монтаж электронной аппаратуры.....	78
5	Монтаж и подключение устройств защиты.....	89
5.1	Защитное заземление и зануление.....	89
5.2	Системы заземления.....	94
5.3	Разрядники, предохранители и автоматические выключатели.....	98
5.4	Устройства защитного отключения	103
	Вопросы к контрольной работе и зачёту.....	107
	Приложение А. Монтаж кабельной муфты.....	109
	Список литературы.....	112

1 СПОСОБЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Электрический контакт, выполняемый при оконцевании, соединении и ответвлении жил проводов и кабелей, а также при подключении их к контактным выводам электрооборудования, должен обладать высокой электропроводностью и механической прочностью.

Электрическое соединение может быть неразборным и разборным. Выполнение неразборных соединений связано с необратимыми изменениями соединяемых деталей. При скрутке и опрессовке происходит пластическая деформация под действием сжимающих усилий. При сварке (электродуговой, электроконтактным разогревом, термитной, в пламени газовой горелки) происходит частичное расплавление зоны сварного шва с последующей кристаллизацией. Паяное соединение является промежуточным видом, оно может быть разобрано (распаяно) при нагреве выше температуры плавления припоя. Болтовое соединение является разборным.

1.1 Скрутка и опрессовка

Скрутка не является законченным видом соединения. Скрученные провода и жилы должны быть обязательно сварены по торцам, или пропаяны, или опрессованы, либо на них должен быть накручен соединительный изолированный зажим (СИЗ).

Различают два способа опрессовки – местного вдавливания и сплошного обжатия. Опрессовку выполняют ручными клещами, а также механическими, пиротехническими или гидравлическими прессами с помощью сменных пуансонов и матриц (рисунок 1.1).

Способ местного вдавливания заключается в том, что на соединительной гильзе, либо на на лицевой стороне трубчатой части нако-

нечника делают лунки. Во время опрессовки следят за тем, чтобы лунки были расположены соосно опрессовываемой жиле и друг другу. Остаточная после опрессовки толщина материала нормируется в зависимости от сечения и типа гильзы.

Последовательность операций при опрессовке алюминиевых жил способом местного вдавливания:

1 Выбирают наконечник или соединительную гильзу, пуансон, матрицу и механизм для опрессовки согласно инструкции или справочнику.

2 Проверяют наличие слоя **кварцевазелиновой пасты** на внутренней поверхности наконечника или гильзы. Наполнителем кварцевазелиновой пасты является дробленый песок. Осколки песчинок имеют острые края, которые при деформации алюминиевых деталей сцарапывают оксидную плёнку с их поверхностей, обеспечивая соприкосновение по металлу. Вазелин препятствует доступу кислорода воздуха к зачищенным поверхностям. Если наконечники или гильзы получены с завода несмазанными, то их внутреннюю поверхность очищают ветошью, смоченной в бензине, а затем смазывают пастой.

3 Снимают с концов жил изоляцию. При оконцевании изоляция снимается на длине, равной трубчатой части наконечника, а при соединении – на длине, равной половине размера гильзы.

4 У жил с бумажной пропитанной изоляцией удаляют остатки пропиточного состава. Для этого жилу протирают ветошью, смоченной в бензине.

5 Секторные жилы округляют. Операцию округления многопроволочных жил выполняют плоскогубцами, а однопроволочных – при помощи механического или гидравлического пресса, в который вместо пуансона и матрицы устанавливают специальные вкладыши.

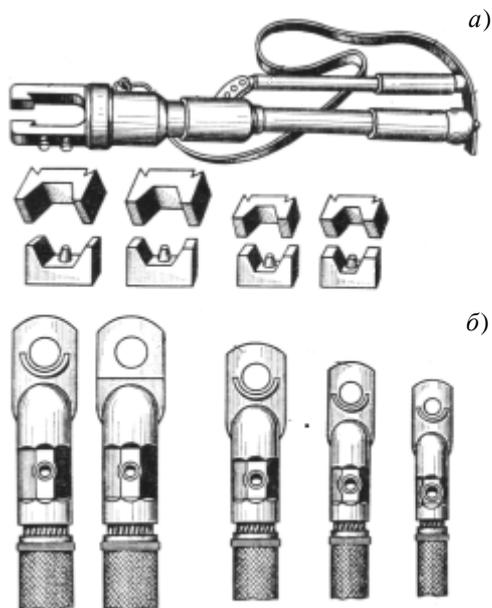


Рисунок 1.1 – Пресс (а) и наконечники (б)

6 Зачищают жилы до металлического блеска. Для этой операции используют щетку из кардоленты или наждачную бумагу.

7 Алюминиевые жилы сразу же смазывают кварцевазелиновой пастой.

8 Надевают на жилы наконечник или гильзу. При оконцевании жилу вводят в наконечник до упора, а при соединении – так, чтобы торцы соединяемых жил соприкасались между собой в середине гильзы.

9 Трубчатую часть наконечника или гильзу устанавливают в матрицу и производят сжатие до упора.

10 При опрессовке алюминия электрический контакт дублируется.

Если используют однозубый пуансон, то на наконечнике делают два вдавливания, а на гильзе – четыре, по два вдавливания на каждый конец соединяемых жил.

11 Для контроля качества соединения специальным измерителем или штангенциркулем с насадкой измеряют остаточную толщину соединения.

12 Острые края гильзы опиливают напильником или зачищают наждачной бумагой.

13 Выполненное контактное соединение протирают ветошью, смоченной в бензине, а затем обматывают изоляционной лентой.

При опрессовке соединений жил кабелей 6–10 кВ принимают меры для **выравнивания электрического поля**, симметрия которого нарушается против мест вдавливания.

Зоны сгущения линий электрического поля могут являться очагами возникновения частичных разрядов, приводящих к ускоренному старению и пробое изоляции. Во избежание этих явлений непосредственно на гильзу накладывают экран из одного слоя полупроводящей бумаги.

При опрессовке медных однопроволочных и многопроволочных жил сечением от 4 до 240 мм² последовательность операций та же, что и при опрессовке алюминиевых жил, но есть некоторые особенности:

– не требуется смазка кварцевазелиновой пастой;

– не требуется дублирование электрического контакта.

Опрессовку медных наконечников и гильз выполняют пуансоном с одним зубом. На трубчатой части наконечника выполняют одно вдавливание, на гильзе – два (по одному на каждый конец соединяемых жил).

Технология опрессовки алюминиевых жил малого сечения (до 10 мм²):

1 Опрессовку соединений и ответвлений тонких алюминиевых жил выполняют в гильзах ГАО (гильза алюминиевая опрессовочная) при одностороннем вводе жил в гильзу.

2 Гильзу выбирают в соответствии с количеством и сечением соединяемых жил. При суммарном сечении соединяемых жил меньше внутреннего сечения гильзы следует ввести дополнительные проволоки для уплотнения места соединения.

3 Для изоляции места соединения применяют полиэтиленовые колпачки.

Опрессовка медных многопроволочных жил малого сечения (от 1 до 2,5 мм²) выполняется способом обжатия пресс-клещами в кольцевом наконечнике.

Последовательность операций:

1 Выбирают соответствующие сечению жилы наконечник, пуансон и матрицу.

2 С конца жилы снимают изоляцию на длине 25–30 мм.

3 Зачищают жилу до металлического блеска и туго скручивают плоскогубцами.

4 Укладывают жилу в наконечник и надевают его на стержень пуансона так, чтобы жила выходила через желобок пуансона.

5 Производят обжим наконечника пресс-клещами до упора шайбы пуансона в торец матрицы.

Надёжность электрического контакта зависит от точности соблюдения инструкции. При выполнении операций опрессовки недопустимо:

– применять наконечники и гильзы, несоответствующие сечению и типу жилы;

– применять пуансоны и матрицы, несоответствующие указанным в Инструкции по оконцеванию, соединению и ответвлению алюминиевых и медных жил, изолированных проводов и кабелей и соединению их с контактами выводами электротехнических устройств;

– выкусывать проволоки для облегчения ввода жилы в наконечник или гильзу;

– производить опрессовку алюминия без смазки жил и гильз кварцевазелиновой пастой.

Соединение в гильзах болтами со срывающимися головками.

Гильзы из твёрдого специального сплава имеют отверстия с нарезанной резьбой. В эти отверстия вкручены болты, на шейках которых проточены канавки. Концы соединяемых жил вставляются в гильзы и зажимаются болтами до тех пор, пока головки болтов не обломаются под действием закручивающего усилия гаечного ключа. Длина болтов рассчитана так, что облом шейки происходит заподлицо с поверхностью гильзы. Для выравнивания картины электрического поля напротив обломанных шеек болтов и по краям гильзы используют специальный герметик с высокой диэлектрической проницаемостью.

При сечении соединяемых жил до 240 мм² используют гильзы с четырьмя болтами, от 300 до 400 мм² – с шестью болтами, при больших сечениях количество болтов увеличивают до 10.

1.2 Сварка

Сварка является наиболее производительным, экономичным и надёжным способом выполнения контактных соединений. Сваркой называется процесс получения неразъёмного соединения твердых металлов, осуществляемый за счет использования межатомных сил сцепления. Чаще всего этот эффект достигается плавлением участков соединяемых деталей и материала присадки или электрода в зоне сварного шва. Однако сварное соединение может быть получено и при плотном сжатии деталей одновременно с нагревом места контакта (точечная и шовная электроконтактная сварка) и даже без нагрева (сварка давлением и взрывом).

В электромонтажной практике сварку применяют для оконцевания и соединения алюминиевых жил проводов и кабелей всех сечений, для соединения медных и алюминиевых шин, стальных заземляющих проводников, магистралей и самих заземлителей, а также для крепления электрических аппаратов и деталей. При монтаже широко применяют четыре способа сварки: электродуговую, электросварку контактным разогревом, термитную и газовую. При изготовлении электроаппаратуры в заводских условиях применяют также сварку давлением, взрывом, магнитно-импульсную и электроконтактную сварку (точечную или шовную).

1.2.1 Электродуговая сварка

В 1802 г. академик Василий Владимирович Петров открыл явление электрической дуги и указал на возможность применения ее для расплавления металлов. Однако со времени этого открытия до технического применения прошло 80 лет. В 1882 г. Николай Николаевич Бенардос применил электрическую дугу для сварки, наплавки и резки металлов угольным электродом. Присадочный пруток, плавясь под действием тепла дугового разряда, заполняет сварочный шов. Для питания дуги была использована специальная батарея химических элементов. В 1888 г. Николай Гаврилович Славянов предложил выполнять дуговую сварку плавящимся металлическим электродом.

На это изобретение были выданы патенты в России, Франции, Германии, США, Великобритании и других странах мира. Н. Г. Славянов разработал металлургические основы электродуговой сварки, применил в качестве источника питания генератор и создал электросварочный аппарат, названный им электроплавильником, который явился прообразом современных сварочных автоматов. В 20 веке электродуговая сварка бурно развивалась и в настоящее время это очень распространенный и надежный вид соединения. Электродуговой сваркой выполняют все виды швов – нижний, горизонтальный, вертикальный и потолочный. При электромонтажных работах применяют: ручную сварку штучными электродами, механизированную (полуавтоматическую) сварку электродной проволокой, а также сварку неплавящимся электродом.

Ручная электродуговая сварка стали штучными электродами широко применяется при выполнении работ по креплению электрооборудования и монтажу цепей заземления. Слой обмазки электрода обеспечивает устойчивое горение дуги и защиту расплавленного металла от окисления.

Для питания сварочной цепи переменным током используют сварочные трансформаторы, а постоянным – выпрямители и генераторы. Сварку на постоянном токе выполняют как при прямой, так и при обратной полярности. Прямой полярности соответствует подключение отрицательного полюса к сварочному электроду, а положительного – к материалу. На постоянном токе устойчивее горит дуга, лучше качество шва, можно сваривать детали меньших размеров и применять электроды, обмазка которых содержит меньше вредных веществ. Однако источники постоянного тока сложнее, дороже и менее надежны в эксплуатации.

Механизированная (полуавтоматическая) сварка получила широкое распространение при изготовлении конструкций из тонколистовой стали. При работах в монтажной зоне используют ранцевые полуавтоматы, закрепляемые на спине плечевыми ремнями. По гибкому шлангу к сварочной горелке одновременно подаются электродная проволока и защитный углекислый газ, в струе которого и горит дуга. Для регулировки процесса сварки изменяют скорость подачи проволоки. Преимущества полуавтоматов – высокая производительность и лучшее качество шва. Полуавтоматическая сварка алюминия и сплавов выполняется в струе инертного газа аргона или смеси ар-

гона с гелием. Полуавтоматическую сварку медных шин выполняют только в нижнем положении (плашмя) под слоем флюса. Для питания сварочных полуавтоматов чаще используют выпрямители, реже трансформаторы, в последнее время всё шире применяют инверторные источники сварочного тока.

Сварка неплавящимся электродом широко используется для соединения деталей из алюминия и других цветных металлов и сплавов, а также легированной стали. В отдельных случаях при выполнении швов в нижнем положении до сих пор используют угольные электроды. Однако все чаще применяют сварку вольфрамовым электродом в струе инертного газа аргона. Аргонно-дуговая сварка позволяет соединять детали практически в любых пространственных положениях.

Особенности электродуговой сварки алюминия. Оксидная пленка на поверхности алюминиевых деталей обладает большой электрической прочностью. Напряжение холостого хода источников сварочного тока увеличено до 150 и более вольт. Для зажигания и устойчивого горения дуги применяют высокочастотные зажигающие и стабилизирующие импульсы амплитудой 800 и более вольт.

Особенности электродуговой сварки меди. Медь – тяжелый металл и обладает большой текучестью, поэтому горизонтальные, вертикальные и потолочные швы на медных шинах электродуговой сваркой выполнять практически невозможно. Электродуговую сварку медных шин выполняют в нижнем положении с применением графитных подкладок с канавкой под стыком. В монтажных условиях, если шины нельзя кантовать, применяют ацетиленкислородную сварку меди или пайку твёрдым припоем ПМЦ (припой медноцинковый).

Источники питания для электродуговой сварки. Для того чтобы разобраться во всем разнообразии источников питания для электродуговой сварки полезно рассмотреть физические процессы в самой сварочной дуге. Электрическая дуга возникает, если воздушный (газовый) промежуток между электродом и свариваемым изделием становится токопроводящим. Это происходит, когда он достаточно ионизирован, т. е. насыщен положительно заряженными ионами и электронами. Ионизация газового промежутка происходит под действием тепла, выделяющегося при протекании электрического тока. Это же тепло расплавляет материал сварочного электрода, сва-

рочной проволоки или присадки, а также частично расплавляет свариваемые детали с образованием сварочной ванны.

Зависимость тока сварочной дуги от напряжения между электродами имеет сложную форму (рисунок 1.2). При малых токах степень ионизации невелика и напряжение достигает 60 и более вольт. По мере увеличения тока до 80–100 А число заряженных частиц, а следовательно и проводимость дуги увеличивается, а напряжение между электродами снижается до 25–30 В.

При дальнейшем увеличении тока до 250–300 А напряжение плавно возрастает по закону $U = 20 + 0,04I$.

Таким образом, на вольт-амперной характеристике сварочной дуги можно выделить два участка: 1 – падающий, 2 – пловозрастающий.

Сварке штучными электродами соответствуют 1-й участок и начало 2-го, а сварке проволокой – 2-й.

Границы между участками зависят от толщины и материала применяемых электродов или проволоки и состава газов. Источник питания сварочной дуги должен иметь такую форму внешней характеристики, чтобы она пересекала ВАХ дуги в требуемом диапазоне сварочных токов, а также возможность регулирования тока в широких пределах. Применяют источники с наклонной, жёсткой и универсальной характеристиками.

Для получения наклонных характеристик используют:

- в сварочных генераторах – особый способ подключения обмоток возбуждения;

- сварочных трансформаторах – повышенное магнитное рассеяние или дополнительные дроссели;

- сварочных выпрямителях – балластные резисторы, трансформаторы с повышенным магнитным рассеянием или тиристорные схемы выпрямления.

В настоящее время все шире используют инверторные источники сварочного тока с микропроцессорным управлением, содержащие высокочастотный транзисторный преобразователь и импульсный транзисторный регулятор тока.

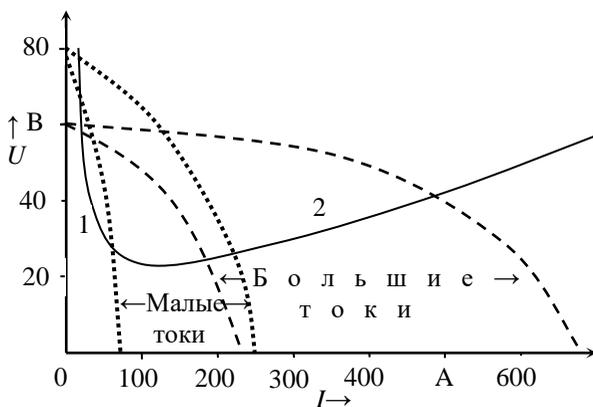


Рисунок 1.2 – ВАХ сварочной дуги и источников сварочного тока

1.2.2 Сварка электроконтактным разогревом

Сварка электроконтактным разогревом широко применяется при соединении алюминиевых жил проводов и кабелей.

В зависимости от сечения соединяемых жил применяют несколько разновидностей этого способа сварки:

Однопроволочные алюминиевые жилы с суммарным сечением в скрутке до 12,5 мм² сваривают аппаратом ВКЗ. В комплект входят сварочный прибор (пистолет) и блок питания, содержащий сварочный трансформатор 220/10 В, трансформатор управления 220/36 В и реле включения. Сварка выполняется без применения флюса.

Последовательность операций:

1 С концов жил с помощью клещей снимают изоляцию на длине 35–40 мм, зачищают их щеткой из кардоленты или наждачной бумагой до металлического блеска и скручивают вместе.

2 Подготавливают сварочный прибор аппарата ВКЗ к сварке – отводят назад его угольный электрод и зажимают скрученные жилы губками держателя так, чтобы их концы упирались в лунку угольного электрода.

3 Нажатием спускового крючка, включают прибор, после чего угольный электрод под действием пружины, по мере расплавления торцов жил, продвигается вперед и сваривает их. Сварка автоматически прекращается в момент оплавления соединяемых жил на заданную длину.

4 Место соединения изолируют полиэтиленовым колпачком или изоляцией.

Скрученные жилы можно сварить клещами, содержащими два угольных электрода. Клещи подключают ко вторичной обмотке понижающего трансформатора 220 / 9...12 В мощностью 0,5 кВА.

Для удаления с поверхности алюминиевых жил оксидной плёнки применяют флюс ВАМИ. Он представляет собой смесь трех составляющих: хлористого калия (50 %), хлористого натрия (30 %) и криолита К-1 (20 %). Температура плавления флюса 630 °С. Химическая промышленность выпускает флюс в виде порошка, расфасованного в герметически закрытые банки. При отсутствии готового флюса его готовят из растертых и просеянных через сито компонентов в указанной выше пропорции. Порошок флюса перед употреблением разводят водой до консистенции густой сметаны (100 частей флюса на 30–40 частей воды по массе). Перед сваркой флюс наносят волосяной кисточкой тонким слоем на поверхность алюминиевых жил. Нанесение флюса толстым слоем не способствует улучшению качества соединения.

Подготовка жил выполняется так же, как и при сварке аппаратом ВКЗ, только изоляция с жил снимается на большей длине (25–30 мм), и на концы жил длиной 5–6 мм перед сваркой наносится тонкий слой флюса.

Последовательность операций сварки:

1 Концы угольных электродов сближают до соприкосновения. Под действием протекающего тока место контакта раскаляется.

2 Раскаленное место контакта электродов прижимают к опущенным вертикально вниз торцам жил, до расплавления алюминия и образования сварочного шарика.

3 После остывания место сварки очищают стальной щеткой или наждачной бумагой от шлака и остатков флюса, покрывают слоем влагостойкого лака, а затем изолируют полиэтиленовым колпачком или изолентой.

Многопроволочные алюминиевые жилы суммарным сечением от 32 до 240 мм² можно сплавить по торцам в общий монолитный стержень. Для сварки применяют понижающий трансформатор с вторичным напряжением 8–9 В, мощностью 1–2 кВА. Один вывод трансформатора подключают к электрододержателю с угольным электродом, второй – к охладителю. Перед началом сварки из алюминиевого провода сечением 2,5–4 мм² подготавливают присадочные прутки: тщательно очищают их поверхность щеткой из кардоленты или наждачной бумагой, обезжиривают тканью, смоченной в бензине, и покрывают тонким слоем флюса.

Последовательность операций сварки:

1 С концов жил снимают изоляцию на длине, зависящей от сечения соединяемых жил. Если подготавливают к сварке жилы кабеля с бумажной пропитанной изоляцией, то на изоляцию у ее обреза накладывают нитяной бандаж, затем ослабляют плоскогубцами повив проволоки жилы и тканью, смоченной в бензине, удаляют с их поверхности маслосмолистый состав.

2 Соединяемые жилы располагают вертикально торцами вверх, складывают в общий пучок и скругляют его пассатижами.

3 По суммарному сечению соединяемых жил подбирают соответствующую разъемную цилиндрическую форму и надевают её на жилы. Во избежание прилипания расплавленного алюминия форма изнутри должна быть покрыта кокильной краской или мелом, разведенным в воде до консистенции густой сметаны.

4 Обе половины формы скрепляют проволочным бандажом или хомутом из тонкой жести. Нижнюю часть формы уплотняют подмоткой асбестового шнура толщиной 1–1,5 мм.

5 Закрепляют охладитель, уплотняя, при необходимости, место контакта подмоткой медной фольгой.

6 Торцы жил обмазывают тонким слоем флюса.

7 В начале сварки плотно прижимают конец угольного электрода к торцам жил и держат его так до начала расплавления, после чего медленно перемещают конец электрода по торцам жил, расплавляя одну за другой все проволоки. Затем круговыми движениями электрода перемешивают образовавшуюся ванночку расплавленного металла, одновременно сплавляя туда же прутки присадки.

8 После заполнения формы расплавленным алюминием до краёв электрод отводят; процесс сплавления жилы считается законченным.

9 После остывания места сварки снимают охладитель и форму и щеткой из кардоленты очищают от шлака место сварки и прилегающие участки жил.

1.2.3 Термитная сварка

Термитный патрон состоит из стального кокиля (формочки), вокруг которого расположен муфель, прессованный из термитной смеси. Сварка происходит за счет тепла, выделяемого при сгорании муфеля. При этом материал жил расплавляется и заполняет кокиль, туда же сплавляют заранее подготовленные присадочные прутки. Для того чтобы расплавленный алюминий не прилипал к кокилю, он изнутри покрывается кокильной краской или мелом, разведённым в воде до состояния густой сметаны; слой покрытия просушивают до начала сварки. В комплекте с термитными патронами поставляются специальные алюминиевые колпачки, которые также расплавляются в процессе сварки.

Термитным патроном сваривают по торцам многопроволочные алюминиевые жилы с суммарным сечением от 70 до 240 мм².

Сварка выполняется в следующем порядке:

1 По суммарному сечению свариваемых жил подбирают термитный патрон и втулки охладителя.

2 Заготавливают присадочные прутки из двух – четырёх свитых вместе алюминиевых проволок диаметром 2 мм; проволоку предварительно тщательно очищают стальной щеткой или наждачной бумагой, обезжиривают и покрывают слоем флюса.

3 Подготавливают жилы, для чего с них снимают изоляцию на длине 80–100 мм в зависимости от их сечения и количества. При соединении жил кабелей с бумажной изоляцией с них удаляют маслоканифолевый состав тканью, пропитанной в бензине, и протирают тканью, смоченной в бензине или ацетоне.

4 Концы жил зачищают до блеска стальной щёткой, складывают в общий пучок и связывают у обреза изоляции временным бандажом из двух – трех витков проволоки.

5 Плоскогубцами придают пучку проводов круглую форму, смазывают пучок тонким слоем флюса ВАМИ и надевают на него алюминиевый колпачок термитного патрона. Пустоты, оставшиеся между пучком проводов и колпачком, заполняют кусочками алюминиевой проволоки.

6 Сверху на алюминиевый колпачок надевают кокиль и термитный патрон. С одной стороны термитный патрон имеет более рыхлую структуру для облегчения его зажигания, эта сторона должна быть сверху. Снизу кокиль уплотняют подмоткой асбестового шнура, сдвигая её в зазор между кокилем и жилами.

7 Временный проволочный бандаж снимают и надевают охладитель, втулки которого подбираются по суммарному сечению жил. Если охладитель сидит не достаточно плотно, то жилы обматывают медной фольгой. Между охладителем и термитным патроном устанавливают экран из асбестового картона.

8 Термитную спичку укрепляют в специальном держателе или зажимают в плоскогубцах. Зажжённой термитной спичкой плотно прикасаются к торцу муфеля термитного патрона и зажигают его. Сразу после загорания муфеля в него вводят присадочный пруток, покрытый флюсом.

9 Проволочной мешалкой проверяют расплавление концов жил, которое наступает через 15–20 с после окончания горения муфеля. Убедившись в полном расплавлении концов соединяемых жил, тщательно перемешивают ванну расплавленного металла для облегчения выхода газов и шлаков во избежание образования раковин. Одновременно добавляют присадку до заполнения кокиля.

10 После застывания металла скалывают муфель с помощью зубила и удаляют кокиль, отгибая его края отверткой. Затем стальной щеткой удаляют остатки флюса и шлаков, напильником сглаживают неровности и протирают тканью, смоченной в бензине.

11 Соединение покрывают влагостойким лаком, затем изолируют и поверхность изоляции также покрывают влагостойким лаком.

Термитная сварка встык однопроволочных и многопроволочных алюминиевых жил сечением 16–240 мм² применяется в основном при разделке соединительных кабельных муфт. В отличие от предыдущей

го процесса соединяемые жилы располагаются горизонтально, а термитные патроны, применяемые для сварки встык, имеют литниковые отверстия.

Последовательность операций:

1 На концы жил надевают алюминиевые колпачки, входящие в комплект термитных патронов. Внутренняя поверхность колпачков предварительно должна быть зачищена до блеска. При сварке однопроволочных секторных жил вместо колпачков на жилы надевают шайбы или втулки с секторными отверстиями. Чтобы жила свободно вошла во втулку или шайбу, ее опиливают с боков.

2 Внутреннюю поверхность шайбы или втулки зачищают до блеска. При отсутствии специальных шайб или втулок разрешается надеть на концы секторных жил колпачки, входящие в комплект термитных патронов, но оставшиеся пустоты в колпачке следует заполнить кусочками алюминиевой проволоки. Секторные жилы на участке насадки колпачка следует запилить напильником так, чтобы они свободно входили в колпачок.

3 Оконцованную колпачком, втулкой или шайбой жилу слегка отгибают и надевают на неё термитный патрон. Затем концы соединяемых жил центрируют и надвигают термитный патрон на место стыка таким образом, чтобы стык жил находился против литникового отверстия муфеля патрона. Между торцами жил допускается зазор не более 2–3 мм.

4 Асбестовым шнуром тщательно уплотняют входы жил в кокиль, так чтобы этот шнур заполнил входное отверстие кокиля до алюминиевого колпачка (шайбы или втулки).

5 На оголённые участки жил накладывают охладители, установленные на соединительной планке. Охладители закрепляют на штативе. Устанавливают экраны из листового асбеста толщиной не менее 4 мм, которые должны выступать за охладитель со всех сторон не менее, чем на 10 мм.

6 На остальных жилах соединяемых кабелей также устанавливают термитные патроны. На многопроволочных кабелях сварку начинают с жилы, расположенной сверху разделки. Остальные жилы, не подверженные сварке, необходимо защитить от перегрева и искр асбестовым картоном.

Термитную сварку применяют также для соединения стальных проводов сетей заземления. При этом используют алюминиевый термит в виде порошкообразной смеси стальной окалины 79 % и алюминиевого порошка 21 % по массе. Размер зёрен смеси должен быть от 0,1 до 1,5 мм. Сварку выполняют в оболочках или корково-песчаных формах.

Для сварки полос и стержней заземления применяют песчаные формы. Формы изготавливают из кварцевого песка (100 частей по

массе) и пульвербакелита (6 частей по массе) и затем запекают в специальной установке. Перед сваркой термитную порошковую смесь засыпают в форму, установленную на месте соединения, тщательно уплотняют и воспламеняют термитной спичкой.

1.2.4 Газовая сварка

Источником тепла при газовой сварке является пламя, образующееся при сгорании газов пропана или ацетилена либо паров бензина в кислороде. Кислород нужен для увеличения температуры пламени. Пропан, ацетилен и кислород поставляются в специальных баллонах соответственно красного, белого и голубого цветов. Для получения ацетилена также используется автоген – закрытая емкость, в которой происходит реакция гашения карбида кальция водой. Наибольшее распространение получила пропаноокислородная сварка.

При соединении газовой сваркой однопроволочных жил малого сечения, их предварительно скручивают (суммарное сечение в скрутке до 35 мм²) и затем сваривают в пропаноокислородном пламени.

Операцию соединения выполняют в такой последовательности:

1 Ножом или другим инструментом с концов свариваемых жил снимают изоляцию на длине 30–40 мм; концы жил зачищают стальной щёткой и скручивают их вместе.

2 Концы скрутки покрывают тонким слоем флюса ВАМИ. Флюс предварительно разводят в воде до пастообразного состояния.

3 Открывают вентили на баллоне с пропаном, затем на баллоне с кислородом и регулируют рабочее давление кислорода до 0,15 МПа (1,5 атм).

4 Открывают вентиль газа на горелке и зажигают горелку спичкой. Открывают вентиль кислорода на горелке и регулируют пропаноокислородное пламя до нормального.

5 Подводят ядро пламени к концу скрутки и нагревают его до расплавления. О том что сварка жил произошла, судят по появлению на конце скрутки капли жидкого металла в виде шарика.

6 Закрывая на рукоятке горелки вентили газа, а затем кислорода, гасят пламя.

7 Остатки флюса с места сварки удаляют стальной щёткой. Соединение протирают ветошью и изолируют.

Одно- и многопроволочные алюминиевые жилы большого сечения (16–240 мм²) можно соединить встык в разъёмных сварочных формах.

Последовательность операций:

1 По сечению соединяемых жил выбирают сварочную форму в соответствии с инструкцией или справочником.

2 Внутренние поверхности формы покрывают мелом, разведённым в воде до пастообразного состояния.

3 С концов жил снимают изоляцию на длине 45–60 мм, в зависимости от сечения жил; у жил с пропитанной бумажной изоляцией удаляют маслокафилевый состав тканью, смоченной в бензине или ацетоне.

4 На расстоянии 2–3 мм от конца многопроволочных жил накладывают бандаж из 1–2 витков алюминиевой проволоки диаметром 1–1,5 мм.

5 При соединении секторных однопроволочных и комбинированных жил скругляют их очищенные от изоляции концы, как это делается при опрессовке. Добиваться при этом точной цилиндрической формы нет необходимости, однако сварочная форма должна охватывать жилу без зазора в местах разъёма.

6 На концы свариваемых жил устанавливают две полуформы так, чтобы стык жил находился в середине литникового отверстия. Полуформы сжимают между собой струбциной, а в направляющие вставляют клинья. Слегка постукивая по клиньям молотком, обеспечивают плотное, без зазора сжатие полуформ между собой. Для уплотнения зазора между жилой и формой используют асбестовый шнур.

7 На оголённые участки жил накладывают охладители, закреплённые на соединительной планке. Между охладителями и формой устанавливают тепловой экран из асбестового картона.

8 Заготавливают прутки присадки.

9 Зажигают пламя горелки и регулируют его до нормального. Пламенем горелки равномерно, не задерживаясь на одном месте, разогревают стенку формы в зоне стыка жил до красного каления. После этого в литниковое отверстие формы вводят покрытую флюсом присадку и сплавляют её до заполнения литника.

10 Не прекращая нагрев формы, расплавленный алюминий перемешивают проволочной мешалкой до полного расплавления проволок жил в объёме сварочной ванны. Затем нагрев прекращают, а при остывании, при необходимости, добавляют присадку.

11 После остывания места сварки снимают форму, выбивают стягивающие клинья. Осматривают место сварки. При выявлении 1–2 неприваренных проволок их припаивают к монолиту припоем марки А. При чис-

ле неприваренных проволок больше двух, сварку соединения следует повторить.

12 Снимают с жил кабеля экраны, охладители и асбестовую защиту изоляции жил. Специальными клещами или ножовкой удаляют литниковую прибыль, зачищают напильником место соединения, придавая ему гладкую цилиндрическую форму, протирают тканью, смоченной в бензине или ацетоне до полного удаления шлака и опилок. Затем место соединения покрывают асфальтовым лаком, или другим влагостойким лаком, и выполняют изоляцию соединения.

Многопроволочные жилы с суммарным сечением от 32 до 240 мм² можно сплавить по торцам в монолитный стержень.

Последовательность операций:

1 Подбирают по суммарному сечению форму в соответствии с инструкцией или справочником. Внутреннюю поверхность формы покрывают мелом, разведённым в воде до состояния густой пасты.

2 С концов жил снимают изоляцию на длине 80–90 мм в зависимости от сечения жил. Располагают соединённые жилы проводов вертикально торцами вверх. На концы соединяемых жил надевают форму, нижнюю часть которой уплотняют асбестовым шнуром.

3 Ниже формы на жилу надевают охладитель, уплотняя, при необходимости, зазор обмоткой из медной фольги, и укрепляют его на опорной стойке. Между низом формы и верхней поверхностью охладителя прокладывают экран из асбестового картона.

Процесс сварки аналогичен вышеописанному.

1.3 Пайка

Пайка – соединение однородных или разнородных металлов, а также металлов с неметаллами, с помощью расплавленного припоя. Как правило, процессу пайки предшествует лужение. Лужение (полудка) – операция, при которой металл покрывается слоем расплавленного припоя. Пайка медных жил и проводов малого сечения осуществляется с помощью паяльника (электропаяльника), для пайки медных жил большого сечения и алюминиевых жил используют пламя пропанокислородной или ацетиленокислородной горелки, паяльной лампы либо способ заливки предварительно расплавленным припоем.

При пайке меди и сплавов применяют мягкие припои марки ПОС (оловянно-свинцовые), а также твердые припои ПМЦ (медно-цинковые) и ПСр (серебрянные). При пайке алюминия применяют

припои марки А (цинкооловянно-медные), твёрдые припои ЦО-12 (цинкооловянные) и ЦА-15 (цинкоалюминиевые), а также мягкие оловянно-кадмиево-цинковые припои.

Оловянно-свинцовые припои марки ПОС (цифра от 18 до 90 показывает содержание олова) применяют:

- ПОС-61 (температура плавления 183 °С) – при пайке РЭА;
- ПОС-40 (235 °С) – для пайки соединения проводов;
- ПОС-30 (250 °С) – для пайки свинцовых оболочек кабелей.

Трубчатые припои изготавливают в виде трубочки диаметром 1–5 мм, заполненной канифолью, служащей в качестве флюса.

Добавки в оловянно-свинцовые припои сурьмы, кадмия, а особенно висмута позволяют снизить температуру их плавления (до 60,5 °С у сплава Вуда). Однако легкоплавкие припои отличаются малой механической прочностью и хрупкостью.

Твёрдые припои обладают высокой механической прочностью и применяются для выполнения соединений, работающих при повышенной температуре. Температура плавления латуней ПМЦ с содержанием меди 36–54 % (остальное – цинк) составляет 825–860 °С. Серебряные припои содержат 25–70 % серебра, 26–40 % меди, 4–35 % цинка, имеют температуру плавления 720–765 °С и отличаются высокой электропроводностью.

Припои для пайки алюминия:

– А (40 % олова, 58,5 % цинка, 1,5 % меди, температура плавления 400–425 °С) широко применяется для соединения алюминиевых жил проводов и кабелей, обладает невысокой коррозионной устойчивостью, место пайки требует покрытия влагостойким лаком и тщательной изоляции;

– ЦО-12 (12 % олова, 88 % цинка, 500–550 °С) отличается ещё меньшей коррозионной устойчивостью. Его применяют для пайки алюминиевых жил кабелей внутри муфт, герметическая заделка которых исключает попадание к месту пайки влаги и воздуха;

– ЦА-15 (85 % цинка, 15 % алюминия) отличается высокой механической прочностью и устойчивостью к коррозии. Недостаток – высокая температура плавления (550–600 °С);

– мягкие оловянно-кадмиево-цинковые припои (40–55 % олова, 20 % кадмия, 25 % цинка и до 15 % алюминия, 200–250 °С) применяют для пайки обмоточных алюминиевых проводов, а также для соединения алюминия с медью.

Для разрушения оксидной плёнки, а также для защиты поверхности соединяемых металлов от окисления при нагреве применяют

различные флюсы. При пайке меди и сплавов мягкими припоями используют активные (кислотные), пассивные (бескислотные), активированные и антикоррозионные флюсы.

Активные флюсы используют при пайке железа, стали и сплавов на основе железа, а также меди, латуни и бронзы. После пайки место спая требует тщательной промывки в воде. Если на металле остался активный флюс, то он через некоторое время покрывается ржавчиной и зеленеет, происходит разрушение как спая, так и основного металла. Широко применяемая паяльная кислота представляет собой 30%-ный раствор хлористого цинка в воде.

Бескислотные флюсы (канифоль в чистом виде, а также с добавками спирта и глицерина) используют для пайки меди и сплавов на основе меди мягкими припоями при монтаже РЭА. В промышленном производстве для пайки печатных плат используют флюс ЛТИ-120 (этиловый спирт 65–70 %, канифоль 20–25 %, диэтиламин 5 %, триэтаноламин 1–2 %).

Активированные флюсы приготавливают на основе канифоли с добавками небольшого количества соляно-кислого или фосфорно-кислого анилина, салициловой кислоты и т. п. Они позволяют производить пайку без предварительной зачистки поверхности соединяемых металлов (достаточно обезжиривания). Активированным флюсом является также паяльный жир, содержащий 10 % хлористого цинка и широко используемый при пайке оцинкованного железа. Промывка спая в воде от остатков таких флюсов не требуется.

Антикоррозионные флюсы изготавливают на основе фосфорной кислоты (с добавлением различных органических соединений и растворителей), а также на основе органических кислот. Остатки этих флюсов не вызывают коррозии.

При пайке твёрдыми припоями меди и её сплавов используют буру (тетраборно-кислый натрий) и другие флюсы, содержащие соединения фтора, хлора и бора с калием, натрием, литием, цинком, кадмием, аммонием, а также триэтаноламин.

Для удаления оксидной плёнки с поверхности алюминия под слоем расплавленного припоя применяют также механические способы: паяльники с ультразвуковой вибрацией жала, кисточки из стальных волосков и стальные скребки.

При соединении пропаянной скруткой алюминиевых жил малого сечения (до 10 мм²) на них выполняют двойную скрутку с желобком. При этом на расстоянии 20–30 мм, в зависимости от сечения, жилы расположены параллельно.

Место соединения нагревают пламенем пропанокислородной горелки и палочкой припоя А, введённой в пламя, протирают желобок с одной стороны, разрушая при этом оксидную плёнку. По мере нагрева жилы начинают облуживаться и желобок заполняется припоем. Аналогично заполняют припоем желобок с другой стороны, а также облуживают жилы с внешней поверхности. После остывания место соединения изолируют.

Соединение медных жил выполняют пропаянной скруткой без желобка. Жилы зачищают до металлического блеска, скручивают, покрывают слоем флюса и прогревают паяльником с добавлением припоя, либо опускают в расплавленный припой.

Соединение алюминиевых жил пайкой в разъёмных формах выполняют непосредственным сплавлением палочки припоя в форму, либо способом полива расплавленным припоем.

Последовательность операций, выполняемых при пайке непосредственным сплавлением палочки припоя:

1 Соединяемые жилы предварительно разделяют ступенями и лудят припоем марки А. Процесс лужения жилы начинается с нагрева её в пламени пропанокислородной горелки или бензиновой паяльной лампы. После начала плавления палочки припоя А, введённой в пламя горелки, наносят припой на всю ступенчатую поверхность повива проволоки, и на их торец. При этом, для полного облуживания проволоки, их поверхность тщательно натирают стальной кисточкой.

2 У предполагаемого края формы на жилы подматывают асбестовый шнур и укладывают концы жил в разъёмную форму. Форму укрепляют на жилах специальными зажимами и проволочным бандажом.

3 Для защиты изоляции от перегрева на жилы надевают защитный экран, а при больших сечениях жил устанавливают охладители.

4 Нагревают форму, начиная со дна средней части и далее по всей поверхности до начала плавления припоя, прутки которого вводят в пламя и сплавляют в литниковое отверстие до заполнения формы.

5 Расплавленный припой перемешивают стальной проволокой и удаляют с поверхности расплавленного металла шлаки; одновременно легким постукиванием по форме производят уплотнения припоя, после чего нагрев прекращают.

6 После остывания места соединения снимают экраны и форму, опиливают заусенцы, покрывают влагостойким лаком и изолируют.

Последовательность операций, выполняемых при пайке алюминиевых жил способом полива расплавленным припоем:

1 Припой марки ЦО-12 или ЦА-15 разогревают в тигле вместимостью 7–8 кг до температуры 650–700 °С, которую определяют по началу плавления

ния погружаемой в припой алюминиевой палочки. Такое относительно большое количество припоя в тигле и высокая температура нагрева необходимы для обеспечения надёжного и достаточно полного расплавления проволок спаиваемых жил.

2 Концы жил разделявают ступенчато, либо обрезают ножовкой в стальных шаблонах под углом 55° к горизонту.

3 Закрепляют формы, под которыми устанавливают тигель и лоток для стекания припоя, сделанный из кровельного железа.

4 Паяльной ложкой черпают расплавленный припой и льют его в литниковое отверстие до тех пор, пока не произойдёт расплавление торцов жил. Момент расплавления определяют щупом из стальной проволоки.

5 При пайке концов жил, скошенных под углом 55° , в процессе полива припоя производят счистку плёнки оксида с поверхности жил стальным скребком.

6 При остывании припой даёт усадку, поэтому во избежание образования раковины по мере усадки производят доливку припоя в литниковое отверстие формы.

7 Процесс пайки в одной форме не должен превышать 1–1,5 мин. Перед началом пайки следующей жилы, тигель с припоем вновь подогревают до $650\text{--}700^\circ\text{C}$.

Медные жилы можно спаять в медных гильзах ГМ способом полива расплавленным припоем.

Последовательность выполнения операций:

1 Припой ПОССу 40-0,5 разогревают в графитовом или стальном тигле примерно до 290°C .

2 Зачищают до металлического блеска концы жил и внутреннюю поверхность гильзы.

3 Покрывают флюсом концы жил и вставляют их в гильзу так, чтобы стык находился в середине заливочного отверстия.

4 Для уплотнения места соединения с обеих сторон между концом гильзы и краем изоляции подматывают на жилы асбестовый шнур. Сразу по окончании пайки, пока не остыл припой, протирают гильзу тряпкой, смазанной паяльной мазью.

5 Во избежание перегрева изоляции жил длительность полива припоя не должна превышать 1,5 мин. За это время необходимо обеспечить полное облуживание гильзы.

При оконцевании алюминиевых многопроволочных жил припайкой наконечников для лучшего проникновения припоя в зазор между жилой и наконечником применяют алюминиевые наконечники с сечением на одну ступень больше, чем жила.

Последовательность выполнения операций:

- 1 Жилу разделявают ступенчатым способом и лудят.
- 2 Внутреннюю поверхность гильзы наконечника зачищают стальной щёткой и тоже лудят.
- 3 Надевают наконечник на жилу так, чтобы центральная проволока жилы выступала из шейки наконечника на 5–6 мм.
- 4 Зазор между жилой и наконечником уплотняют снизу асбестовым шнуром и закрепляют на жиле экран.
- 5 Пламя горелки направляют на верхнюю часть наконечника и выступающую жилу, нагревают их и сплавляют палочку припоя до заполнения всего пространства между гильзой наконечника и жилой.

Медные жилы можно оконцевать медными наконечниками.

Последовательность выполнения операций:

- 1 Конец жилы облуживают и надевают наконечник, у нижнего торца которого накладывают бандаж из двух – трёх слоев асбеста.
- 2 Наконечник прогревают пламенем пропанокислородной горелки, паяльной лампы или паяльником и заливают предварительно расплавленный припой ПОС, наблюдая чтобы он проник между проволоками жилы.
- 3 Тканью, смазанной паяльной мазью, сгоняют и разглаживают подтеки припоя на поверхности наконечника.
- 4 Асбестовый бандаж снимают и на его место накладывают изоляцию.

1.4 Разборные соединения

Самым радикальным способом обеспечения надёжности электрических контактов является применение неразборных соединений – сварных и паяных. Однако без разборных соединений обойтись нельзя. Такие соединения чаще всего выполняются при монтаже внутри электрических аппаратов, а также при подключении токоподводящих проводов и жил кабелей к контактным выводам электрооборудования. Для разборных соединений применяют стальные болты, гайки и шайбы, защищенные от коррозии никелевым или другим покрытием. Крутящие моменты усилий при затяжке болтов должны соответствовать их диаметрам. Рекомендуется применять гаечные ключи с регулируемым моментом усилия затяжки.

В слаботочных цепях связи, сигнализации и управления часто применяются разъёмные соединения, состоящие из многоштырьковых штепсельных вилок и розеток. Бытовые электропотребители также включаются в розетки с помощью штепсельных вилок. Разра-

ботаны и применяются штепсельные соединители для силового обору-дования, однако опыт их эксплуатации показывает, что они редко обеспечивают надёжный электрический контакт.

Для надёжного соединения силовых цепей необходимо обеспечить большую площадь протекания электрического тока и, соответственно, малое переходное сопротивление контакта. Мощность, выделяемая на контакте, равна произведению его переходного сопротивления на квадрат силы тока. Если переходное сопротивление велико, контакт разогревается, а при нагреве сопротивление еще больше возрастает. К тому же нагретые контактные поверхности усиленно окисляются, оксидная пленка также увеличивает переходное сопротивление контакта. Постепенно контакт разогревается, при этом плавится и обугливается электрическая изоляция и возникает пожар либо металл расплавляется, вытекает из места контакта, возникает электрическая дуга, что также приводит к пожару. Для контроля нагрева разборных соединений их покрывают термочувствительной краской. Изменение цвета краски при повышении температуры позволяет вовремя отыскать плохие контакты и отремонтировать их.

Малое переходное сопротивление достигается за счёт тщательной зачистки контактных поверхностей и плотного прижатия их друг к другу. Следует обеспечить протекание тока именно через соприкасающиеся поверхности соединяемых деталей, а не через стальные болты или гайки, так как проводимость стали меньше проводимости меди в 6 раз, а алюминия – в 4 раза. Для того чтобы обеспечить достаточную площадь контакта и облегчить закручивание гаек, применяют шайбы, а для предотвращения раскручивания гаек под действием вибраций используют контргайки и разрезные пружинящие шайбы. В цепях переменного тока повышенной частоты во избежание нагрева крепёжных деталей индукционными токами следует применять немагнитные материалы, лучше всего латунь.

При соединении деталей из алюминия требуются специальные меры по стабилизации электрического сопротивления контакта.

Это связано с малой механической прочностью алюминия. При сжатии алюминиевых деталей нельзя добиться большого контактного усилия из-за их деформации, поэтому площадь контактной поверхности должна быть больше в несколько раз, по сравнению с медными. Кроме того, если контакт

работает в условиях вибраций, контактное усилие постепенно ослабевает, и его необходимо поддерживать специальными пружинящими деталями.

Для стабилизации алюминиевых контактов применяют шайбы увеличенного размера совместно с тарельчатыми пружинами.

Основным путем повышения надежности разборных соединений алюминиевых проводников является оконцевание их наконечниками из твёрдого сплава алюминия с магнием и кремнием, а также медно-алюминиевыми наконечниками.

Разборное соединение алюминиевых и медных проводников рассмотрено в подразд. 1.5.

Рассмотрим **достоинства и недостатки** различных способов выполнения электрических соединений.

Скрутка:

- + не требует нагрева и специального инструмента;
- не является законченным видом соединения.

Опрессовка:

- + не требует нагрева;
- при этом способе необходимо внимательно следить за правильностью подбора наконечников, соединительных гильз и инструментов.

Электродуговая сварка:

- + обеспечивает высокую электропроводность и механическую прочность;
- требует сложного электро- и газового оборудования.

Сварка способом электроконтактного разогрева:

- + обеспечивает однородный и стабильный контакт;
- + не требует припоя;
- требует источника электроэнергии.

Термитная сварка:

- + технологически не сложна;
- + не требует громоздкого оборудования и электроэнергии;
- обладает повышенной пожароопасностью и требует специальных условий хранения термитных патронов и спичек.

Газовая сварка:

- + не требует электроэнергии и припоя;
- требует громоздкого оборудования и соблюдения сложных правил техники безопасности при работе с газом.

Пайка:

- + не нуждается в сложном оборудовании и приспособлениях;
- + при пайке способом полива расплавленным припоем можно обойтись без электроэнергии;

- этот способ отличается наибольшей трудоемкостью.

Болтовое соединение:

- + наиболее простой способ соединения;
- менее надёжно, чем неразборное соединение;
- требует особых мер по стабилизации электрического контакта при соединении алюминия.

Целесообразность применения того или иного способа зависит от материала жил (алюминий, медь), вида (однопроволочная или многопроволочная), площади сечения (мм^2), наличия оборудования, приспособлений, инструмента, электроэнергии.

1.5 Соединение алюминия с медью

В контакте алюминий + медь возникает гальваническая пара, способствующая интенсивному разрушению алюминиевых деталей. Недопустимо соединение алюминия с медью опрессовкой, а также скруткой без последующей сварки, т. к. в этих случаях не обеспечивается надёжный и долговременный контакт.

Сварка алюминиевых жил и проводов малого сечения с медными выполняется аппаратом ВКЗ по технологии, аналогичной сварке скрутки алюминиевых жил (п. 1.2.2). Однако при таком соединении медная жила должна быть плотно, виток к витку намотана поверх алюминиевой. В момент сварки место соединения оказывается покрытым слоем расплавленной меди, который защищает расплавленный алюминий от воздействия кислорода воздуха.

Соединение сваркой алюминиевых жил и проводов большого сечения с медными может быть выполнено только в заводских условиях. Промышленность выпускает сварные медно-алюминиевые переходные пластины, а также медно-алюминиевые наконечники, имеющие медную контактную пластину и алюминиевую трубчатую часть.

Соединение пайкой алюминиевых жил с медными может быть выполнено в медных лужёных гильзах.

Алюминиевую жилу подготавливают к пайке способом ступенчатой разделки или со скосом под углом 55° (подразд. 1.4). Медную жилу готовят так же, как и при пайке медных жил. Конец алюминие-

вой жилы должен быть облужен сначала припоем марки А, а затем припоем ПОС, а конец медной жилы и медная соединительная гильза – припоем марки ПОС. При ступенчатой разделке конца алюминиевой жилы пайку соединения производят или непосредственно сплавлением припоя марки А в форму, или способом полива припоем ЦО-12. При разделке алюминиевой жилы со скосом 55° применяют только способ полива припоем ЦО-12, одновременно счищая оксидную плёнку с торца алюминиевой жилы стальным скребком.

Соединение и ответвление пайкой алюминиевых жил в медных гильзах выполняют аналогично соединению алюминиевых жил с медными.

Гильза должна быть облужена припоем марки ПОС. Концы алюминиевых жил должны быть предварительно облужены припоем марки А, а затем припоем ПОС. Пайку выполняют припоем ПОС.

В условиях повышенной влажности разборное соединение алюминиевых проводников с медными не допускается.

В сухих помещениях такое соединение возможно, однако медь должна быть предварительно покрыта слоем другого металла, чаще всего припоем, то есть должна быть залужена, а также должны применяться шайбы увеличенного размера и тарельчатые пружины.

Соединение алюминиевых проводников с медными с помощью люстровых зажимов широко применяется при подключении светильников, заряженных медными проводами, к алюминиевой электропроводке. В этом случае контакт алюминия с медью происходит через переходную стальную или латунную пластину.

Медные провода должны быть залужены.

1.6 Технология электроизоляционных работ

Изоляция является ответственным элементом электротехнических устройств. Нарушение изоляции служит причиной большинства случаев выхода электрооборудования из строя. Срок службы электрооборудования определяется временем старения его изоляции.

Изоляция выполненных электрических соединений является важнейшим этапом электромонтажных работ. Для этих целей применяют хлопковую изоленду, пропитанную каучуком, либо поливинилхлоридную. Изоленду накладывают в несколько слоёв, каждый про-

питываемая покровным лаком. Применяют также резиновую самосклеивающуюся ленту ЛЭТСАР.

Для изоляции обмоточных проводов и шин используют особо прочные хлопковые ленты (киперные), которые после обмотки пропитывают лаками или компаундами (эпоксидными, полиэфирными и т. п.). Для аналогичных целей применяют лакоткани на хлопковой и синтетической основе, а также различные полимерные плёнки.

Высоковольтную изоляцию выполняют путём обмотки микалентой. Микаленту изготавливают из пластинок слюды, приклеиваемых (вперекрышку) на подложку из высокопрочной бумаги или ткани (стеклоткани). Обмотанный микалентой провод после укладки пропитывают компаундом.

Традиционно для изоляции применяли кембрик – трубку из пропитанной лакоткани. Сейчас это название перешло на трубки из поливинилхлорида. На них можно писать цифры и буквы маркировки анилиновыми чернилами, разведенными в дихлорэтаноле (ядовит). В последнее время всё шире применяют термоусаживаемые трубки из специальных полимеров.

Сварка и термоусадка пластмасс. При монтаже контрольных и телефонных кабелей осуществляют сварку пластмассовой оболочки кабеля с пластмассовой соединительной муфтой в струе горячего воздуха с помощью присадочного пластмассового прутка. Нагрев воздуха происходит в воздухонагревательной камере специальной пропан-воздушной горелки, температура регулируется вентилятором: для сварки винипласта – 220–240 °С, поливинилхлорида – от 160 до 200 °С, полиэтилена – от 140 до 180 °С, полистирола – около 160 °С. Разогрев пластмассы пламенем горелки не допускается, так как от высокой температуры происходит необратимый процесс её разложения.

В начале сварки участки оболочки кабеля, муфты и присадочный прутки (узкую полоску из отходов оболочки кабеля) одновременно разогревают. После размягчения прутки слегка прижимают и формируют поверхность шва с помощью резиновой карточки размерами 80 x 80 x 5 мм. Шов после сварки должен остыть без принудительного охлаждения. Обнаруженные после охлаждения поры и неровности заваривают аналогичным образом.

При соединении между собой полиэтиленовых труб телефонной канализации, прокладываемой в земле, применяют сварку встык.

Концы труб закрепляют в специальном станке, обеспечивающем центровку и прижатие их торцов. Между торцами вставляют нагретую стальную пластину, толщиной 3–4 мм и выполняют сжатие. Торцы труб расплавляются, их резко разводят, вынимают пластину, снова сжимают и дают остыть. Таким образом, шестиметровые отрезки труб диаметром 100 мм и более сваривают в плеть необходимой длины.

При монтаже кабельных муфт, концевых заделок и в других случаях, когда необходима герметичная изоляция широко применяют изделия из термоусаживаемых пластмасс, в частности из специальным образом обработанного полиэтилена.

В заводских условиях такие изделия (муфты, перчатки, каппы или лента) подвергаются механическому растяжению, и в таком деформированном состоянии облучаются с помощью радиоактивного источника. Молекулы, из которых состоит материал изделия при облучении «сшиваются» в пространственную структуру и изделие сохраняет форму после снятия растягивающих усилий. На месте установки, при умеренном нагреве, изделие «вспоминает» свою исходную форму (до растяжения) и уменьшается, плотно охватывая соединяемые детали. Для нагрева изделия применяют горячий воздух или инфракрасные лучи, а также пламя пропановой горелки или бензиновой паяльной лампы.

2 МОНТАЖ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

При построении сетей электроснабжения сочетают магистральный и радиальный способы подключения потребителей.

При магистральном способе электроснабжения прокладывают одну линию, к которой в разных местах подключаются потребители.

Примером магистрального электроснабжения может служить высоковольтно-сигнальная линия автоблокировки. Она прокладывается вдоль железнодорожных путей для питания устройств автоматики на перегонах и промежуточных станциях.

При неисправности какого-нибудь отрезка питающей магистрали все потребители, подключённые дальше места повреждения, оказываются обесточенными. Для повышения надёжности электроснабжения магистраль питают с двух концов либо замыкают в кольцо.

Радиальный способ электроснабжения предусматривает прокладку к каждому потребителю отдельной линии, что требует больших затрат труда и материалов.

При построении электрических сетей от трансформаторной или распределительной подстанции в разные стороны прокладывают магистральные линии, которые могут разветвляться. Для важных потребителей кабельные линии дублируют, а также предусматривают резервные линии для подключения к другим магистралям и даже к другим питающим подстанциям.

Потребителями энергии – **электроприёмниками** являются: промышленные, строительные, транспортные, торговые, сельскохозяйственные и иные предприятия, культурно-зрелищные сооружения, а также жилые посёлки и жилые микрорайоны городов.

По надёжности электроснабжения электроприёмники делятся на **три категории**:

К *третьей* относятся небольшие поселки, газифицированные дома высотой 5 и менее этажей и т. п. Электроприёмники третьей категории получают питание по одной воздушной или кабельной линии с перерывами не более суток.

Ко *второй* относятся электроприёмники, перерыв в электроснабжении которых связан с массовым срывом выпуска продукции, простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного числа городских жителей.

К этой категории относятся: жилые здания от 6 до 16 этажей включительно, а также меньшей этажности, но оборудованные стационарными кухонными электроплитами, лечебные и детские учреждения, школы и другие учебные заведения; силовые установки, технология которых ограничивает допускаемые перерывы в электроснабжении, столовые и кафе с числом посадочных мест от 100 до 500, магазины с площадью торгового зала от 220 до 1800 м² и т. п.; группы городских потребителей с нагрузкой от 300 до 10000 кВА для кабельных сетей и от 1000 кВА и более для воздушных сетей.

Для питания электроприёмников второй категории рекомендуется иметь две линии, однако допускается и одна. Обычно, если питание осуществляется по воздушной ЛЭП, то используется одна линия, если по кабелю – подключаются две кабельные линии. Перерыв в работе таких потребителей допустим на время включения резервного питания дежурным персоналом, либо на время устранения неисправности питающей линии выездной оперативной бригадой.

К *первой* относятся электроприёмники, нарушение электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей,

значительный ущерб народному хозяйству, повреждение оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение особо важных элементов городского хозяйства.

В городских электрических сетях к I категории относятся: электроприёмники театров, крупных кинотеатров, стадионов, универмагов с площадью торгового зала свыше 1800 м² и т. п., сооружений с массовым скоплением людей, действующих при искусственном освещении, комплексы электроприёмников особых лечебных помещений (операционных блоков больниц и родильных домов, пунктов неотложной помощи и т. п.); технические и силовые электроприёмники жилых зданий выше 16 этажей (пожарные насосы, лифты, средства автоматического дымоудаления), аварийное освещение лестничных клеток, коридоров, вестибюлей, холлов, заградительные огни на кровлях зданий высотой 50 м и более, а также электроприёмники технических и силовых установок узлов радиосвязи, телеграфа, телефонных, водопроводных и канализационных станций и групп городских потребителей с общей нагрузкой более 10000 кВА.

Электроприёмники первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания. Перерыв в электропитании таких приёмников допустим только при автоматическом включении резервного питания (АВР), т. е. на время переключения питающей линии или запуска автоматизированного дизель-генератора.

В первой категории электроприёмников выделяется **особая группа**, бесперебойная работа которой необходима для безаварийной остановки производства во избежание угрозы для жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего оборудования, а также для обеспечения надёжной работы аппаратуры связи. Кроме двух питающих линий потребители особой группы обязательно требуют автономного источника питания. При аварии в питающей сети потребители особой группы переводятся на питание от дизель-генераторной установки или от аккумуляторной батареи либо непосредственно, либо через инвертор, преобразующий энергию постоянного тока в сетевое напряжение переменного тока.

2.1 Трёхфазная система электроснабжения

В конце позапрошлого века великий русский ученый Михаил Осипович Доливо-Добровольский разработал и начал внедрять в Германии трёхфазную систему электроснабжения переменным током. В это же время в Америке великий чешский ученый Никола Тесла разработал и начал внедрять двухфазную систему переменного тока. Почему для электроснабжения понадобился именно переменный ток?

Первые маленькие электростанции были постоянного тока и строились непосредственно на месте потребления электроэнергии, их генераторы приводились в действие паровыми машинами. Затем стали использовать энергию воды и строить гидроэлектростанции, достаточно удаленные от потребителей. К тому времени, когда потребовалось передавать энергию от гидроэлектростанций на расстояние десятки и сотни километров, уже было налажено массовое производство генераторов и двигателей постоянного тока. Однако для того чтобы передавать электроэнергию с большой мощностью (а мощность – это скорость передачи или преобразования энергии) необходимо обеспечить большое значение произведения силы тока на напряжение.

Для увеличения силы тока требуется увеличивать сечение проводов, а делать это тяжело и дорого. Для увеличения напряжения особых препятствий как будто нет: 1 мм воздушного промежутка в нормальных условиях выдерживает напряжение 2 кВ, а 10 мм – соответственно уже 20 кВ. Изоляция жил кабеля также обладает большой электрической прочностью. Таким образом, напряжение линии электропередачи без особых сложностей может быть увеличено до десятков и сотен киловольт. Однако, что делать потребителю с таким высоким напряжением, к тому же смертельно опасным для жизни? Задача преобразования, т. е. увеличения и уменьшения напряжения постоянного тока на том этапе развития техники не могла быть решена. Электротехника постоянного тока зашла в тупик, и началось интенсивное развитие устройств переменного тока.

В 80-х годах 19 века великий русский ученый Павел Николаевич Яблочков изобрел принцип трансформации переменного тока и создал первый трансформатор, представляющий собой железный сердечник и две обмотки провода различного сечения с разным числом витков. Затем группа венгерских ученых доработала конструкцию трансформатора практически до нынешнего вида, применив замкнутый сердечник. С помощью трансформаторов электрическая энергия повышается по напряжению и подается в высоковольтную линию электропередачи. На месте потребления устанавливаются понижающие трансформаторы.

Для чего нужны многофазные системы электропитания?

Более половины производимой электроэнергии потребляется электродвигателями – приводит в действие станки и другие механизмы. Для преобразования электрической энергии переменного тока в механическую можно использовать коллекторные двигатели, которые были разработаны для постоянного тока. Однако гораздо лучше применить специальные двигатели переменного тока, основанные на вращении магнитного поля. Вращающееся магнитное поле можно создать с помощью нескольких обмоток, пропускаемая по ним переменные токи, сдвинутые относительно друг друга по фазе. Если применить два источника, получим двухфазную систему. Если использовать три источника, получим трёхфазную систему. Двухфазная система не получила широкого распространения, трёхфазная система завоевала весь мир.

Трёхфазная система содержит три источника одинаковой частоты с одинаковыми значениями напряжений, сдвинутых по фазе на 120° , и трёхфазную линию электропередачи, к которой подключаются потребители. Для уменьшения потерь электроэнергия передается при повышенном напряжении, для чего на питающем конце линии устанавливается трёхфазный повышающий трансформатор. В местах подключения потребителей устанавливаются понижающие трансформаторы, также трёхфазные, от которых питается распределительная сеть.

Высоковольтные линии электропередачи напряжением 110 кВ и выше четырёхпроводные, провода обозначаются латинскими буквами: фазные *A*, *B* и *C* (либо *L1*, *L2* и *L3*) и нулевой *N*. Сети среднего напряжения (от 6 до 35 кВ), как правило, трёхпроводные. Сети питания потребителей (380/220 В) до недавнего времени были четырёхпроводными. Нулевой провод, имеющий надёжное соединение с землёй, называют «глухозаземлённой нейтралью». В обычной сети потребителей напряжение между каждой парой фазных проводов составляет 380 В (для такого напряжения используют термин «междуфазное» или «линейное»). Напряжение каждого фазного провода относительно нулевого провода *N* равно 220 В (такое напряжение называют «фазным»). Линейное напряжение больше фазного в $\sqrt{3}$ раз. При обозначении напряжения питания используют запись 380/220 В. Иногда применяют сеть электропитания напряжением 220/127 В либо 660/380 В. В настоящее время происходит переход от четырёх- к пятипроводным распределительным сетям. В четырёхпроводной сети глухозаземлённый нулевой проводник (в современ-

ном наименовании *PEN*) выполняет функции как рабочего, так и защитного. В пятипроводной системе нулевой рабочий проводник *N* и нулевой защитный проводник *PE* разделены. Это сделано с целью повышения электробезопасности, а также для того, чтобы авария одного потребителя не влияла на режим питания соседних.

Как подключить электроприёмник к трёхфазной сети?

Бытовые однофазные приёмники подключают между одним из фазных проводов и нулевым проводом *N*. Для равномерной загрузки линии электропередачи, идущей по улице или по этажам многоквартирного дома, фазные провода, подводящие питание к домам или квартирам, чередуют.

На производстве однофазные потребители, например осветительные лампы, также подключают к фазному напряжению. Некоторые однофазные потребители (например сварочные трансформаторы) требуют повышенного напряжения питания 380 В. Такие устройства подключают между двумя фазными проводами, а их металлический корпус и сердечник соединяют с защитным нулевым проводом *PE*. Если однофазных потребителей несколько, то для равномерной загрузки линии их подключают к проводам разных фаз.

Большинство промышленных потребителей энергии подключают по трёхфазной схеме. Три одинаковых элемента трёхфазного потребителя, например обмотки двигателя, соединяют “звездой – Y ” либо “треугольником – Δ ”.

Металлические корпуса потребителей с целью электробезопасности соединяют с заземлённым нулевым защитным проводом *PE*.

Преимущества трёхфазной системы:

- простой по конструкции, дешёвый и надёжный трёхфазный асинхронный двигатель;
- увеличенная пропускная способность линии электропередачи;
- малые потери напряжения в линии;
- малые потери электроэнергии в проводах;
- возможность подключения однофазных потребителей с двумя значениями номинального напряжения питания (220 и 380 В);
- возможность подключения трёхфазных потребителей с двумя значениями фазного напряжения с соединением фаз по схеме Y либо Δ ;

– выпрямление переменного тока в постоянный с малыми пульсациями.

2.2 Воздушные линии электропередачи

Воздушные линии электропередачи (ВЛЭП) представляют собой провода, прикреплённые к опорам через изоляторы. Устройства и габариты ВЛЭП определяются значением напряжения между проводами. Различают линии низкого – до 1 кВ (чаще всего 0,4 кВ), среднего – 6; 10; 20; 35 кВ и высокого напряжения – 110; 220 кВ и выше.

Воздушные линии характеризуются промежуточными и анкерными пролётами.

Промежуточный пролёт – расстояние по горизонтали между двумя смежными промежуточными опорами. Длина промежуточных пролётов линий напряжением до 1 кВ составляет 30–50 м, а линий напряжением выше 1 кВ – от 100 до 250 и более метров. Промежуточные опоры устанавливаются на прямых участках трассы ВЛ. Эти опоры в нормальном режиме работы не должны воспринимать усилий, направленных вдоль и поперёк линии, они только поддерживают провода снизу.

Анкерный пролёт – это расстояние по горизонтали между опорами, на которых провода закреплены жёстко. Анкерные опоры воспринимают усилие тяжения проводов. Расстояние между анкерными опорами для линий до 35 кВ не должны превышать 10 км в районах с толщиной стенки гололёда до 10 мм (территория Беларуси удовлетворяет этим условиям), в районах с толщиной стенки гололёда 15 мм и более допустимые длины анкерного пролёта уменьшаются до 5 км. Для линий выше 35 кВ расстояние между анкерными опорами не нормируется и устанавливается в зависимости от условий трассы.

В ПУЭ определены наименьшие допустимые расстояния по вертикали и горизонтали от проводов ВЛ до поверхности земли, строевых и зелёных насаждений, поверхности рек, автомобильных и железных дорог, а также проводов других линий. Для линий напряжением до 1 кВ эти расстояния должны быть не меньше, м:

- по вертикали до земли – 6;
- по горизонтали до глухих стен – 1;
- до балконов, террас, окон – 1,5.

Для ВЛЭП напряжением выше 1 кВ эти расстояния значительно больше.

Пересечение линии напряжением до 1 кВ рекомендуется выполнять на перекрёстных опорах, а выше 1 кВ – в пролётах, при этом оговариваются допустимые расстояния между проводами. Пересечение линий напряжением до 1 кВ с линиями выше 1 кВ выполняют только в пролётах, причём провода высокого напряжения должны быть расположены сверху. Пересечение проводов ВЛ напряжением выше 1 кВ с воздушными линиями городской телефонной связи не допустимы, линии связи в пролёте пересечения с проводами ВЛ должны выполняться только подземными кабелями с соблюдением специальных требований, указанных в ПУЭ.

2.2.1 Опоры, изоляторы и провода воздушных ЛЭП

В зависимости от назначения линии, её напряжения, количества проводов и тросов, их расположения, климатических и других условий применяют различные конструкции деревянных, железобетонных или металлических опор.

Простейшей конструкцией деревянных опор являются одиночные столбы. Более сложными являются: А-, П- и А-П-образные. Для изготовления деревянных опор применяют древесину хвойных пород, при напряжении линии 6 кВ и выше брёвна пропитывают антисептиками заводским способом. Такие опоры служат 25–30 лет. Для крепления изоляторов в деревянные опоры ввинчиваются крюки.

Вертикальные расстояния между проводами равны 400 мм, а для IV и особого района по гололёду – 600 мм.

Деревянные опоры применяют совместно с железобетонными приставками. Опоры и приставки скрепляют в двух местах бандажом из мягкой стальной оцинкованной проволоки диаметром 4 мм, число витков – 12; диаметром 5 мм, число витков – 10; диаметром 6 мм, число витков – 8. Допускается крепление бандажом из неоцинкованной проволоки. Затяжку бандажей выполняют так, чтобы все витки проволоки плотно соприкасались друг с другом и были равномерно натянуты. Концы проволоки загибают и забивают в дерево на глубину 20–25 мм.

Если ВЛ проходит по лесам, сухим болотам и другим местам, где могут быть низовые пожары, то, во избежание загорания деревянных опор, в радиусе 2 м уничтожают траву и кустарник.

Железобетонные опоры получили широкое распространение из-за долговечности (более 50 лет), стойкости к коррозии, простоты эксплуатации, меньшего расхода металла и меньшей стоимости по сравнению с металлическими опорами.

По способу уплотнения бетона при изготовлении различают опоры вибрированные и центрифугированные. Стальная арматура может быть ненапряжённой, частично напряжённой и напряжённой. Предприятие-изготовитель снабжает опоры паспортом, в котором указывает тип опор, марку бетона, вид армирования, дату изготовления и отгрузки. При перевозке и разгрузке опор наблюдают за тем, чтобы они не подвергались ударам, резким толчкам и рывкам. Нельзя разгружать опоры сбрасыванием. Запрещается транспортировать опоры и детали опор по земле волоком. Их развозят по трассе специальными опоровозами, оборудованными приспособлениями для погрузки и выгрузки.

Металлические опоры применяются на ВЛ напряжением 110, 220 и 330 кВ в качестве анкерных и угловых, а на ВЛ напряжением 500 кВ и выше – во всех случаях. Металлические опоры изготавливают на заводах в виде набора отдельных секций с отверстиями для болтовых соединений и собирают на месте установки.

Изоляторы. На ВЛ применяют стеклянные и керамические (фарфоровые) изоляторы, штыревые и подвесные. При напряжениях до 35 кВ включительно применяют штыревые изоляторы, а при больших – подвесные, из которых изготавливают гирлянды. Изоляторы должны отличаться высокой механической и электрической прочностью, а также теплостойкостью, т. к. они подвергаются изменению температуры воздуха.

Перед монтажом изоляторы тщательно осматривают, имеющие трещины, повреждения глазури и другие повреждения бракуют. Очистку изоляторов от грязи, краски, цемента производят с помощью тряпки, смоченной в бензине, и деревянной лопатки (во избежание повреждения глазури металлический инструмент применять нельзя).

Полимерные изоляторы изготавливаются из стеклопластиковой основы с нанесённым на неё покрытием из кремнийорганической

резины или фторопласта. Их отличает повышенная электрическая прочность, надёжность и долговечность. Применение полимерных изоляторов весьма перспективно, т. к. при замене стеклянных и фарфоровых изоляторов на полимерные возможен перевод ВЛ на более высокое напряжение. Недостатком некоторых типов полимерных изоляторов является повышенная адгезия – прилипаемость загрязнений.

Провода. На ВЛ до 1 кВ могут применяться одно- и многопроволочные провода, на ВЛ выше 1 кВ – как правило многопроволочные провода.

На ВЛ применяются неизолированные провода:

- алюминиевые – А и АКП;
- из алюминиевого сплава – АЖ и АН;
- биметаллические сталеалюминиевые однопроволочные БСА;
- сталеалюминиевые – АС (в районах с загрязнённым воздухом – АСКС, АСКП, АСК);
- стальные – ПС, ПСО, ПМС.

Начато внедрение на ВЛ напряжением до 1 кВ самонесущих изолированных проводов (за рубежом они применяются с 1960-х годов). Основным преимуществом применения таких проводов является существенное повышение электробезопасности, эксплуатационной надёжности, снижение реактивного сопротивления, упрощение строительно-монтажных работ, возможность прокладки проводов по стенам зданий и сооружений.

Соединения проводов могут выполняться на опорах или в пролётах. Если провода из разных материалов или разных сечений соединения должны выполняться только на опорах. Места соединений проводов должны иметь электрическую проводимость не менее 100 % проводимости провода такой же длины. Механическая прочность соединения, подверженного тяжению, должна быть не менее 90 % от предела прочности провода.

Соединение проводов ВЛ напряжением до 1 кВ следует производить прессуемыми соединителями или сваркой, в том числе термитной. Однопроволочные провода разрешается соединять скруткой с последующей пропайкой. Сваривать однопроволочные провода в стык запрещается. Соединение проводов ВЛ напряжением выше 1 кВ выполняется при помощи соединительных зажимов, сварки, а также при помощи зажимов и сварки в совокупности. Соединительные за-

жимы овальной формы сечения, монтируются обжатием, скручиванием или опрессовкой.

2.2.2 Монтаж воздушной линии электропередачи

Одноствоечные деревянные и железобетонные опоры устанавливают в отверстия, просверливаемые в земле бурильно-крановыми машинами. Устанавливают опоры с помощью этих же машин или специальных механизмов – кранов-установщиков опор типа КВЛ. Металлические опоры монтируют на сборные или монолитные фундаменты. Для рытья котлованов под фундаменты используют экскаваторы. Вертикальность опор ЛЭП напряжением 10 кВ и ниже проверяют отвесом, а 35 кВ и выше – теодолитом.

Штыри и крюки прочно закрепляют на опорах и для предохранения от ржавчины покрывают асфальтовым лаком. Изоляторы закрепляют при помощи полиэтиленовых колпачков. Перед насадкой колпачки разогревают в воде температурой 80–90 °С, а затем насаживают на штырь или крюк лёгкими ударами деревянного молотка. Внешняя поверхность колпачка имеет форму резьбы, на которую наворачивают изолятор.

Соппротивление фарфоровых изоляторов ВЛ напряжением выше 1 кВ проверяется мегомметром с измерительным напряжением $U = 2500$ В.

Раскатку проводов от одной анкерной опоры до другой производят с помощью специальной тележки. Допускается выполнять раскатку проводов (канатов) по земле с неподвижных раскаточных устройств с обязательным подъёмом на опоры по мере раскатки и принятием мер против повреждения их в результате трения о землю, скальные или другие грунты. При отрицательных температурах проводят мероприятия, исключающие вмерзание провода в грунт. Раскатка и натяжение проводов и канатов непосредственно по стальным траверсам и крюкам не допускается.

При раскатке проводов отмечают места обнаруженных дефектов, в которых необходим ремонт. При повреждении до 17 % повива провода ремонт выполняют путём наложения бандажа из такой же алюминиевой проволоки; до 34 % – монтажом ремонтных зажимов. При большем повреждении провод разрезают и выполняют соединение концов. В местах пересечения монтируемой ВЛ с железными, шоссейными дорогами, а также с другими ВЛ, при раскатке проводов

устанавливают специальные деревянные рогатки или опоры, с натянутым между ними тросом.

Натяжку проводов ВЛ напряжением до 10 кВ выполняют лебёдкой, при помощи полиспастов или автомашиной, а 35 кВ и выше – тракторами. Стрелу провеса проводов устанавливают визированием. При плохой видимости допускается контролировать натяжку проводов по динамометру.

При закреплении провода в зажиме гирлянды он должен быть защищен прокладками из однородного металла, а при вязке провода к изолятору на нём выполняется подмотка одного слоя вязальной проволоки. Крепление на шейке штыревого изолятора является более надёжным, чем на головке.

Заземление опор воздушной линии электропередачи. Металлические опоры, арматуру и оттяжки железобетонных опор воздушных линий напряжением до 1 кВ с заземлённой нейтралью соединяют перемычками и болтовыми зажимами с нулевым заземлённым проводом, а те же элементы линий с изолированной нейтралью – с заземляющим устройством, смонтированным около опоры или с естественным заземлителем.

Сопrotивление цепи заземления не должно превышать 50 Ом.

Должны быть заземлены:

- железобетонные и металлические опоры ВЛ 3–35 кВ;
- железобетонные, металлические и деревянные опоры всех типов и напряжений, на которых выполнен громоотвод или подвешен грозозащитный трос;
- все виды опор, на которых установлены силовые и измерительные трансформаторы, разъединители, предохранители или другие аппараты.

2.3 Кабельные линии электропередачи

В данном подразделе рассматриваются линии передачи электрической энергии по силовым кабелям напряжением до 10 кВ.

2.3.1 Конструкция и разновидности силовых кабелей

Силовые кабели состоят из следующих основных элементов: токопроводящих жил, изоляции, оболочек и защитных покровов. Кро-

ме основных элементов в конструкцию кабеля могут входить экраны, жилы защитного заземления и заполнители.

Силовые кабели различают:

- по роду металла токопроводящих жил: кабели с алюминиевыми и медными жилами;
- по роду материалов, которыми изолируются токопроводящие жилы: кабели с бумажной, пластмассовой и резиновой изоляцией;
- роду защиты изоляции жил кабелей от влияния внешней среды: кабели в металлической, пластмассовой и резиновой оболочке;
- способу защиты от механических повреждений: бронированные и небронированные;
- количеству жил: одно-, двух-, трёх-, четырёх- и пятижильные.

Каждый тип кабеля имеет своё обозначение и марку. Марка кабеля составляется из начальных букв слов, описывающих его конструкцию.

Токопроводящие **жилы** изготавливают однопроволочными и многопроволочными. Алюминиевые жилы сечением до 35 мм^2 изготавливают однопроволочными, $50\text{--}240 \text{ мм}^2$ – как одно-, так и многопроволочными, $300\text{--}800 \text{ мм}^2$ – многопроволочными. Медные жилы сечением до 16 мм^2 включительно изготавливают однопроволочными, $25\text{--}95 \text{ мм}^2$ – как одно-, так и многопроволочными, $120\text{--}800 \text{ мм}^2$ – многопроволочными.

Силовые кабели имеют основные и нулевые (рабочие и защитные) жилы. Трёхжильные кабели имеют только основные жилы, четырехжильные – три основные и одну нулевую, пятижильные – три основные, нулевую рабочую и нулевую защитную жилы. Основные жилы используются для передачи электрической энергии, а нулевые для прохождения разности токов при неравномерной нагрузке фаз и для защитного зануления.

Изоляция обеспечивает необходимую электрическую прочность токопроводящих жил по отношению друг к другу, а также к заземлённой оболочке или земле. Применяется бумажная, резиновая и пластмассовая (поливинилхлоридная и полиэтиленовая) изоляция. Изоляция, наложенная на жилу кабеля, называется изоляцией жилы; изоляция, наложенная поверх жил многожильного кабеля, называется поясной.

Бумажная изоляция кабелей пропитывается вязкими пропиточными составами. Недостатком кабелей с вязкими пропиточными составами является крайне ограниченная возможность прокладки их по наклонным трассам, а именно – разность высот между концевыми их заделками не должна превышать 15–25 м для кабелей различных типов. Кабели с вязким пропиточным составом, свободная часть которого удалена, называют кабелями с обеднённо-пропитанной изоляцией. Их прокладывают при разности уровней 100 м и более.

Для прокладки по вертикальным и крутонаклонным трассам без ограничения разности уровней применяют кабели с бумажной изоляцией, пропитанной особым составом на основе церезина или полиизобутилена. Этот состав имеет повышенную вязкость и не стекает вниз при нагреве.

Кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией можно прокладывать по любым трассам. Резиновую изоляцию выполняют из сплошного слоя резины или из резиновых лент с последующей вулканизацией, пластмассовую – из поливинилхлоридного пластика или композиций полиэтилена. Все большее применение находят кабели с изоляцией из самозатухающего (не поддерживающего горения) и вулканизированного полиэтилена.

Экраны применяют для защиты внешних цепей от влияния электромагнитных полей, создаваемых токами, протекающими по кабелю, а также для обеспечения симметрии электрического поля вокруг жил кабеля. Экраны выполняют из полупроводящей бумаги либо алюминиевой или медной фольги.

Заполнители необходимы для устранения свободных промежутков между конструктивными элементами кабеля, а также для повышения его механической устойчивости. В качестве заполнителей применяют жгуты из бумажных лент или кабельной пряжи и нити из пластмассы или резины.

Оболочки. Алюминиевая, свинцовая, стальная гофрированная, пластмассовая или резиновая негорючая (наиритовая) оболочка кабеля предохраняет внутренние элементы кабеля от разрушения влагой, кислотами, газами и т. д. В некоторых случаях алюминиевую оболочку допускается использовать в качестве четвёртой (нулевой) жилы. Силовые кабели в свинцовой оболочке применяются в особых случаях (для подводных линий и в шахтах).

Защитные покровы предохраняют оболочки кабелей от внешних воздействий (коррозии, механических повреждений). К ним относятся подушка, бронепокров и наружный покров. В зависимости от конструкции кабеля применяют один, два или три защитных покровов. Подушка защищает оболочку от повреждения лентами или проволоками брони и выполняется из слоёв поливинилхлоридных и других лент, а также крепированной бумаги и кабельной пряжи, пропитанной битумом.

Броня из стальных лент или проволок служит для защиты оболочки кабеля от механических повреждений. Проволочная броня воспринимает растягивающие усилия, которые возникают при прокладке кабеля по вертикальным, крутонаклонным трассам или по болотам. Для предохранения брони от коррозии её покрывают наружным покровом, выполненным из слоя кабельной или стеклянной пряжи, пропитанной битумным составом, а в некоторых случаях поверх слоёв пряжи и битума накладывают выпрессованный поливинилхлоридный или полиэтиленовый шланг.

Транспортировка кабеля. Барабаны с кабелем доставляют к месту прокладки перекаткой или перевозкой. Перекатка повреждённых барабанов может привести к порче кабеля, поэтому предварительно следует провести их наружный осмотр. При осмотре обращают внимание на целостность обшивки барабанов и наличие коробки, защищающей конец кабеля, выведенный на щеку барабана. Барабаны с расшатанными корпусами скрепляют планками. Перекатывать барабаны можно только по направлению, указанному на щеке барабана стрелкой. Барабаны со снятой обшивкой разрешается перекачивать только в том случае, если края щёк барабана возвышаются над витками кабеля не менее чем на 100 мм. Внутренний конец кабеля в этом случае надежно прикрепляют проволокой или верёвкой к гвоздю, вбитому в щеку барабана. При мягком грунте барабаны перекачивают по настилу из досок. Не рекомендуется класть барабаны с кабелем плашмя (на щеку).

Перевозимые барабаны прочно расклинивают и закрепляют на транспортных средствах тросом или проволокой. Запрещается при перевозке расположение барабана на щеке (плашмя). Категорически запрещается сбрасывать барабаны на землю. Маломерные куски кабелей, смотанные в бухты, перевозятся плашмя, при вертикальной установке бухты возможны повреждения кабеля.

2.3.2 Прокладка кабелей

При прокладке кабелей должны соблюдаться требования СНиП «Электротехнические устройства», ПУЭ и ГОСТов. В этих документах оговариваются: допустимые радиусы изгиба кабелей; допустимая разность уровней между высшей и низшей точками кабелей с бумажной пропитанной изоляцией; допустимые усилия тяжения.

Кабели следует прокладывать с запасом по длине 1–2 %. На сплошных поверхностях запас достигается путем укладки кабеля «змейкой». При укладке по кронштейнам запас кабеля получается в виде провеса. Укладывать запас кабеля в виде колец-витков не допускается.

Кабели должны быть жёстко закреплены, в местах крепления небронированных кабелей должны быть проложены прокладки из эластичного материала (листовая резина, полихлорвинил и т. д.). В местах, где возможны повреждения (передвижение автотранспорта, грузов и механизмов), кабели должны быть защищены до безопасной высоты, но не менее 2 м от уровня земли или пола вверх и 30 см вниз.

Проходы кабелей через несгораемые стены, перегородки и перекрытия должны быть выполнены в отрезках асбестовых или пластмассовых труб, а через сгораемые – в отрезках стальных труб.

В земле кабели укладывают на глубине 70 см. При пересечении улиц, площадей, шоссе и железнодорожных путей глубина укладки увеличивается до 1 м. Уменьшение глубины укладки кабеля до 50 см допускается при вводе в здание, а также при пересечении подземных сооружений. На этих участках для защиты от механических повреждений поверх кабеля укладывают кирпичи, или бетонные плиты. Прокладка кабеля по пахотным землям производится на глубине не менее 1 м, при этом земля над трассой используется под посевы.

Рытьё траншей в местах, где отсутствуют покрытия, а также, свободных от деревьев и различного рода подземных сооружений, выполняют траншейными роторными экскаваторами. При пересечении автомобильных и железных дорог выполняется прокол способами горизонтального бурения или продавливания. Ширина траншеи для прокладки одного кабеля должна быть не менее 15 см, двух – 30 см, трёх – 40 см, четырёх – 50 см, пяти – 63 см, шести – 80

см. Несоблюдение расстояний между кабелями вызывает во время эксплуатации их взаимный подогрев и может служить причиной выхода кабеля из строя.

Расположение кабелей в траншее. Кабели укладывают на дно траншеи, очищенное от камней и неровностей, куда насыпают слой мелкой земли или песка толщиной 10 см. Запас достигается путем укладки кабеля «змейкой», укладывать запас кабеля в виде колец-витков не допускается. При прокладке в траншее нескольких кабелей их концы, предназначенные для последующего монтажа соединительных и стопорных муфт, следует располагать со сдвигом мест соединения не менее чем на 2 м. При этом оставляют запас кабеля длиной, необходимой для проверки изоляции на влажность и монтажа муфты (не менее 35 см). Проложенный в траншее кабель присыпают первым слоем земли, должна быть уложена механическая защита или красная сигнальная лента, после чего представители электромонтажной и строительной организации совместно с представителями заказчика должны произвести осмотр трассы с составлением акта на скрытые работы. Траншея может быть окончательно засыпана и утрамбована после монтажа соединительных муфт и испытания линии повышенным напряжением. Не допускается засыпка траншеи комьями мёрзлой земли, грунтом, содержащим камни, куски металла и т. п.

На загородных участках одиночные кабели прокладывают при помощи специальной машины – кабелеукладчика, который ножом-клином разрезает и раздвигает грунт и в образовавшуюся щель укладывает кабель. Этот способ прокладки обеспечивает снижение трудоемкости в 2–8 раз по сравнению с прокладкой в траншею. При этом сохраняются земельные угодья, и повышается надежность эксплуатации кабельной линии. Кабелеукладочная техника обеспечивает возможность прокладки кабелей во всех категориях грунтов, прохода болот, оврагов и некоторых водных преград – мелких речек и ручьёв.

Прокладка кабеля при низких температурах. Обычно прокладку кабеля выполняют при положительной температуре окружающего воздуха. Без предварительного прогрева допускается прокладка кабеля только в том случае, если температура в течение 24 часов до начала прокладки не была ниже определённого предела, регламентированного СНиП «Электротехнические устройства» для

каждого типа кабеля. Кратковременные ночные заморозки в расчёт не принимаются. При температуре ниже допустимой кабель должен перед прокладкой прогреваться и укладываться в сжатые сроки, которые также регламентированы. При невозможности укладки кабеля в указанный срок в процессе прокладки обеспечивают постоянный подогрев кабеля. Немедленно после прокладки кабель должен быть засыпан слоем разрыхлённого грунта. Окончательно засыпать траншею и уплотнять грунт следует после охлаждения кабеля. При температуре ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ прокладка кабелей всех марок не допускается.

Прогрев кабеля выполняют следующими способами: трёхфазным, постоянным или однофазным током (при этом обеспечивается теплоизоляция слоем войлочного-брезентового капота) внутри обогреваемых помещений с температурой до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, в тепляке или палатке с паровым отоплением, печами, грелками инфракрасного излучения или с обогревом тепловоздухогрейкой при температуре до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При прогревании током в качестве источников применяют специальные понижающие трансформаторы мощностью 15–25 кВА, а также сварочные трансформаторы, выпрямители и генераторы. При подогреве трёхфазным током соединяют накоротко все жилы внутреннего конца кабеля, а при однофазном или постоянном токе, кроме того, – две жилы на его наружном конце. Жилы соединяют опрессовкой, место соединения покрывают изоляционной лентой, а конец кабеля герметически заделывают.

При прокладке следят, чтобы кабель не подвергался изгибу с радиусом, меньшим допустимого, и укладывался в траншею «змейкой».

2.3.3 Концевые заделки и соединительные кабельные муфты

Для оконцевания силовых кабелей применяют специальные концевые заделки: наружной установки (тип КН), мачтовые (тип КМ) и внутренней установки (тип КВ). Для соединения кабелей между собой применяют кабельные муфты. Различают: соединительные муфты (тип С); ответвительные (тип О); стопорные (тип Ст); стопорно-переходные (тип СтП). По материалу муфты подразделяют на эпоксидные, чугунные, свинцовые, алюминиевые, из самосклеивающихся резиновых лент и термоусаживаемые пластмассовые.

Переходная муфта – это специальная муфта для соединения кабеля с бумажной изоляцией и кабеля с пластмассовой изоляцией.

Стопорная муфта – это специальная соединительная муфта, предотвращающая стекание кабельной пропитки при прокладке кабелей по наклонным трассам.

Соединительные муфты всех конструкций, располагаемые в кабельных сооружениях, помещают в стальной противопожарный кожух в целях предотвращения распространения пожара в случае возникновения дуги при коротком замыкании в муфте. Кожух представляет собой цельную или разъемную трубу, изнутри обложенную асбестом толщиной 8–10 мм. Торцы трубы закрывают крышками из асбеста толщиной 20 мм. Расположенные в земле свинцовые муфты и муфты из самосклеивающихся лент защищаются от механических повреждений кожухами негерметичного исполнения из стеклопластика или чугуна. Такие кожухи состоят из двух половинок, соединённых между собой болтами. Муфты, расположенные в земле в зоне промерзания почвы, а также ниже уровня грунтовых вод, помещают в чугунные кожухи герметичного исполнения с последующей заливкой кабельной массой.

Термоусаживаемые муфты обеспечивают полную герметизацию и хорошие изоляционные качества. Муфты обладают высокой механической прочностью, стойкостью к воздействию окружающей среды. **Четырехкратная степень растяжения** термоусаживаемых изделий позволяет использовать один типоразмер муфты на несколько типов кабелей и сечений.

Монтаж термоусаживаемых муфт производится с помощью пропановой газовой горелки. Растянутое состояние термоусаживаемых элементов позволяет легко их надеть на разделанные концы кабеля (приложение А).

На внутренние поверхности термоусаживаемых элементов нанесен термоплавкий клей, который при действии температуры усадки расплавляется и обеспечивает хорошую герметичность.

Кроме того, термоплавкий клей заполняет все пустоты. Конструкция кабельной муфты повторяет конструкцию кабеля и может, как и кабель, изгибаться по трассе. После окончания монтажа кабельная муфта может сразу включаться в работу.

Разделка концов кабеля. Правильная разделка концов кабеля, чистота и аккуратность при их разделке, соединении или оконцевании в значительной мере обеспечивают безаварийную эксплуатацию кабельных линий. Разделку делают ступенчатой, т. е. на определённой длине кабеля последовательно один за другим удаляют слои конструкции кабеля, пока не обнажатся токопроводящие жилы. Длина разделки конца кабеля обуславливается конструкцией муфты или заделки, напряжением кабеля и сечением его жил. При разделке обрезают конец кабеля, находящийся под герметизирующим колпачком. При монтаже кабелей напряжением свыше 1 кВ обрезают также ту его часть, которая выведена через щеку барабана наружу (в этой части кабеля возможно повреждение изоляции).

Перед монтажом муфт и заделок выполняют проверку бумажной изоляции кабеля на влажность (увлажнение изоляции приводит к снижению электрической прочности и пробоем). Проверку выполняют путем погружения бумажных лент в нагретый до 150 °С парафин. Признаками влаги являются характерное потрескивание и выделение пены. Участки увлажнённой изоляции длиной 250–300 мм отрезают до тех пор, пока не будет получен положительный результат проверки. При распространении влаги на большую длину кабель выбраковывают.

3 ТЕХНОЛОГИЯ ПРОКЛАДКИ ЭЛЕКТРОПРОВОДОК

Электропроводкой называется совокупность проводов и кабелей с относящимся к ним креплением, а также поддерживающими и защитными конструкциями и деталями. Это определение распространяется на электропроводки осветительных, силовых и вторичных цепей напряжением до 1 кВ переменного и постоянного тока, выполненные внутри зданий и сооружений, на наружных стенах, территориях предприятий, учреждений, микрорайонов, дворов, приусадебных участков, а также на строительных площадках.

Электропроводки могут быть выполнены с применением изолированных установочных проводов всех сечений, а также небронированных силовых кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией, в металлической, резиновой или пластмассовой оболочке с сечением фазных жил до 16 мм² (при большем сечении это кабельные линии).

Проходы проводов и кабелей через несгораемые стены и междуэтажные перекрытия должны быть выполнены в отрезках труб или в коробах, или в проёмах, а через сгораемые – в отрезках стальных труб. Зазоры между проводами, кабелями и трубой в местах прохода через стены с обеих сторон следует заделывать легко удаляемой массой из несгораемого материала.

Отверстия в стенах выполняют с помощью пиротехнического, электро- и пневмоинструмента, применяя при этом свёрла и коронки с пластинами из твердых сплавов. Для пробивки отверстий в перекрытиях применяют специальные приспособления: ударные пиротехнические колонки и электродрель, укрепленную на стойке с винтовым домкратом.

3.1 Провода и кабели, применяемые в электропроводах

Для электропроводки следует применять в основном провода и кабели с медными жилами. Существуют "Инструктивные указания по проектированию электротехнических установок", которые детально оговаривают, в каких условиях, какие провода и кабели и каким способом следует прокладывать.

Провода и кабели изготавливаются одножильными и многожильными (у которых в одной оболочке имеется несколько проводящих жил, изолированных одна от другой). Жилы могут быть однопроволочными (сплошными), многопроволочными или комбинированными. Поперечное сечение токопроводящих жил измеряется в квадратных миллиметрах.

Жилы проводов и кабелей изготавливаются стандартных сечений (ГОСТ 22483-77), а именно: 0,35; 0,5; 0,75; 1; 1,2; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 185; 240; 300; 625; 800; 1000; 1200; 2000 мм². Для каждой марки (типа) проводов устанавливается определённый диапазон сечений.

Защищённые провода имеют поверх электрической изоляции металлическую или другую оболочку, предназначенную для герметизации и защиты от внешних воздействий находящихся внутри неё частей провода.

Незащищённые провода не имеют такой оболочки, но могут иметь оплётку пряжей, которая не рассматривается как защита про-

вода от механических повреждений. Допустимый радиус изгиба проводов с резиновой изоляцией не менее $6d$, с пластмассовой изоляцией – $10d$, а с гибкой медной жилой – $5d$, где d – наружный диаметр провода.

Расшифровка некоторых букв в обозначении проводов:

А – алюминиевый провод, если А отсутствует, то провод медный;

П – провод, или плоский, или полиэтилен;

В – полихлорвиниловая изоляция;

С – сплошное расположение жил (без разделительного основания);

Р – резиновая изоляция;

Д – двужильный;

Т – с несущим тросом;

Н – изоляция из наирита (негорючей резины).

Например: АВТ, ППВС.

Наряду с проводами для силовых электропроводок широко используются небронированные кабели, представляющие собой одну или несколько скрученных вместе изолированных жил, заключённых в общую резиновую, пластмассовую или металлическую оболочку.

3.2 Скрытые электропроводки

Скрытой называется электропроводка, проложенная внутри конструктивных элементов зданий и сооружений – в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях, за непроходными подвесными потолками, поверх перекрытий в подготовке пола, непосредственно под полом и т. п. Провода могут быть проложены под слоем штукатурки, в бороздах, вырезанных в гипсовых перегородках, в пустотах и каналах стен, перегородок и перекрытий, а также могут быть выполнены в пластмассовых трубах, замоноличенных внутри элементов строительных конструкций при их изготовлении на заводах железобетонных изделий и домостроительных комбинатах.

Скрытые электропроводки под слоем штукатурки выполняются проводами в двойной изоляции или защищёнными проводами, проложенными параллельно архитектурно-строительным линиям.

Разметку трасс электропроводки, мест установки ответвительных коробок, выключателей, штепсельных розеток и крючков для подвески светильников, а также прокладку проводов производят после окончания основных строительных работ, но до выполнения штукатурных работ и укладки чистого пола. Горизонтальную прокладку проводов по стенам обычно выполняют на расстоянии 50–100 мм от потолка или 50–100 мм от балки или карниза. Провода также могут быть уложены в щели между перегородкой и перекрытием или балкой. Спуски и подъёмы к выключателям, штепсельным розеткам и светильникам выполняют вертикально. Горизонтальные штепсельные линии прокладывают по линиям высоты установки штепсельных розеток (800 или 300 мм). Для выхода проводов в пустоты плит перекрытия или в трубы, укладываемые поверх перекрытия, а также для выхода проводов к светильнику и для его подвески, в плитах пробивают или просверливают отверстия.

Для соединения и ответвления проводов применяют пластмассовые или металлические ответвительные коробки с крышками. Выключатели и штепсельные розетки устанавливают в круглых металлических коробках. Коробку укрепляют на стене на алебастровом и цементном растворе, а также с помощью дюбелей и гвоздей так, чтобы её верхняя кромка располагалась заподлицо с поверхностью штукатурки.

Крепление проводов при скрытой прокладке должно обеспечивать их плотное прилегание к строительным основаниям. Расстояние между точками крепления должно составлять: при прокладке на горизонтальных и вертикальных участках заштукатуриваемых пучков проводов не более 0,5 м, одиночных проводов – 0,9 м, а при покрытии проводов сухой штукатуркой – до 1,2 м.

Провода укладывают на поверхность стены, подготовленной под штукатурку, и сначала закрепляют (примораживают) раствором у коробок, а затем по длине трассы – в нескольких местах, чтобы не было провисания и неплотного прилегания к поверхности основания. Крепление проводов гвоздями не допускается. При прокладке проводов по деревянным основаниям по всей длине трассы производят предварительную укладку листового асбеста или слоя намета. Листовой асбест толщиной не меньше 3 мм нарезают полосками такой ширины, чтобы он выступал за край проводов с каждой стороны не меньше чем на 10 мм.

В тонкостенных перегородках из гипсобетонных блоков проводка выполняется в швах между перегородкой и плитой перекрытия, а также в бороздах, изготавливаемых с помощью специальных бороздорезов с наконечниками из твердых сплавов. Провода укладывают

ся в борозды и заделываются раствором заподлицо с чистой поверхностью перегородки.

В сборных гипсокартонных перегородках электропроводка выполняется проводом ПВ в виниловых трубах диаметром 20–25 мм либо защищенным проводом ПРФ без труб.

В стенах из крупных бетонных блоков электропроводка выполняется в швах между блоками, а отдельные участки – в штробах.

В строительных панелях электропроводка выполняется в специально предусмотренных внутренних каналах или замоноличенных пластмассовых трубах. Толщина защитного слоя над каналом (трубой) должна быть не менее 10 мм, длина каналов между протяжными нишами или коробками – не более 8 м. При малой длине прямых каналов протяжку проводов выполняют вручную, без приспособлений. Большое число проводов протягивают с использованием предварительно затянутой стальной проволоки и ролика диаметром не менее 40 мм. Усилие протяжки не должно превышать 20 Н на каждый квадратный миллиметр суммарного сечения жил.

Замоноличенные электропроводки применяют при изготовлении на прокатных станах гипсобетонных перегородок размером «на комнату», а также при изготовлении шлакобетонных, керамзитобетонных и железобетонных стеновых панелей и перекрытий. Для таких проводок используют провода в двойной изоляции и защищенные провода, выводы которых защищают плотно насаженными резиновыми или поливинилхлоридными трубками. В местах перехода проводов из стеновых панелей в перекрытия на расстоянии около 200 мм до края панели ставят ответвительную коробку и далее предусматривают борозду. Для соединения проводов смежных панелей в одной из них устанавливают соединительную коробку, в другой предусматривают запас проводов. Этот запас сворачивают в бухточку, для защиты надевают пакет из пластика и замазывают слабым алебастровым или цементным раствором толщиной не более 5 мм. Место заделки пакета отмечают краской. При соединении между собой участков замоноличенной электропроводки находят по маркировке место запаса проводов, освобождают его от защитного слоя и прокладывают концы проводов к соединительной коробке соседней панели.

Электропроводки **за подвесными потолками** также являются скрытыми и должны выполняться: за потолками из сгораемых мате-

риалов – в металлических трубах, коробах, металлорукавах; за потолками из трудно сгораемых и несгораемых материалов – в винилпластовых или аналогичных трубах, а также кабелями и защищенными проводами, имеющими оболочки из трудно сгораемых материалов. Должна быть обеспечена возможность замены проводов и кабелей.

Модульная электропроводка применяется для выполнения совмещенных (силовых, осветительных и слаботочных) сетей в полах помещений большой площади. Модульная система представляет собой сеть пластмассовых или стальных труб, в узлах которой расположены разветвительные коробки. Для укладки такой сети цементная стяжка пола должна быть не тоньше 75 мм. Коробки имеют съёмную перегородку, разделяющую силовое и слаботочное отделения. Ответвления проводов от модульной сети выполняют с помощью сжимов. Модульная проводка обеспечивает возможность быстро изменить расположение рабочих мест и технологического оборудования без перекладки электрических сетей.

При выполнении скрытой электропроводки любого вида все соединения и ответвления проводов должны быть выполнены в ответвительных коробках. После проверки всей групповой сети помещения на горение ламп каждое место скрутки проводов дополнительно сваривают или опрессовывают в гильзе, а затем изолируют с помощью изоленды или колпачка, либо наворачивают на место скрутки соединительный изолированный сжим (СИЗ). В ответвительных и соединительных коробках, а также в коробках для установки выключателей, штепсельных розеток и для подключения светильников оставляют запас проводов не менее 100 мм, достаточный для их повторной разделки.

3.3 Открытые электропроводки

Открытой называется электропроводка, проложенная по поверхности стен, потолков, по деревянным и другим строительным элементам зданий и сооружений, по опорам и другим несущим конструкциям. Открытую проводку выполняют на высоте не менее 2,5 метров от уровня пола. Уменьшение высоты до 2 метров разрешается в помещениях без повышенной опасности, а при напряжении до 42 В – во всех помещениях.

Пересечения открыто проложенных проводов с трубопроводами выполняют таким образом, чтобы расстояние до них было не меньше 50 мм, а до трубопроводов с горючими или легковоспламеняющимися жидкостями и газами – не меньше 100 мм. Если это расстояние не превышает 250 мм, то провода и кабели в месте пересечения дополнительно защищают от механических повреждений на длине не меньше 250 мм в каждую сторону от трубопровода. При параллельной прокладке расстояние от провода или кабеля до трубопровода должно быть не меньше 100 мм, а до трубопроводов с горючими и легко воспламеняющимися жидкостями и газами – не меньше 400 мм. В местах пересечения и сближения с горячими трубопроводами провода и кабели дополнительно защищают теплоизоляцией.

Соединения и ответвления проводов и кабелей размещают в местах, доступных для осмотра и ремонта.

Технология выполнения открытой электропроводки включает в себя разметку, пробивку отверстий для прохода через стены и перекрытия, крепление ответвительных коробок, штепсельных розеток, выключателей и светильников, а также прокладку, крепление, соединение и подключение самих проводов.

Провода поставляются свёрнутыми в бухты. Перед прокладкой их выправляют, протягивая через специальные приспособления либо через тряпку или рукавицу. Размотку и правку проводов производят при температуре не ниже минус 15 °С. Прокладывают провода отдельными участками, обычно начиная с ближайшей к групповому щитку ответвительной коробки. На конце провода, вводимого в коробку, разрезают перемычки между жилами на длине 75 мм. Начиная от коробки, провод укладывают, слегка натягивая, по всему прямолинейному участку, на другом конце временно закрепляют, тщательно выправляют, укладывают по всей длине участка и окончательно на всем протяжении закрепляют.

Крепление проводов выполняют скобками с помощью дюбелей или гвоздей. Расстояние между креплениями не должно превышать 400 мм. Соединение и ответвления проводов выполняют в ответвительных коробках сваркой, опрессовкой или пайкой. Пересечения проводов между собой избегают. Когда этого избежать нельзя, изоляцию проводов в месте пересечения усиливают подмоткой 3–4 слоёв полихлорвиниловой изоляционной ленты.

Открытую прокладку незащищённых изолированных проводов на роликах и штыревых изоляторах выполняют по стенам и потолкам производственных и складских помещений (сухих, влажных, сырых и особо сырых), а также снаружи зданий и сооружений. Ролики могут быть закреплены шурупами или гвоздями на штукатурке или на обшивке деревянных зданий, крюки и кронштейны с изоляторами должны закрепляться только на основном материале стен. Изоляторы крепятся на крюк и штырь с помощью полиэтиленовых колпачков. Нагретый в горячей (80–90 °С) воде колпачок насаживают на крюк (штырь) лёгкими ударами деревянного молотка и наворачивают изолятор по резьбе до упора.

Провода к изоляторам крепят мягкой стальной проволокой либо при помощи колец или шнура из полихлорвинила. В сырых помещениях и в наружных проводках применяют стальную оцинкованную вязальную проволоку. Во избежание повреждения изоляции в местах привязки выполняют обмотку провода изоляционной лентой в два слоя. На промежуточных штыревых изоляторах провода укладывают на шейки или на головках, на угловых – только на шейках. Провода небольших сечений натягивают рукой, а провода больших сечений – многороликовыми блоками (полиспастами) или лебёдками. Ответвления проводов выполняют только на изоляторах. Прикрепляют провода к изоляторам сначала на опорах, на которых выполнены ответвления, затем на средних опорах между оставшимися и т. д.

Проходы проводов через стены и междуэтажные перекрытия выполняют в трубах, причём каждый провод заключают в самостоятельную трубу (за исключением перехода из одного сухого помещения в другое, когда все провода допускается прокладывать в одной трубе). Трубы оконцовывают: в сухих помещениях – втулками, в сырых помещениях и при наружных проводках – воронками, направленными раструбами вниз.

Открытые электропроводки по поверхности стен выполняют защищёнными проводами и кабелями, прокладывая их непосредственно по поверхности стен с креплением скобами и пряжками или привязывая к полосам и струнам.

Полосой как несущим элементом электропроводки называется перфорированная металлическая полоса или лента шириной 16–30 и толщиной 0,8–1,5 мм, предназначенная для крепления проводов, кабелей или их пучков. Полосу крепят вплотную к поверхности стены, потолка или другой

опорной поверхности с интервалом 0,8–1 мм. Струной называется натянутая вплотную к поверхности стены, потолка стальная проволока диаметром 3–8 мм, предназначенная для той же цели.

Крепление проводов и кабелей к полосам, лентам и струнам выполняют металлическими или пластмассовыми бандажами с расстояниями 500 мм между точками крепления, а также 10–15 мм от начала изгиба трассы и 100 мм – от ввода в ответительные коробки. Несоющие полосы, ленты и струны соединяют в непрерывную электрическую цепь и заземляют (зануляют) в начале и конце трассы.

Проводки в электротехнических плинтусах согласно ПУЭ также относятся к открытым. Этот вид электропроводки применяют в жилых домах, гостиницах, санаториях, где кроме сетей освещения необходимо также прокладывать сети телефона, телевидения и сигнализации. Электротехнические плинтусы изготавливаются из металла или пластмассы. Они представляют собой короб с крышкой, в котором предусмотрено несколько отделений (полок), предназначенных для прокладки проводов различных сетей. Устройство плинтусной коробки должно обеспечивать раздельную прокладку силовых и слаботочных проводов. Крепление плинтуса должно обеспечивать плотное прилегание к стене и полу (зазор не более 2 мм) с усилием на отрыв не менее 196 Н.

На станках и движущихся механизмах электропроводка может быть выполнена неподвижной и подвижной. Для защиты изоляции проводов от механических повреждений, а также от разрушающих воздействий масел, эмульсий и влаги применяют стальные трубы или гибкие герметические металлорукава либо укладывают защищённый провод. В местах выхода из труб и рукавов провода защищают от механических повреждений втулками.

Во внутренних плоскостях станин применяют открытую прокладку изолированных проводов с полихлорвиниловой изоляцией. Трубы, провода и кабели прикрепляют к станинам металлическими скобами. Расстояние между точками крепления: труб – от 80 до 100 см, проводов, металлорукавов и кабелей – от 50 до 70 см.

Тросовыми называют открытые электропроводки, у которых провода или кабели укреплены на натянутом несущем тросе. Основным преимуществом таких проводок являются возможность применения больших пролётов между креплениями, простота и высокая индустриальность монтажа. Наиболее просты и удобны в монтаже

осветительные электропроводки, выполненные специальными тросовыми проводами АВТ, АВТУ, АВТВ, АВТВУ, в которых несущий трос вмонтирован в провод. Ответвления выполняют с помощью сжимов без разрезания провода.

При прокладке других типов проводов и кабелей в качестве несущего троса применяют стальной оцинкованный канат диаметром 3–6,5 мм, а также обычную стальную проволоку диаметром 5–8 мм, оцинкованную или имеющую лакокрасочное либо полихлорвиниловое покрытие. На концах троса делают петли, затем устанавливают тросовый зажим и натяжную муфту и крепят их к стенам с помощью анкерных болтов или штырей. Кроме этого трос крепят к элементам конструкций – фермам или балкам через каждые 6–12 метров (в зависимости от длины строительных пролётов). Натяжение троса регулируют так, чтобы стрела провеса была в пределах 1/40–1/60 от расстояния между креплениями.

Незащищённые изолированные провода укрепляют на тросе с помощью пластмассовых подвесок на два или четыре провода с промежутками не более 0,5 м. В сухих и влажных помещениях допускается крепить такие провода непосредственно к тросу перфорированной поливинилхлоридной лентой с кнопками или пряжками. Защищённые провода и кабели прикрепляют к тросам с помощью металлических подвесок или стальных полосок – пряжек.

Для подвески светильников массой до 5 кг применяют специальные ответвительные коробки, внутри которых имеются сжимы для ответвления проводов, а также устройства для закрепления троса, крюка и подвески – струны из стальной оцинкованной проволоки диаметром 1,5–2 мм.

На обоих концах тросовой электропроводки выполняют заземление (зануление) несущего троса путем присоединения его к нулевому проводу или к заземляющему проводнику.

3.4 Электропроводки в кабельных каналах

Электропроводка в кабельных каналах находится на стыке открытого и скрытого способа прокладки проводов. Кабель-каналы (короба) – закрытые полые конструкции прямоугольного или иного сечения, предназначенные для прокладки в них проводов и кабелей и

защиты их от механических повреждений. Кабель-каналы могут быть глухими или с крышками, со сплошными или перфорированными стенками.

С одной стороны, сохраняются все преимущества открытой проводки, с другой стороны, проводка в кабель-каналах более электро- и огнебезопасна и имеет довольно эстетичный вид. Кроме того, в кабель-канал вместе с электропроводкой можно уложить провода слаботоочных систем (компьютерные сети, телевизионный кабель, телефонный провод и т. д.). Например, в кабель-канале с пятью отделениями можно разместить провода групповой электросети (два отделения), провода радиотрансляции, телефонный и телевизионный кабели (три отделения).

Этот вид проводки применяется сегодня практически повсеместно. Для прокладки компьютерных сетей, пожарной и охранной сигнализации такой способ является стандартным. Системы кабель-каналов, как правило, имеют в своем составе набор совместимых аксессуаров, которые позволяют монтировать электроустановочные изделия в короб и прокладывать трассы внешней электропроводки, повторяя линии стен, полов и потолков помещений и зданий. В погоне за минимизацией стоимости погонного метра, наибольшее распространение получили пластиковые короба, однако определённое употребление имеют и металлические (из стального и алюминиевого профиля).

Кабель-каналы выпускаются в виде полых коробов различного сечения длиной 2 метра, а также в виде полого плинтуса, с внутренними перегородками для укладки кабеля. Прямые и угловые сочленения осуществляются с помощью специальной фурнитуры: различного рода тройники канала, крестовины, угольники, арки, компенсационные муфты, крепежные лапки, крышки каналов, крестовин и угольников и тому подобные удобные дополнения.

Кабель-каналы чаще всего производят в белом – офисном исполнении: белоснежные, молочной белизны, слоновая кость. Но существуют и эксклюзивные варианты отделки «под дерево»: палисандр, дуб, ясень. Пластиковые кабель-каналы изготавливают из поливинилхлорида, вследствие чего они не поддерживают горения, устойчивы к химически агрессивной среде. При монтаже кабель-каналы легко соединяются между собой за счёт разнообразных монтажных изделий: углов внешних и внутренних, плоских (90 граду-

сов), тройников, заглушек и соединений на стык. Монтаж кабель-каналов может производиться саморезами – на бетонной, кирпичной, деревянной стене или приклеиванием жидкими гвоздями – на керамической плитке.

3.5 Электропроводки на лотках

На современных промышленных предприятиях количество проводов и кабелей, прокладываемых по общим трассам, в ряде случаев становится столь большим, что размещение их в фундаментах, перекрытиях и по стенам становится практически невозможным. В этом случае выполняют электропроводку на лотках, обладающую достаточной гибкостью при изменении расположения технического оборудования в цеху.

Лотком называется открытая конструкция, предназначенная для прокладки в ней проводов и кабелей. Лотки не являются защитой от внешних механических повреждений, стенки у них могут быть сплошными, перфорированными или решетчатыми.

Лотки изготавливаются в виде готовых элементов, набор которых обеспечивает создание трассы с необходимыми поворотами и разветвлениями по горизонтали и вертикали. В набор входят секции прямые разнообразной длины, угловые, крестообразные, тройниковые, а также устройства для крепления лотков к строительным конструкциям и зажимы для фиксации проводов и кабелей внутри лотка.

Лотки прокладывают вдоль рядов колонн по стенам, под перекрытиями, в межферменном пространстве, а также на конструкциях, укрепленных непосредственно на оборудовании. Между собой элементы лотков соединяются болтами. Для того чтобы обеспечить непрерывную электрическую связь вдоль всей трассы, контактные поверхности зачищаются до металлического блеска и смазываются техническим вазелином.

Провода и кабели для прокладки по лоткам в виде мерных длин заготавливаются в мастерских или их монтаж ведут непосредственно с барабанов и бухт. Пучки кабелей и проводов скрепляют бандажами на расстоянии не более 4,5 м на горизонтальных и не более 1 м на вертикальных участках. В местах поворота трассы и ответвления во всех случаях провода и кабели закрепляют на расстоянии не более 0,5 м от поворота или ответвления.

3.6 Электропроводки в трубах

Открытые и скрытые электропроводки в трубах требуют затраты дефицитных материалов и трудоемкости в монтаже. Поэтому их применяют в основном при необходимости защиты проводов от механических повреждений или защиты изоляции и жил проводов от разрушения при воздействии агрессивных сред. Раньше применялись только стальные трубы. В настоящее время все шире применяются полимерные трубы – полиэтиленовые, винилпластовые, полипропиленовые, обладающие высокой коррозионной и химической устойчивостью, хорошими электроизолирующими свойствами, достаточной механической прочностью, гладкой поверхностью. Применение полимерных труб повышает надежность работы электропроводок в агрессивных средах, уменьшает вероятность замыкания электрических сетей на землю, снижает трудовые затраты.

Полиэтиленовые трубы используют для скрытых сменяемых электропроводок в негорячих конструкциях (элементы сборного железобетона, фундаменты, бетонные полы). Недостатком полиэтиленовых труб является их горючесть.

Винилпластовые применяют как для скрытых, так и для открытых электропроводок по негорячим или трудно сгораемым конструкциям и поверхностям.

Винилпластовые, полиэтиленовые и полипропиленовые трубы нельзя применять в пожаро- и взрывоопасных зонах, в детских учреждениях, спальнях и больничных корпусах, вычислительных центрах, домах-интернатах для престарелых и инвалидов, животноводческих помещениях, а также в горячих цехах, где производится работа с горячими материалами. В этих случаях следует применять стальные трубы. В сырых помещениях и наружных установках толщина стальных труб должна быть не меньше 2 мм. В местах выхода проводов из стальных труб их защищают от механических повреждений втулками.

Для определения необходимого диаметра труб вначале в зависимости от длины участков, а также числа и углов изгибов, определяют группу сложности трубной трассы (I, II или III). Затем в зависимости от числа проводов и их наружного диаметра по таблицам или номограмме определяют внутренний диаметр трубы.

Предварительную заготовку элементов трубной трассы выполняют в мастерских, а затем на месте монтажа производят сборку. На горизонтальных участках трубы укладываются с уклоном, чтобы в них не скапливалась влага. Соединение пластмассовых труб выполняют с помощью термоусаживаемых муфт или сваркой. Для соединения стальных труб применяют резьбовые муфты либо опрессовку в отрезке трубы большего диаметра с помощью порохового пресса. В последнем случае обеспечивается непрерывная электрическая цепь заземления (зануления) вдоль всей трассы. При скрытой прокладке труб перед засыпкой грунта или бетонированием составляют акт на скрытые работы. Толщина слоя бетона над трубами должна быть не меньше 20 мм. При открытой прокладке трубы крепятся к строительным конструкциям скобами или хомутами.

Перед затяжкой проводов из труб удаляют заглушки, проверяют отсутствие загрязнения и, при необходимости, продувают сжатым воздухом, а в случае сильного загрязнения протаскивают ерши. Провода затягивают вдвоём при помощи стальной проволоки. Для сочленения протягиваемых проводов и кабелей с протяжной проволокой применяют комплект из четырех специальных зажимов различного размера. Один рабочий тянет проволоку, а другой направляет провода с противоположного конца, сматывая их с барабанов. Затяжку проводов больших сечений производят с помощью ручных и электрических лебедок. В вертикально проложенные трубы рекомендуется затягивать провода снизу вверх. При выходе из труб оставляют концы проводов длиной, необходимой для их разводки и присоединения к зажимам электрооборудования или соединения между собой. При протягивании через коробки в каждой из них делают петлю небольшого диаметра.

Соединения и ответвления проводов, проложенных в трубах, выполняют в коробках и ящиках. Соединение проводов непосредственно в трубах запрещается. По окончании затяжки и соединения проводов их маркируют в соответствии с проектом и кабельным журналом.

4 МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

4.1 Классификация электрооборудования

Электрооборудование и электротехнические устройства в отношении защиты персонала от прикосновения и попадания внутрь воды характеризуются степенью защиты, обозначаемой буквами *IP* (*International Protection*) и двузначным кодом.

Первая цифра кода обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими и движущимися частями оборудования и от попадания внутрь оболочки твёрдых посторонних тел.

0 – защита отсутствует;

1 – защита от случайного прикосновения большого участка тела и от попадания внутрь оборудования крупных предметов диаметром не менее 525 мм;

2 – защита от соприкосновения пальцев и от попадания внутрь оборудования посторонних тел диаметром не менее 12,5 мм;

3 – защита от попадания внутрь оборудования посторонних тел диаметром не менее 2,5 мм;

4 – защита от попадания внутрь оборудования посторонних тел диаметром не менее 1 мм;

5 – защита оборудования от попадания внутрь пыли;

6 – полная защита.

Вторая цифра кода обозначает степень защиты электрооборудования от проникновения внутрь оболочки воды.

0 – защита отсутствует;

1 – защита от капель сконденсировавшейся воды;

2 – защита от дождя;

3 – защита от дождя, сопровождающегося сильным ветром;

4 – защита от брызг;

5 – защита от водяных струй;

6 – защита от воздействий, характерных для палубы корабля;

7 – защита от кратковременного погружения в воду;

8 – защита при неограниченно долгом погружении.

Например код *IP23* обозначает, что обеспечена защита от проникновения внутрь пальцев или твёрдых предметов диаметром не менее 12,5 мм, а также от дождя, падающего на оболочку под углом не более 60° к вертикали. Код *IP54* обозначает, что для изделия обеспечена защита от пыли и брызг. Если для изделия нет необходимости в одном из видов защиты, допускается в условном обозначении представлять знак “X” вместо обозначения того вида защиты, который в

данном изделии не требуется или испытание которого не производится, например *IPX3*.

Вид климатического исполнения определяется в соответствии со стандартами, предусматривающими эксплуатацию, хранение и транспортировку машин, приборов и других технических изделий, в том числе и электротехнических, в районах с умеренным (У), холодным (ХЛ), влажным (ТВ) и сухим (ТС) тропическим климатом.

Климат нашей республики умеренный, что соответствует температуре окружающей среды от минус 40 до плюс 40 °С с допустимым временным уменьшением до минус 45 °С либо увеличением до плюс 45 °С.

Электротехнические изделия подразделяются также на группы по стойкости к воздействию внешних механических факторов: вибраций, ударов и т. п. Очевидно, что электрооборудование, установленное на движущихся транспортных средствах, должно отличаться повышенной виброустойчивостью.

4.2 Монтаж распределительных устройств

Распределительным устройством (РУ) называется электроустановка, служащая для приёма и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства, а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы. Конструктивное исполнение РУ может быть открытое (в котором токоведущие части доступны), защищенное с одной стороны и защищенное со всех сторон. В защищённом РУ токоведущие части закрыты оболочкой таким образом, что при закрытых дверях, крышках и других защищающих устройствах исключается возможность касания токоведущих частей (степень защиты не менее *IP20*).

Как и все электроустановки, РУ подразделяются на установки напряжением до 1 кВ и выше 1 кВ. Мы ознакомимся с РУ напряжением до 1 кВ. Различают понятия распределительный щит, расположенный в отдельном специальном помещении, и распределительные пункты, располагающиеся непосредственно в производственных и вспомогательных помещениях, а также в административных и жилых зданиях. Распределительные щиты собираются из нескольких пане-

лей и, как правило, имеют исполнение, защищённое с одной стороны. Однако могут быть и открытые щиты, в которых электрическое оборудование установлено на каркасе, а также закрытые щиты, состоящие из нескольких шкафов.

Распределительные пункты бывают в виде шкафов, щитков, ящиков.

Щкафом называют защищённое распределительное устройство, устанавливаемое на полу.

Щитком называют защищённое распределительное устройство, устанавливаемое в нишах; спереди щиток имеет обрамление, обеспечивающее полное закрытие ниши.

Ящик – защищённое распределительное устройство, закрепляемое на вертикальной плоскости (на стене).

Согласно СНиП “Электротехнические устройства” щиты, шкафы и прочие распределительные устройства должны поставляться предприятиями-изготовителями полностью смонтированными, прошедшими ревизию, регулировку и испытания. Монтаж таких РУ сводится лишь к установке в предусмотренное проектом положение и подсоединению их к электрическим сетям.

Распределительные щиты. В производственных, административных и общественных зданиях есть специальное помещение – щитовая, куда подходит кабель с трансформаторной подстанции. Распределительный щит собирается из отдельных панелей: линейных; вводных; секционных; вводно-секционных; вводно-линейных; с аппаратурой АВР (автоматическое включение резерва); с приводами и распределителями; диспетчерского управления уличным освещением; торцевых. Панели обеспечивают возможность как кабельного, так и шинного ввода. Степень защиты спереди – *IP21*, сверху и сзади – *IP00*.

Распределительный щит располагается в помещении согласно проекту. Во время строительных работ выполняют разметку и закрепляют на полу основную раму – цоколь. На стенах крепят скобы и кронштейны для аппаратуры и изоляторов, а также выполняют прокладку заземляющих магистралей. После того как строительная организация закончит отделку помещения, выполняют монтаж щита. Отдельные панели и блоки, собранные и отрегулированные в мастерских, устанавливают на раму. Затем их выверяют в горизонтальной и вертикальной плоскостях, после чего крепят болтами или сваркой. В соответствии с маркировкой и рабочими чертежами выполняют

электрические соединения. Измерительные приборы доставляют в ящиках отдельно от панелей и устанавливают в последнюю очередь.

Распределительные пункты. Для распределения энергии в цехах промышленных предприятий применяют распределительные пункты различных серий в виде щитков, ящиков и шкафов, имеющих следующие исполнения: утопленное (для установки в нише), навесное (для установки на стенах и колоннах), напольное. Степень защиты – *IP21*, а навесного и напольного, кроме того, – *IP54* (от пыли и брызг). Ввод и вывод питающих и отходящих линий возможен как проводами в трубах, так и кабелем с резиновой, пластмассовой и бумажной изоляцией. В зависимости от схем устанавливается от 3 до 30 однополюсных и от 1 до 12 трехполюсных автоматических выключателей.

Расположение распределительного пункта в помещении и способ его установки и крепления определяют в соответствии с рабочим чертежом. Закладные крепежные элементы необходимо установить заранее, в период строительных работ. При установке пункта его выверяют по уровню, отвесу и закрепляют. После этого подсоединяют внешние провода, кабели и заземляющие проводники.

Вводно-распределительные устройства (ВРУ) предназначены для приема и распределения энергии в административных зданиях и жилых домах повышенной этажности. Они состоят из вводных и распределительных панелей шкафного типа. Ввод проводов и кабелей осуществляется снизу, вывод как снизу, так и сверху через съемную крышку. В фундаменте, на котором устанавливаются ВРУ, должны быть выполнены кабельные каналы или приямки.

Вводные шкафы предназначены для жилых и общественных зданий. Они разделены вертикальными перегородками на два самостоятельных запираемых отсека: в одном размещены вводный рубильник, предохранители и трансформаторы тока, в другом группы предохранителей и автоматов, а также счетчик учета электроэнергии. Некоторые шкафы имеют дополнительные отсеки для счетчиков и аппаратуры автоматического управления освещением лестничных клеток и наружным освещением.

Осветительные, квартирные и этажные щитки. При монтаже освещения производственных и вспомогательных помещений, а также административных и общественных зданий применяются групповые осветительные щитки, укомплектованные одно- и трёхполюсны-

ми автоматами на ток до 50 А. Осветительный щиток представляет собой металлический корпус, внутри которого на съемном шасси смонтирована аппаратура. Рукоятки автоматов выведены на фасад щитка. На боковой стенке находится болт заземления. Спереди щитки имеют обрамление, закрывающее нишу.

Для жилых зданий выпускают квартирные щитки (серии ЩК) и этажные (серии ЩЭ), устанавливаемые на лестничных площадках. В них установлены счетчики электроэнергии и автоматические выключатели либо плавкие предохранители для защиты электропроводки от перегрузок и коротких замыканий. Некоторые модификации щитков имеют отделения для слаботочных цепей радио, телефона и телевизионной антенны.

Аппаратура распределительных устройств. Различают РУ ручного и дистанционного управления. К аппаратам ручного управления относят рубильники, переключатели, пакетные выключатели, пусковые ящики (рубильник, предохранители), барабанные выключатели, контроллеры и автоматические выключатели. К аппаратам дистанционного управления относят контакторы, магнитные пускатели и другие коммутационные устройства.

4.3 Монтаж электрических машин

Электрические машины выпускаются на различные мощности – от долей ватта до сотен мегаватт. Их обычно подразделяют на микромашины, машины малой, средней и большой мощностей. Строгих границ в указанной классификации в настоящее время не существует, однако условно можно применить следующее разделение:

Микромашины – до 500 Вт. Как правило, это машины, которые отдельно не монтируются, а находятся в составе оборудования.

Машины малой мощности – от 0,5 до 10 кВт. Это машины, которые можно поднять вручную.

Машина средней мощности – от 10 до 200 кВт.

Машины большой мощности – 200 кВт и выше.

Иногда применяется термин “крупные машины”. Под этим термином подразумевают машины мощностью более 1000 кВт, поставляемые с завода-изготовителя, как правило, в разобранном виде и собираемые на месте установки.

Монтаж микромашин мы рассматривать не будем, т. к. они обычно являются встроенными элементами оборудования. Об особенностях монтажа крупных машин можно почитать в учебнике [2, 278–287]. Таким образом, темой дальнейшего разговора будет монтаж электрических машин мощностью от 0,5 до 1000 кВт, поступивших с завода в собранном виде. Наиболее распространенным видом электрических машин является двигатель, поэтому рассказ будет вестись применительно к двигателю. Однако большинство сказанного будет справедливо и для остальных электрических машин.

Подготовка места для монтажа электродвигателя. Электродвигатели устанавливаются на специальных конструкциях, на фундаментах или на стенах. Помещения, в которых находятся электрические машины, должны удовлетворять Требованиям к зданиям и сооружениям, принимаемым под монтаж электрооборудования (СНиП «Электротехнические устройства»). Фундаменты не должны иметь каверн, раковин, поверхностных трещин, поврежденных углов, оголенной арматуры, а также обрамляющих бортов.

Анкерные отверстия в бетонных и железобетонных фундаментах должны быть выполнены при их изготовлении путем закладки сборно-разборных пробок. Пробивать отверстия в готовых фундаментах не допускается. Расположение закладных деталей и отверстий должно соответствовать проектным геометрическим размерам.

После приёмки фундамента от строительной организации на него устанавливается фундаментная плита. Для подъема фундаментной плиты и двигателя используют подъёмники, краны, тали, полиспасты и другие грузоподъёмные механизмы и приспособления. Фундаментная плита выравнивается с помощью металлических клиньев и прокладок, прикрепляется к фундаменту анкерными болтами, а затем заливается бетоном – замоноличивается. Для выравнивания применяют домкраты – винтовые, гидравлические и клиновые. Подъёмные устройства должны быть испытаны и иметь соответствующую грузоподъёмность.

Подготовка электродвигателя. Подготовка самого электродвигателя к монтажу начинается с внешнего осмотра. Если двигатель не имеет наружных повреждений, производят очистку его внутренних частей сжатым воздухом. Предварительно проверяют, чтобы воздух был сухой, для чего струю направляют на какую-либо поверхность или ладонь руки. При продуве ротор поворачивают вруч-

ную, проверяя свободное движение вала в подшипниках. У двигателей, имеющих подшипники скольжения, выполняется промывка их керосином и замена смазки.

Следующей операцией по подготовке двигателя является измерение сопротивления изоляции. У электродвигателей постоянного тока измеряют сопротивление изоляции между якорем и катушками возбуждения (полюсами). Проверяют также сопротивление изоляции якоря, щеток и катушек возбуждения по отношению к корпусу. При измерениях между щетками и коллектором помещается изолирующая прокладка из миканита, электрокартона, резины и т. п. У асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором измеряют сопротивление изоляции обмоток статора по отношению к корпусу. Если выведены шесть выводов трехфазной обмотки, измеряют также сопротивление секций обмоток относительно друг друга. У электродвигателей с фазным ротором кроме этого измеряют сопротивление изоляции между ротором и статором, а также сопротивление изоляции щеток по отношению к корпусу. При этом между кольцами и щетками должны быть проложены изолирующие прокладки.

Каким должно быть сопротивление изоляции? Это указывается в паспорте на каждую электрическую машину. Ориентировочные значения: для двигателей постоянного тока и для статорных обмоток двигателей переменного тока напряжением до 1000 В сопротивление изоляции должно быть не менее 500 кОм. Для роторных обмоток – не менее 200 кОм.

Если сопротивление изоляции меньше требуемых норм, то электродвигатель подвергают тщательному осмотру для выяснения причины. Если низкое сопротивление изоляции вызвано незначительным её повреждением в доступных местах, ремонт выполняют на месте. В случае серьезных повреждений изоляции, особенно обмоток, электродвигатель отправляют в специальную мастерскую, или на завод, или на место установки вызывают специальных электромонтеров-обмотчиков. Когда выясняется, что электродвигатель не имеет повреждений изоляции прокладок и обмоток и всё-таки показывает низкое сопротивление изоляции из-за её влажности, машину подвергают контрольному прогреву или сушке.

Сушка машины является трудоемкой, дорогостоящей и сложной операцией, поэтому ее производят только после тщательной проверки и установления её необходимости. Для заключения о состоянии изоляции используется метод измерения токов утечки при повыше-

нии напряжения до 2,5-кратного значения. Измерения производят при значениях напряжения равных 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 и 2,5 от номинального. По результатам измерений строят график зависимости тока утечки от приложенного напряжения. Прямолинейный характер этой зависимости говорит об исправном состоянии изоляции машины и о том, что такую машину можно включать в работу без сушки. Резкий перегиб линии графика говорит о сильной увлажнённости и необходимости сушки. Если линия графика не имеет резкого перегиба, но сильно отклоняется от прямой, машину подвергают контрольному прогреву и повторным испытаниям.

Основные методы сушки:

- тёплым воздухом от воздухоудвки;
- инфракрасными лучами от специальных зеркальных ламп накаливания;
- током, пропускаемым по обмоткам от источника постоянного или переменного тока;
- короткое замыкание в генераторном режиме. Этим способом можно сушить синхронные машины и машины постоянного тока при наличии двигателя для их вращения;
- методом индукционных потерь в стали статора с помощью специальной временной обмотки из изолированного провода, намотанного поверх машины;
- методом индукционных потерь с использованием вала электрической машины в качестве намагниченного витка;
- двигателя постоянного тока на “ползучей скорости”.

Сушка электрическим током сильно отсыревших машин может вызывать вспучивание изоляции, поэтому необходим тщательный контроль за током и особенно за температурой обмоток в процессе сушки. Нагрев следует проводить постепенно. Через каждый час – два производят измерения сопротивления изоляции. При нагреве машины сопротивление изоляции несколько снижается, достигает минимального значения и затем монотонно возрастает. Сушка прекращается после того, как значение сопротивления изоляции при постоянной температуре не будет изменяться в течение нескольких часов.

Установка электродвигателя. Подготовленные и проверенные двигатели доставляют к месту установки и монтируют. Если электроустановка содержит двигатели массой 100 кг и более, то должны быть предусмотрены приспособления для их такелажа. Электродвигатели должны быть установлены таким образом, чтобы была ис-

ключена возможность попадания на их обмотку и токосъемные устройства воды, масла, эмульсии и т. п., а также, чтобы обеспечить доступ для осмотра и замены, а по возможности и для ремонта двигателя на месте установки. Вращающиеся части электродвигателей и части, соединяющие электродвигатели с механизмом (имеется в виду муфты, шкивы), должны иметь ограждения от случайных прикосновений.

Электродвигатель выверяют, соединяя его с приводимыми во вращение станком или механизмом. При всех способах соединения требуется проверка горизонтального положения двигателя в двух взаимно перпендикулярных направлениях: вдоль и поперёк оси вала. При выверке двигателя, устанавливаемого непосредственно на фундаменте или железобетонном полу, под лапы двигателя подкладывают металлические прокладки – клинья. Деревянные прокладки для этой цели не годятся, т. к. при заливке фундаментных болтов цементным раствором они набухают и сбивают произведенную выверку, а при затяжке болтов – спрессовываются.

Дальнейшие операции по выверке электродвигателя зависят от вида передачи – ременная или через муфту.

При ременной передаче необходимым условием правильной работы электродвигателя является соблюдение параллельности его вала и вала вращаемого им механизма, а также совпадение средних линий по ширине шкивов. При одинаковой ширине шкивов и расстоянии между центрами валов до 1,5 м выверка производится с помощью стальной выверочной линейки. При больших расстояниях пользуются струной или шнурком.

Выверку положения валов электродвигателя и вращаемого им механизма при их соединении муфтами выполняют с помощью скоб, закрепленных на полумуфтах электродвигателя и механизма. Поворачивая одновременно оба вала добиваются, чтобы расстояние между остриями центровочных скоб при этом не изменялось. Центровка достигается за счет изменения толщины прокладок и горизонтального сдвига. Однако абсолютно точного совпадения осевых линий соединяемых валов достигнуть невозможно, практически всегда имеют место радиальные и угловые смещения. Допустимые значения этих смещений зависят от типа применяемых муфт.

Жёсткие фланцевые муфты применяются для соединения строго соосных валов. Соосность обеспечивается применением в конструкции муфты

выступов или центрирующих разъемных колец. Применение болтов, поставленных под развёртку, гарантирует требуемую точность соединения. Допускаемое радиальное смещение до 0,04 мм.

Зубчатые муфты применяются для соединения валов при передаче больших крутящих моментов. Не допускается угловое смещение валов, допускается радиальное, в зависимости от скорости вращения и диаметра муфты, до 0,8 мм.

Упругие втулочно-пальцевые муфты применяются для передачи крутящих моментов со смягчением ударов с помощью упругих элементов (втулок). Допускают угловое смещение до 1° и радиальное – до 0,6 мм.

Пружинные муфты применяются для передачи крутящих моментов со смягчением ударов с помощью упругих элементов – ленточных или пластинчатых пружин. Допускают угловое смещение до $1,25^\circ$ и радиальное до 2–3 мм.

Подключение и пуск электродвигателя. Подключение питающего кабеля к выводному устройству машины является ответственной операцией, во многом определяющей надежность её эксплуатации. При выполнении подключения следует соблюдать ограничения по минимально допустимому радиусу изгиба кабеля, а также расстояния между наконечниками жил отдельных фаз. Кабели и провода, присоединяемые к электродвигателям, установленным на вибрирующих основаниях, на участке между подвижной и неподвижной частью основания должны иметь гибкие соединительные жилы. Учитывая вибрацию двигателя, следует обеспечить достаточное контактное усилие при завинчивании гаек, а также применять упругие гройверные шайбы и контргайки. При применении алюминиевых наконечников следует принимать дополнительные меры по стабилизации электрического сопротивления контактов (см. подразд. 1.4). Провода или кабели, подводимые к электродвигателю, на незащищённом участке должны иметь дополнительную изоляцию и защиту от механических повреждений (гибкие металлические рукава или резиновые трубы). Корпус электродвигателя должен быть надежно заземлен.

Пробный пуск электродвигателей производится в следующем порядке:

- кратковременный пуск. Определение направления вращения, отсутствия задевания ротора о статор и других дефектов;
- пуск машины на более длительное время, для определения отсутствия шума в подшипниках и нагрева подшипников, а также проверки системы охлаждения;

– проверка коммутации машин постоянного тока, при необходимости – шлифовка коллектора.

Класс коммутации электрических машин постоянного тока оценивается по степени искрения на сбегających краях щётки по следующей шкале:

1 Отсутствие искрения (темная коммутация).

1 1/4 Слабое точечное искрение под небольшой частью щётки.

Оба эти режима характеризуются отсутствием нагрева щёток и почернения коллекторных пластин.

1 1/2 Слабое искрение под большей частью щёток. На поверхности коллектора появляются следы почернения, легко устранимые протиранием тряпкой, смоченной бензином. На щётках появляются следы нагара.

2 Искрение под всем краем щётки. Такая коммутация допускается только при кратковременных толчках нагрузки и при кратковременных перегрузках. Характеризуется появлением на коллекторе следов почернения, не устранимых протиранием бензином, а также появлением нагара на щётках.

3 Значительное искрение под всем краем щётки с наличием крупных вылетающих искр. Такой режим работы допускается только для моментов прямого включения и реверсирования машин без пускового реостата. Характеризуется значительным почернением коллектора, не устранимым протиранием бензином, а также подгаром и разрушением щёток. Режим коммутации 3-го класса допускается только в том случае, если при этом коллектор и щётки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы;

– проверка работы машины под нагрузкой;

– проверка величины вибрации машины.

Вибрация оборудования, фундаментов и частей здания, создаваемая работающим двигателем, не должна превышать допустимых значений. Шум, создаваемый электродвигателем совместно с приводимым им механизмом, также не должен превышать уровня, допускаемого санитарными нормами.

4.4 Монтаж осветительных установок

Различают общее, местное, комбинированное и аварийное освещение. Общее равномерное освещение создает по всей площади или территории освещённость, соответствующую характеру выполняемых работ. Непосредственно на рабочих местах применяют местное освещение рабочих инструментов и обрабатываемых деталей. Чаще применяют систему комбинированного (общего и местного) освещения. Аварийное освещение должно создавать в основных проходах

такие условия видимости, при которых люди свободно ориентируются в окружающей обстановке.

Для питания светильников общего освещения должно применяться напряжение не выше 380 В переменного тока в сети с заземлённой нейтралью (в том числе фазное напряжение системы 660/380 В), не выше 220 В переменного тока в сети с изолированной нейтралью, а также не выше 220 В постоянного тока при соблюдении следующих условий:

- ввод в светильник и пускорегулирующий аппарат следует выполнять проводами или кабелем с медными жилами и с изоляцией, рассчитанной на напряжение не менее 660 В;

- должно обеспечиваться одновременное отключение всех фазных проводов, вводимых в светильник.

- в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных на светильники должны быть нанесены хорошо различимые отличительные знаки с указанием применяемого напряжения (380 В);

- ввод в светильник двух или трёх проводов разных фаз системы 660/380 В запрещается.

Для питания светильников местного стационарного освещения с лампами накаливания должно применяться напряжение: в помещениях без повышенной опасности – не выше 220 В, в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – не выше 42 В. При наличии особо неблагоприятных условий, а именно когда опасность поражения электрическим током усугубляется теснотой, неудобным положением работающего, соприкосновением его с большими металлическими хорошо заземлёнными поверхностями (например, при работе в котлах), для питания ручных светильников должно применяться напряжение не выше 12 В.

Источники света. Для электрического освещения применяют газоразрядные лампы (люминесцентные, ртутные высокого давления с исправленной цветностью типов ДРЛ, ДРИ, натриевые, ксеноновые) и лампы накаливания.

Лампы накаливания изготавливают на все стандартные напряжения. Срок службы ламп накаливания общего назначения составляет 1000 часов. Световой поток лампы измеряется в люменах на 1 Вт потребляемой лампой мощности, и находится в пределах от 7 лм/Вт для ламп малой мощности, до 20 лм/Вт – для ламп большой мощности.

Колбы ламп накаливания наполняют нейтральным газом (азотом, аргоном, криптоном). Это увеличивает срок службы вольфрамовой нити накала и повышает экономичность ламп. В настоящее время лампы накаливания мощностью 100 Вт и более сняты с производства.

Люминесцентные лампы представляют собой заполненную газом аргоном стеклянную трубку прямой, кольцевой, U- и W-образной или фигурной форм. Внутренняя поверхность трубки покрыта люминофором, в ней имеется также капля ртути. При включении в сеть с помощью пускорегулирующего устройства в лампе происходит электрический разряд и возникает свет, близкий к дневному.

Люминесцентные лампы общего применения изготавливают мощностью 8, 10, 15, 20, 30, 40, 65, 80 и 150 Вт. Выпускается серия энергоэкономичных ламп мощностью 18, 36 и 58 Вт, которые имеют повышенный КПД разряда.

По спектру излучаемого света ЛЛ разделяют на типы: ЛБ – белая, ЛХБ – холодно-белая, ЛТБ – тепло-белая, ЛД – дневная и ЛДЦ – дневная правильной цветопередачи. Люминесцентные лампы имеют высокую световую отдачу, достигающую у ламп типа ЛБ 75 лм/Вт при температуре окружающего воздуха 18–25 °С.

Выпускаются компактные люминесцентные лампы, предназначенные для прямой замены ламп накаливания типа КЛС/ТБЦ мощностью 9, 13, 18, 25 Вт с резьбовым цоколем (стандартным) E27. Применение этих ламп вместо ламп накаливания обеспечивает до 75 % экономии потребляемой электроэнергии.

Срок службы ЛЛ мощностью до 80 Вт составляет 10000 часов, 150 Вт – 5000 часов, световая отдача 75 лм/Вт к концу срока службы снижается до 60 % от первоначальной.

Дуговые ртутные лампы высокого давления ДРЛ состоят из стеклянной колбы, покрытой люминофором, внутри которой помещена кварцевая газоразрядная трубка, наполненная ртутными парами. Лампы ДРЛ с резьбовым цоколем изготавливают на напряжение 220 В мощностью 50, 80, 125, 250, 400, 700, 1000 и 2000 Вт. Светоотдача ламп ДРЛ составляет 40–60 лм/Вт, срок службы – 7000 ч для ламп до 1000 Вт и 4000 ч для ламп 2000 Вт. Световой поток к концу срока службы снижается на 30 %, в сеть лампа включается с помощью пускорегулирующей аппаратуры.

Недостатком ламп ДРЛ является то, что в спектре излучаемого лампой света преобладают сине-зелёные лучи, вследствие чего цвета

теплой части спектра при использовании этих ламп сильно искажаются. Кроме того, пульсация светового потока вызывает искажение восприятия движущихся предметов (стробоскопический эффект). При включении лампы разгораются в течение 7 мин, а после выключения лампа повторно зажигается лишь после остывания – примерно через 10 минут.

Газоразрядные лампы металлогалогидные типа ДРИ выпускаются мощностью 50, 125, 250 до 3500 Вт со световой отдачей 75–100 лм/Вт с продолжительностью горения 2000–5000 ч. Эти лампы обеспечивают лучшую цветопередачу, чем лампы ДРЛ.

Натриевые лампы высокого давления ДНаТ выпускаются мощностью 400 и 700 Вт, излучают золотисто-белый свет, имеют световую отдачу 90–120 лм/Вт и продолжительность горения более 2500 часов. Промышленность освоила производство натриевых ламп высокого давления НЛВД малой мощности (70 и 100 Вт).

В осветительных установках большой мощности применяют **дуговые ксеноновые лампы ДКсТ** мощностью 1; 5; 10; 20 и 50 кВт. Эти лампы имеют трубчатую форму длиной до 2,6 м и включаются в сеть с помощью зажигающего устройства.

Для ламп накаливания и ДРЛ применяют патроны с резьбой 27 и 40 мм. Для ламп накаливания малой мощности применяют патрон «миньон» с резьбой 14 мм. В установках, подвергающихся сильным сотрясениям (автомобильных, железнодорожных), применяют патроны диаметром 15 и 22 мм с пружинящими контактами.

Светильники. Для перераспределения излучаемого лампами светового потока в необходимых направлениях, защиты от слепящего действия открытых ламп, а также для защиты ламп от воздействия среды их помещают в осветительную арматуру. Арматуру с установленной в ней лампой называют светильником.

По распределению светового потока в нижнюю и верхнюю полусферы пространства выделяют светильники: прямого света, в которых в нижнюю сферу направляется не менее 80 % всего светового потока светильника; преимущественно прямого света – от 60 до 80 %; рассеянного света – от 40 до 60 %; преимущественно отраженного света – от 40 до 20 %; отражённого света – менее 20 %.

По степени защиты от пыли, воды и взрыва светильники подразделяются на следующие виды: открытый, пылезащищённый, пыленепроницаемый, водонезащищённый, каплезащищённый, дождеза-

щищённый, брызгозащищённый, струезащищённый, водонепроницаемый, герметичный, рудничный, повышенной надёжности против взрыва, взрывобезопасный, взрывонепроницаемый.

В помещениях с повышенной опасностью и особо опасных при высоте установки светильников общего освещения с лампами накаливания менее 2,5 м используют светильники, конструкция которых исключает возможность доступа к лампе без применения инструмента. Ввод проводов в светильник выполняют в металлических трубах, металлорукавах или применяют защищённые провода либо используют напряжение питания не выше 42 В.

Металлические корпуса светильников должны быть заземлены в сетях с изолированной нейтралью или занулены в сетях с глухозаземлённой нейтралью. Металлические отражатели светильников, укрепленные на корпусах из изолирующих материалов, заземлять или занулять не требуется.

Монтаж и подключение осветительных устройств. Монтаж светильников заключается в зарядке их проводами, креплении к несущим конструкциям и подключении к питающей сети.

Для зарядки осветительной арматуры общего освещения должны применяться провода с медными жилами сечением не менее 0,5 мм² внутри зданий и 1 мм² вне зданий. Для зарядки стационарной осветительной арматуры местного освещения должны применяться гибкие провода с медными жилами сечением не менее 1 мм² для подвижных конструкций и 0,5 мм² для неподвижных.

Осветительную арматуру допускается подвешивать непосредственно на питающих ее проводах только при условии, что они предназначены для этой цели и изготавливаются по специальным техническим условиям. В остальных случаях требуется крепление. Крепление светильника к опорной поверхности (конструкции) должно быть разборным. Светильники, применяемые в установках, подверженных вибрации и сотрясениям, должны быть установлены с применением амортизирующих устройств. Крюки и шпильки для подвеса светильников в жилых зданиях должны иметь устройства, изолирующие их от светильника. Крюк для подвески светильника массой до 100 кг испытывают в течение 10 мин пятикратной массой, а светильника (люстры) массой более 100 кг – двукратной массой плюс 80 кг. При креплении светильника к потолку на дюбелях, заби-

ваемых с помощью монтажного пистолета, каждую точку подвеса испытывают тройной массой светильника плюс 80 кг.

Для присоединения к сети настольных, ручных или переносных светильников, а также светильников местного освещения, подвешиваемых на шнурах и проводах, должны применяться гибкие шнуры (провода) с медными жилами сечением не менее $0,35 \text{ мм}^2$ в бытовых электроустановках и не менее $0,75 \text{ мм}^2$ в промышленных электроустановках. Присоединение светильников к групповой сети должно быть выполнено с помощью колодок зажимов, обеспечивающих присоединение как медных, так и алюминиевых проводов сечением до 4 мм^2 . Концы проводов, присоединенных к светильникам, счетчикам, автоматическим выключателям, щиткам и электроустановочным аппаратам, должны иметь запас по длине, достаточный для повторного подсоединения в случае их обрыва. При подсоединении автоматических выключателей и предохранителей ввёртного типа нулевой провод должен быть присоединен к винтовой гильзе основания.

Вводы проводов и кабелей в светильники и электроустановочные аппараты при наружной их установке должны быть уплотнены для защиты от проникновения пыли и влаги.

Для включения и отключения ламп в осветительных сетях применяют установочные выключатели, переключатели, пакетные выключатели и автоматические выключатели на 2,5; 4; 6 и 10 А. Выключатели и штепсельные розетки изготавливают в исполнении для открытой и скрытой проводок, устанавливают их соответственно открыто на стене или утоплено в стене, в коробке. При монтаже осветительного оборудования выполняют следующие основные требования: выключатели на стенах устанавливают на высоте 1,5 м от пола; штепсельные розетки устанавливают на высоте 80 или 30 см от пола; в школах, детских садах, яслях, в помещениях для пребывания детей штепсельные розетки устанавливают на высоте 1,5 м.

Выключатели общего освещения размещают так, чтобы они не загорались открывающейся дверью. Выключатели для санузлов и штепсельные розетки устанавливают вне этих помещений.

Переносные осветительные, нагревательные и другие электроприборы присоединяют к электросети через штепсельные соединения, состоящие из неподвижно установленной штепсельной розетки и вилки на 6, 10 и более ампер с цилиндрическими и плоскими контактами. Для заземления корпусов переносных электроприёмников

устанавливают специальные штепсельные розетки и вилки, снабжённые дополнительным заземляющим защитным контактом. В целях безопасности соединение между защитными контактами розетки и вилки происходит до того, как войдут в соприкосновение токоведущие контакты. При отключении вначале разъединяются токоведущие контакты, а затем защитные.

В осветительных трёхфазных сетях с заземлённой нейтралью 380/220 В применяют однофазные и трёхфазные групповые линии. Защитные и отключающие аппараты устанавливают только в цепях фазных проводов. Исключение составляют двухпроводные цепи с нулевым рабочим проводом, прокладываемые во взрывоопасных зонах, в которых защищают от токов КЗ как фазный, так и нулевой рабочий провод. При этом для заземления прокладывают третий провод. На таких линиях плавкие предохранители устанавливают как на фазном, так и на нулевом проводе, а для одновременного отключения фазного и нулевого провода применяют двухполюсные выключатели.

В помещениях большой протяжённости (галереях, складах), имеющих два выхода, часто применяют схему включения ламп из двух мест, позволяющую включить освещение при входе и отключить его при выходе из другого конца помещения.

4.5 Монтаж электронной аппаратуры

Методы монтажа электронной аппаратуры полезно рассмотреть в их историческом развитии. Первыми генераторными и усилительными элементами были электронные лампы. Их устанавливали в панели, закреплённые на металлических шасси. Электролитические конденсаторы сглаживающих фильтров питающего напряжения крепили непосредственно к шасси, вставляя в отверстия и прикручивая гайками. К этим же шасси прикрепляли изоляционные колодки с лепестками. Резисторы и конденсаторы висели, припаянные выводами к этим лепесткам, а также к лепесткам ламповых панелей и электролитических конденсаторов.

Такой способ получил название навесного монтажа. В массовой электронике навесной монтаж применялся до 50–60-х годов прошлого века, впоследствии уступив место печатным платам; за навесным

монтажом осталась ниша – подключение трансформаторов и аналогичных крупногабаритных изделий.

Навесной монтаж остаётся наиболее уместным способом монтажа ламповой техники как из-за конструкции ламповых панелей и крупногабаритных трансформаторов, так и из-за лучшего температурного режима отдельных компонентов, эффективной механической развязки ламп, возможности оптимального подбора сечения соединительных проводников и сокращения общего числа паяных соединений в цепи сигнала.

Для лучшей механической развязки ламп соединительные провода (а также выводы резисторов и конденсаторов, распаиваемые непосредственно к ламповым панелям) формуются с *S*-образными изгибами, избегая прямых, жёстких перемычек. В любительских конструкциях монтаж ведётся на изолированных (диэлектрических) шасси. К шасси крепятся металлические стойки, к стойкам — компоненты схемы, соединяемые непосредственно или перемычками из провода. Мелкие элементы (например резисторы) могут припаиваться прямо к большим. Микросхемы при навесном монтаже приклеивают к плате вверх выводами. Такой стиль монтажа на жаргоне радиолюбителей называется «мёртвый жук». В любительской полупроводниковой практике его применяют и сейчас для создания простых конструкций, когда травить плату невыгодно. Если в схеме есть крупные детали (потенциометры, тумблеры, большие конденсаторы и т. д.), часть элементов может закрепляться навесом на них, экономя пространство на печатной плате.

Электрические соединения при навесном монтаже выполняют отрезками медных монтажных проводов. При большом количестве соединений монтажные провода связывают в жгуты. При массовом изготовлении электронной аппаратуры для изготовления жгутов применяют специальные шаблоны. Шаблоны делают плоскими и объёмными. Раскладку проводов на шаблоне выполняют по таблицам соединений. После проверки правильности раскладки жгута ему придают круглую форму и связывают толстой ниткой, применяя специальные стягивающие узлы. Готовый жгут переносят на изделия, закрепляют и выполняют электрические соединения. Для электронной аппаратуры, работающей в условиях механических перегрузок и вибраций, жгуты изготавливают из гибких многопроволочных проводов.

С появлением транзисторов произошла миниатюризация электронных устройств, и стал широко применяться способ печатного монтажа. **Печатный монтаж** – способ монтажа электронной аппаратуры, при котором соединения электро- и радиоэлементов, в том числе экранирующих, выполняют посредством тонких электропроводящих полосок с контактными площадками, расположенных на печатной плате. Под печатанием схем подразумевают такую технологию производства, при которой монтажные провода в виде полосок фольги наносятся на изоляционное основание (плату). Способы получения печатных проводников:

- травление фольгированного изоляционного материала;
- электрохимическое осаждение;
- вакуумное или катодное распыление;
- вжигание проводящих паст;
- электролитическое осаждение с переносом проводящего рисунка на изоляционную плату.

В качестве основания используют гетинакс, стеклотекстолит и другие изоляционные материалы, а в качестве проводников – медь, алюминий, никель и золото. Выводы деталей вставляют в металлизированные отверстия платы и запаивают. Одновременно это обеспечивает механическое крепление деталей.

Печатный монтаж имеет следующие преимущества: высокая плотность расположения проводников, малые габариты и масса, низкая стоимость в массовом производстве, хорошая повторяемость параметров, большая механическая прочность и стойкость к климатическим и тепловым воздействиям. Печатный монтаж позволяет уменьшить габариты и массу аппаратуры, широко использовать механизированное и автоматизированное оборудование и высокопроизводительные технологические процессы при её массовом выпуске. При этом значительно повышается надёжность изделий, и заметно сокращаются расход материалов и трудовые затраты.

К недостаткам печатного монтажа относятся: большая длительность цикла подготовки производства, принципиальная невозможность полного экранирования, ограничение максимальных габаритов печатных плат из-за уменьшения их жёсткости, сложность контактирования печатных плат на гибком основании, плохая ремонтпригодность (ограниченное число перепаек).

Печатные платы. В основе печатного монтажа лежит печатная плата, представляющая собой диэлектрическую пластину, на которую с одной или двух сторон нанесены печатные проводники в виде тонких электропроводящих полосок. При печатном монтаже обычно толщина проводников 20–50 мкм, их ширина 0,5–0,8 мм и минимальное расстояние между ними 0,3–0,5 мм. Вследствие благоприятных условий теплоотвода в печатных проводниках допускается высокая (до 30–50 А/мм²) плотность электрического тока. Контактные переходы с одной стороны платы на другую осуществляют путём металлизации стенок отверстий или установкой металлических трубок с последующей их развальцовкой и опайкой. При микроминиатюризации аппаратуры на основе многовыводных интегральных схем применяют многослойные печатные платы (склеенные между собой) и тем самым достигают существенного повышения плотности монтажа.

В практике конструирования электронной аппаратуры на печатной плате особо важное место занимает компоновка. При рациональной компоновке деталей следует добиваться минимальной длины соединительных проводников. Следует также учитывать, что любой элемент схемы (резистор, транзистор, конденсатор, катушка индуктивности и т. д.) требует для нормальной работы площади и объёма пространства гораздо больше своих геометрических размеров, поскольку электрическое, магнитное и тепловое поля работающего элемента выходят за пределы его конструкции. Непродуманная компоновка деталей на плате является главной причиной неудовлетворительной работы прибора, собранного по многократно проверенной схеме.

Технологический процесс сборки печатной платы состоит из следующих типовых этапов:

- подготовка выводов электронных компонентов (формовка, обрезка);
- установка компонентов (ручная, автоматическая);
- пайка (волной припоя, ручная, селективная);
- отмывка (ультразвуковая, струйная).

На некоторых предприятиях сохранилась технология, при которой из-за проблем с покрытиями выводов и хранением компонентов подготовка выводов включала в себя предварительное лужение, однако современная тех-

нология этого не предусматривает благодаря качественной упаковке и покрытию выводов современных компонентов.

Подготовка выводов электронных компонентов производится с целью:

- выравнивания (рихтовки) выводов (если требуется);
- обеспечение необходимого монтажного расстояния между выводами;
- получения определённого зазора между платой и компонентом (если требуется);
- фиксации компонентов на плате при ручном монтаже, либо до поступления платы в установку пайки.

Зазор обычно обеспечивается приданием выводам компонентов соответствующего изгиба – т. н. «опорного зига» (рисунок 4.1, *а*); самофиксация элемента на плате перед групповой пайкой – особым изгибом части вывода, входящей в отверстие платы – замка (рисунок 4.1, *б*). Одновременное выполнение зига и замка носит название «зиг-замок».

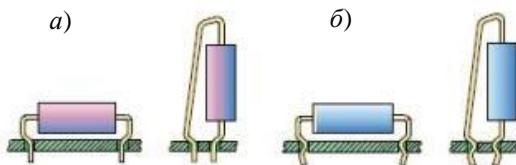


Рисунок 4.1 – Обеспечение с помощью формовки выводов: *а* – зазора между платой и компонентом; *б* – самофиксации компонента

Тяжелые элементы (например трансформаторы) или элементы, подверженные механическим воздействиям (тумблеры, потенциометры, подстроечные конденсаторы), устанавливаются с помощью особых держателей. Такие держатели обеспечивают надежное механическое крепление соответствующих элементов к печатной плате и предотвращают обрыв и поломку выводов под воздействием механических нагрузок.

Формовку круглых или ленточных выводов элементов производят с помощью ручного монтажного инструмента либо специальных полуавтоматических устройств таким образом, чтобы исключались механические нагрузки на места крепления выводов к корпусу. При формовке выводов не допускается их механическое повреждение, нарушение защитного покры-

тия, изгиб в местах соединения вывода и корпуса, скручивание относительно оси корпусов, растрескивание стеклянных изоляторов и пластмассовых корпусов. Устройства формовки выпускаются с механическим и электрическим приводом подачи компонентов, а также механическим либо пневматическим – самого устройства формовки. Загрузка компонентов производится из лент, трубчатых кассет, россыпи. Геометрические параметры формовки регулируются; установки оснащаются сменными формовочными матрицами. Специальная конструкция матриц формовочных устройств обеспечивает отсутствие избыточных напряжений и зазубрин на материале в месте изгиба вывода.

Примеры отформованных выводов различных компонентов приведены на рисунке 4.2.

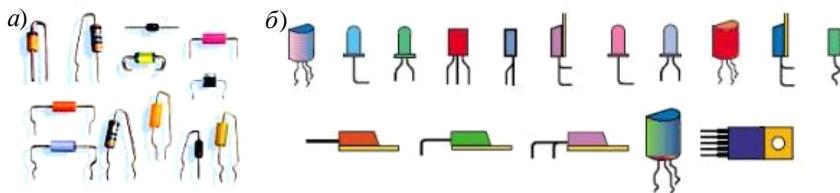


Рисунок 4.2 – Примеры формовки выводов электронных компонентов с осевыми (а) и радиальными (б) выводами

Установка компонентов на печатную плату осуществляется с применением специальных монтажных автоматов, автоматизированных рабочих мест (АРМ) либо полностью вручную.

Существуют **монтажные автоматы**, осуществляющие вставку штырьковых выводов электронных компонентов с программной ленты в отверстия печатной платы, их подрезку и подгибку с обратной стороны платы с помощью монтажных, гибочных и отрезных головок. Многие монтажные автоматы одновременно обладают функцией выбора компонентов, т. е. могут работать непосредственно из первичных лент либо загрузочных бункеров без необходимости подготовки программной ленты.

В их конструкции могут быть предусмотрены: следящие приводы перемещений по координатным осям; управление с помощью персонального компьютера; загрузка питателей без остановки работы; контроль правильности подачи компонентов; одновременная сборка более чем одной печатной платы; автоматическая загрузка/выгрузка плат; коррекция погрешно-

стей проводящего рисунка печатной платы; автоматическая смена захватных устройств.

Ручная и полуавтоматическая установка компонентов выполняется на АРМах либо монтажных столах. В этих устройствах автоматизирована подача сборочной информации – места установки компонента на плату и его требуемой ориентации, а также может быть обеспечена автоматическая подача нужного лотка с компонентами устанавливаемого типономинала, механизирован процесс фиксации платы на монтажном столе. АРМы могут быть дополнительно оснащены устройствами формовки выводов компонентов. Такое оборудование дешево, но малопроизводительно.

Пайка печатной платы может выполняться автоматически волной припоя и вручную. Пайка **волной припоя** – наиболее распространенный метод пайки, впервые появившийся в 50-е годы XX века. В процессе пайки платы устанавливаются на конвейер и последовательно проходят несколько рабочих зон паяльной установки: зону флюсования, предварительного нагрева, пайки.

Флюс удаляет оксидные пленки с паяемых поверхностей, улучшает смачивающую способность припоя и предотвращает окисление до начала пайки. Флюсование осуществляется одним из двух основных способов: распылением и с помощью пенообразователя. Метод распыления обладает рядом преимуществ по сравнению с пенообразованием, в частности, он более экономичен, а также позволяет точнее контролировать толщину флюса. Зона флюсования оканчивается устройством «воздушного ножа», служащего для удаления избытка флюса с поверхности платы.

Предварительный нагрев служит для предотвращения теплового удара платы и компонентов в результате контакта с волной горячего припоя, сушки (удаления растворителя) и активации флюса.

Нагрев осуществляется инфракрасными модулями с различной длиной волны, кварцевыми нагревателями и конвекционными системами.

Далее конвейер с платами проходит непосредственно зону пайки, где в ванне с помощью помпы формируется волна расплавленного припоя. Форма волны припоя может быть различной, в зависимости от применяемой модели оборудования.

Изначально использовалась симметричная волна, но впоследствии произошел переход к несимметричным (T -, Z -образная, W -волна и пр.), обеспечивающим лучшие результаты с точки зрения качества паяных соединений.

Подобно зоне предварительного нагрева, зона пайки также оканчивается «воздушным ножом», удаляющим излишки припоя и разрушающим перемычки.

Ряд моделей оборудования обеспечивает возможность пайки волной в среде инертного газа (азота).

Применяется подача азота непосредственно к месту пайки либо создание азотного «туннеля» над всеми зонами. Цель применения азота – уменьшить окисление припоя и флюса, получить более блестящие и яркие паяные соединения, снизить уровень образования шлама и, как следствие, исключить засорение форсунок.

Ручная пайка предварительно установленных компонентов на печатную плату проводится с применением аналоговых и цифровых паяльных станций. Подготовленные поверхности покрывают флюсом непосредственно перед пайкой.

Механизм действия флюса заключается в том, что оксидные пленки металла и припоя под действием флюса растворяются, разрыхляются и всплывают на его поверхности. Вокруг очищенного металла образуется защитный слой флюса, препятствующий возникновению оксидных пленок.

Жидкий припой замещает флюс и взаимодействует с основным металлом. Слой припоя постепенно увеличивается и при прекращении нагрева затвердевает. При проведении процесса пайки крайне важно выдерживать необходимую температуру. Подбор температуры осуществляется в зависимости от применяемого припоя, типа и размера корпуса компонента, материала и топологии платы.

Пониженная температура приводит к недостаточной жидкотекучести припоя и плохому смачиванию соединяемых поверхностей. Значительное увеличение температуры вызывает обугливание флюса до активации им поверхностей спая.

Важными характеристиками паяльной станции являются:

- быстрый нагрев жала до рабочей температуры;
- точный контроль температуры жала с максимальной частотой;
- автоматическая калибровка станции при смене жала либо паяльника;
- быстрая смена жал.

Таковыми возможностями обладают преимущественно цифровые паяльные станции, которые обеспечивают более точное задание, поддержание и управление температурой паяльника по сравнению с

аналоговыми, а также позволяют подключать к станции несколько инструментов.

Для пайки обычно используются жидкий флюс и проволочный припой. Флюс наносится кистью в места пайки. Для пайки в труднодоступных местах, а также для ремонта применяют трубчатые припои с несколькими каналами флюса внутри. Преимущественно применяются припои со слабоактивированными низкоканифольными флюсами, не требующими отмычки, либо со среднеактивированными канифольными, для которых отмычка возможна, но не является обязательной при нормальных условиях эксплуатации изделия. Для пайки сильно окисленных поверхностей, а также поверхностей с плохой паяемостью применяются активированные канифольные флюсы, требующие последующей отмычки в деионизованной воде или органическими растворителями на спиртовой основе. Припои используются как оловянно-свинцовые (Sn-Pb, Sn-Pb-Ag), так и бессвинцовые (Sn-Cu, Sn-Ag-Cu); поставка осуществляется в катушках.

Последовательность пайки установленных в отверстия компонентов:

- очистка жала паяльника (если необходимо), его облуживание;
- установка температуры жала паяльника на станции;
- выдержка, в процессе которой происходит нагрев жала паяльника до требуемой температуры;
- приведение жала в контакт (одновременный) с контактной площадкой и выводом компонента для обеспечения их прогрева, небольшая выдержка (0,5–1 с);
- подача прутка припоя к паяному соединению с образованием связи между выводом и КП (не следует подавать припой непосредственно на жало паяльника во избежание преждевременного выгорания флюса);
- охват припоем вывода по кругу на 360° ;
- одновременный отвод прутка припоя и жала паяльника (по направлению вверх вдоль вывода ЭК для образования галтели правильной формы).

Процесс пайки одного соединения должен быть по возможности кратковременным. Во избежание перегрева компонента и отслаивания контактной площадки его общее время составляет от 0,5 до 2 секунд. При пайке необходимо следить за тем, чтобы паяльник даже на короткое время не прикасался к корпусу компонента, и чтобы на него не попадали капли припоя и флюса. После работы жало паяльника необходимо облудить для увеличения срока его службы.

Существуют паяльники с одновременной подачей прутка припоя (пайка одной рукой, вторая может использоваться для удержания компонента и/или платы), а также станции автоматической непрерывной либо дискретной подачи припоя в точку пайки.

Конец вывода должен быть различим в образованном паяном соединении (не должно присутствовать избыточного количества припоя). Поверхность галтелей припоя – вогнутая, непрерывная, гладкая, глянцевая, без темных пятен и посторонних включений. Припой не должен касаться корпуса компонента. Не допускается растекание припоя за пределы контактной площадки по проводнику.

Изготовление печатной платы вручную. Когда схема соединений вычерчена, координаты центров контактных площадок, отверстий для крепления, а также контуры платы переносят на плату из фольгированного материала. Поверхность фольги перед этим тщательно зачищают микронной шкуркой, чтобы удалить пленку оксида, а затем обезжиривают ацетоном. В дальнейшем следует избегать касания фольги руками.

После этого рисунок печатной платы наносят на фольгу кислотоупорной краской (нитроэмаль НЦ-25, асфальтово-битумный лак, цапонлак). Контуры контактных площадок удобно наносить стеклянным рейсфедером с надетой на него ПВХ трубкой или другим способом.

Рисунок печатных проводников можно выполнять самодельным рейсфедером, изготовленным из использованного пластмассового стержня шариковой авторучки. Конец стержня длиной 130 мм осторожно нагревают над пламенем спиртовки. Как только трубка размягчится, оттягивают ее конец и обрезают лезвием. Пластмассовый стержень пишет мягче металлического или стеклянного. В процессе работы рейсфедер необходимо периодически промывать в ацетоне.

Заготовки печатных плат обычно травят в растворе хлорного железа с удельным весом 1,36, налитом в фотокювету подходящих размеров. Процесс травления длится 0,5–1,5 ч. Его можно ускорить покачиванием кюветы. После окончания процесса травления заготовку ополаскивают, тщательно промывают теплой проточной водой. Лак снимают наждачной бумагой № 60, 80 или тампоном, смоченным в ацетоне. Далее в плате сверлят отверстия под выводы деталей и для элементов крепления крупных деталей, а также обрабатывают плату по контуру. После сверления со стороны, противо-

положной печатным проводникам, со всех отверстий аккуратно удаляют заусеницы, пользуясь сверлом, заточенным под углом 90°, и диаметром примерно вдвое большим, чем сверло, которым сверлили отверстие.

Готовую печатную плату следует для консервации покрыть тонким слоем канифольного лака или сразу же залудить хотя бы контактные площадки. Лудить проводники платы удобно следующим образом. Тщательно зачищенные проводники покрывают тонким слоем спиртоканифольного флюса. На конец тонкого деревянного стержня надевают отрезок оплетки экранированного кабеля длиной около 20 мм и закрепляют его проволочным биндажом. Свободный конец оплетки, пропитанный припоем, прижимают жалом паяльника к проводнику платы и двигают вдоль него. Слой получается тонким и ровным. Если излишки припоя замкнули соседние проводники, еще раз проводят нагретой оплеткой, чтобы она впитала лишний припой.

Монтаж микросхем. Интегральные схемы располагают на печатных платах, как правило, рядами, хотя допускается их расположение в шахматном порядке. При размещении микросхем на плате учитывают легкость доступа к любой из них и возможность замены.

Микросхемы со штыревыми выводами при расстоянии между выводами, кратном 2,5 мм, располагают на печатной плате таким образом, чтобы их выводы совпадали с узлами координатной сетки. Если расстояние между выводами не кратно 2,5 мм, то их помещают так, чтобы один или несколько выводов совпадали с узлами координатной сетки и первый вывод совпадал с ключом. При этом микросхемы устанавливают только с одной стороны печатной платы, причем между микросхемами и платой обычно оставляют зазор. Микросхемы с планарными выводами припаивают к металлизированным контактным площадкам или впаивают выводы в металлизированных отверстиях печатной платы. При монтаже и демонтаже микросхем в металлическом корпусе удобно пользоваться небольшим магнитом с прикрепленной к нему ручкой из жести или захватом. Перед монтажом микросхем, припаиваемых в накладку, их выводы обычно формируют, т. е. изгибают так, чтобы обеспечить одновременное прилегание к плате всех выводов. Сформировать выводы можно пинцетом, плоскогубцами, но быстрее и лучше – специальным приспособлением из пуансона и матрицы.

При пайке микросхем желательно применять теплоотвод в виде медного стержня с плоским концом и углублением. Аналогичную конструкцию можно выполнить широкозахватной, рассчитанной на одновременное касание всех выводов микросхемы.

В настоящее время технология печатного монтажа уступает свои позиции более прогрессивной технологии поверхностного монтажа, в особенности, в массовом и крупносерийном производстве, бытовой электронике, вычислительной технике, телекоммуникациях, портативных устройствах и других областях, где требуется высокая технологичность, миниатюризация изделий и хорошие слабосигнальные характеристики.

5 МОНТАЖ И ПОДКЛЮЧЕНИЕ УСТРОЙСТВ ЗАЩИТЫ

5.1 Защитное заземление и зануление

При эксплуатации электроустановки возможно нарушение изоляции токоведущих частей, в результате которого корпус, а также другие металлические части оказываются под напряжением. Для защиты человека от поражения электрическим током эти предметы заземляют или зануляют.

Заземление – преднамеренное соединение предмета с землей с помощью заземляющего проводника и заземлителя, естественного или искусственного. Защитный эффект заземления состоит в шунтировании тела человека малым сопротивлением.

Зануление – соединение предмета с предварительно заземлённым нулевым проводом токоподводящей сети. Защитный эффект зануления обусловлен быстрым отключением опасного напряжения. Для четкого срабатывания системы защитного отключения необходимо, чтобы сопротивление петли фаза – ноль не превышало допустимого значения. В противном случае корпус установки с пробитой изоляцией длительное время может находиться под опасным напряжением. Заземление или зануление выполняют:

- при напряжении 380 В и выше переменного, а также 440 В и выше постоянного тока – во всех случаях;
- при напряжении 42–380 В переменного тока и 110–440 В постоянного тока – в помещениях с повышенной и особой опасностью, а также в наружных установках;

– во взрывоопасных установках при любых напряжениях.

Сопротивление заземляющих устройств в электроустановках до 1 кВ с изолированной нейтралью должно быть не больше 4 Ом, а в электроустановках 220, 380 и 660 В с глухозаземлённой нейтралью – не больше соответственно 8, 4 и 2 Ом.

В электроустановках 3–35 кВ с изолированной нейтралью сопротивление заземляющих устройств должно быть не больше $250 / I_p$, но, в то же время, не больше 10 Ом (I_p – расчетный ток замыкания на землю). Если заземляющее устройство одновременно используется для установок до и выше 1 кВ, то сопротивление его не должно превышать $125 / I_p$, а также удовлетворять требованиям, предъявляемым к заземлению (занулению) электроустановок до 1 кВ (не больше 8, 4 или 2 Ом соответственно напряжению).

Заземлению или занулению подлежат:

– корпуса электрических машин, трансформаторов, аппаратов, светильников и т. п.;

– приводы электрических аппаратов;

– вторичные обмотки измерительных трансформаторов;

– каркасы, а также съёмные или открывающиеся части конструкций, на которых установлено электрооборудование напряжением переменного тока выше 42 В или постоянного тока выше 110 В;

– металлические конструкции распределительных устройств;

– металлические кабельные конструкции и кабельные соединительные муфты;

– металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводок;

– кожухи и опорные конструкции шинопроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода;

– электрооборудование, установленное на опорах воздушных линий электропередачи;

– металлические корпуса передвижных и переносных электроприёмников;

– электрооборудование, размещённое на движущихся частях станков, машин и механизмов.

Указанные выше металлические части заземляют или зануляют как на стационарных, так и на передвижных электроустановках и переносных электроприёмниках.

Заземлению или занулению не подлежат корпуса электроприёмников с двойной изоляцией, а также корпуса электроприёмников, подключаемых к сети через разделительный трансформатор.

Разрешается не выполнять преднамеренного заземления или зануления:

- корпусов электрооборудования, аппаратов, установленных на заземлённых (занулённых) металлических конструкциях при условии надежного электрического контакта с заземлёнными или занулёнными основаниями;

- арматуры изоляторов всех типов, оттяжек, кронштейнов и осветительной арматуры, установленных на деревянных опорах ВЛ и деревянных конструкциях открытых подстанций;

- металлических скоб, креплений, обойм, а также отрезков металлических труб, используемых для прохода проводов и кабелей через стены.

Естественные заземлители. В первую очередь, для заземления электроустановок используются естественные заземлители. Если эти заземлители имеют сопротивление, удовлетворяющее требованию ПУЭ, то искусственные заземлители не применяют.

В качестве естественных заземлителей используют:

- железобетонные фундаменты зданий и сооружений;

- проложенные под землёй водопроводные и другие металлические трубопроводы, за исключением: трубопроводов для горючих жидкостей и газов, чугунных трубопроводов, а также временных трубопроводов строительных площадок;

- обсадные трубы и другие металлические конструкции, имеющие соединение с землёй;

- свинцовые оболочки кабелей, проложенных в земле.

Алюминиевые оболочки кабелей и неизолированные алюминиевые провода использовать в качестве заземлителей запрещается.

К строительным конструкциям, используемым в качестве заземляющих устройств, предъявляются следующие основные требования:

- все элементы металлических и железобетонных конструкций должны образовывать единую электрическую цепь по металлу;

– в железобетонных элементах (колоннах) должны предусматриваться закладные детали для присоединения корпусов электрического и технологического оборудования на высоте 0,5 м от пола;

– молниеприёмная сетка, расположенная на кровле здания (при наличии молниезащиты), должна иметь металлическую связь с рабочей арматурой железобетонных колонн.

Искусственные заземлители должны применяться лишь в случае, если естественные заземлители не удовлетворяют требованиям ПУЭ по значениям сопротивления заземляющего устройства и по напряжению прикосновения. По форме и расположению в грунте искусственные заземлители подразделяют на группы:

Углублённые – изготавливают из круглой или полосовой стали, укладывают горизонтально на дно котлованов по периметру фундаментов зданий.

Вертикальные – стержни, изготовленные из круглой стали, либо отрезки угловой стали вертикально ввинчивают, вдавливают или забивают в грунт.

Горизонтальные – стержни круглого сечения или стальные полосы укладывают горизонтально в траншею.

В практике часто применяют комбинированные заземлители, состоящие из вертикальных стержней и соединяющих их горизонтальных полос.

Обычно для заземлителей применяют круглую сталь диаметром 10–16 мм, полосовую сталь сечением 40 x 4 мм и угловую сталь 50 x 50 x 5 мм. Применять трубы не рекомендуется из-за их дороговизны.

Длина вертикальных заземлителей принимается равной: ввинчиваемых 4,5–5 м, забиваемых 2,5–3 м. Вертикальные заземлители в плане располагают в соответствии с проектом. При уменьшении расстояния между ними суммарное сопротивление заземляющего устройства увеличивается из-за взаимного экранирования.

На территориях электроустановок с большим удельным сопротивлением земли (больше 200 Ом·м) применяют углублённые заземлители, а также искусственную обработку земли с укладкой слоев соли, не увеличивающей коррозию стали, – нитрата натрия либо гидрата оксида кальция. Если вблизи электроустановок есть участки земли с малым удельным сопротивлением, устраивают выносные

заземлители. На территориях распространения вечномёрзлых грунтов заземлители помещают в непромерзающие водоёмы или в талые зоны, в том числе искусственные, а также используют артезианские скважины.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников используют:

- специально предусмотренные для этой цели проводники;
- нулевые рабочие проводники;
- металлические конструкции зданий (фермы, колонны и т. п.);
- металлические конструкции производственного назначения;
- металлические стационарно проложенные трубопроводы различного назначения (кроме трубопроводов горючих и взрывоопасных веществ и смесей, а также канализации и центрального отопления);
- стальные трубы электропроводок;
- алюминиевые оболочки кабелей;
- металлические кожухи шинопроводов, короба и лотки электропроводок.

Не допускается использовать для этих целей металлические оболочки трубчатых проводов, металлорукава, несущие тросы (при тросовой электропроводке), а также броню и свинцовые оболочки кабелей и проводов.

Каждая заземляемая или зануляемая часть электроустановки присоединяется к сети заземления (зануления) при помощи отдельного ответвления. Площадь сечения заземляющего или зануляющего провода регламентируется в зависимости от их материала (сталь, медь, алюминий) и места прокладки (в земле, помещении, в составе питающего кабеля). При заземлении нескольких электроустановок используют магистральную стальную шину, один конец которой соединён с заземлителем. Магистраль прокладывается в непосредственной близости от заземляемого электрооборудования (обычно прибивается по низу стены дюбелями) и имеет короткие ответвления с отверстиями для болтов. Каждый заземляющий проводник должен подключаться к отдельному болту, недопустимо подключение нескольких проводников под один болт.

Последовательное включение заземляемых (зануляемых) частей электроустановки запрещается. При этом разрешается последова-

тельное включение нескольких стационарных металлических конструкций (рельсовых путей, обрамлений каналов, строительных ферм и колонн и т. п.), используемых в качестве заземляющих (нулевых защитных) проводников или магистралей заземления (зануления).

5.2 Системы заземления

В настоящее время в нашей стране активно ведется работа по повышению уровня электробезопасности. Важнейшим аспектом этой работы является усовершенствование и упорядочивание требований нормативных документов, особенно в области стандартизации устройства электроустановок в соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии – МЭК.

С этой целью внесены изменения в гл. 7.1 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) «Электрооборудование жилых и общественных зданий». В п. 7.1.33 введён дополнительный абзац:

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

В ПУЭ 7-го издания требования к выполнению групповых сетей сформулированы следующим образом:

п. 7.1.13. Питание электроприёмников должно выполняться от сети 380/220 В с системой заземления *TN-S* или *TN-C-S*.

п. 7.1.36. Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприёмников, должны выполняться трёхпроводными (фазный – *L*, нулевой рабочий – *N* и нулевой защитный – *PE*-проводники).

Сечения проводников должны отвечать требованиям п. 7.1.45.

п. 7.1.45. Выбор сечения проводников следует проводить согласно требованиям соответствующих глав ПУЭ.

Однофазные двух- и трёхпроводные линии, а также трёхфазные четырёх- и пятипроводные линии при питании **однофазных** нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих N -проводников, равное сечению фазных проводников.

Трёхфазные четырёх- и пятипроводные линии при питании **трёхфазных симметричных нагрузок** должны иметь сечение нулевых рабочих N -проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников, но не менее 16 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию.

Сечение PEN -проводников должно быть не меньше чем сечение N -проводников и не менее 10 мм^2 по меди и 16 мм^2 по алюминию независимо от сечения фазных проводников.

Сечение PE -проводников должно равняться сечению фазных при сечении последних до 16 мм^2 , 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 и 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях.

Сечение PE -проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее $2,5 \text{ мм}^2$ – при наличии механической защиты и 4 мм^2 – при её отсутствии.

Классификация систем заземления для электроустановок напряжением до 1 кВ :

– TN – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки присоединены к глухозаземлённой нейтрали источника посредством нулевых защитных проводников;

– $TN-C$ – система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники совмещены в одном проводнике на всем её протяжении (рисунок 5.1, *a*);

– $TN-S$ – система TN , в которой нулевой защитный и нулевой рабочий проводники разделены на всем её протяжении (рисунок 5.1, *б*);

– $TN-C-S$ – система TN , в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то её части, начиная от источника питания;

– IT – система, в которой нейтраль источника питания изолирована от земли или заземлена через приборы или устройства, имеющие большое сопротивление, а открытые проводящие части заземлены;

– TT – система, в которой нейтраль источника питания глухо заземлена, а открытые проводящие части электроустановки заземлены

при помощи заземляющего устройства, электрически независимого от глухозаземлённой нейтрали источника.

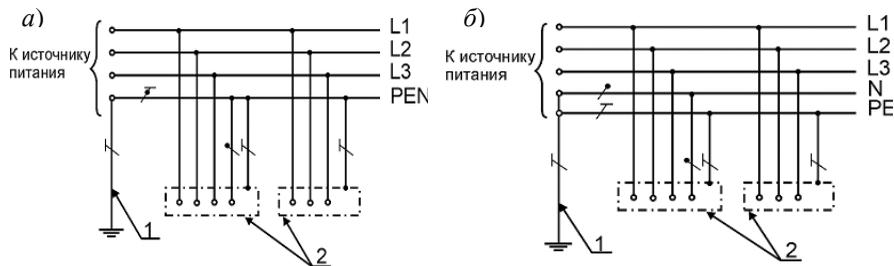


Рисунок 5.1 – Системы *TN-C* (а) и *TN-S* (б) переменного тока:
 1 – заземлитель нейтрали (средней точки) источника питания;
 2 – открытые проводящие части

Условные обозначения систем расшифровываются следующим образом.

Первая буква – состояние нейтрали источника относительно земли:

T – заземлённая нейтраль (*terra* – земля);

I – изолированная нейтраль.

Вторая буква – состояние открытых проводящих частей относительно земли:

T – открытые проводящие части заземлены независимо от отношения к земле нейтрали источника питания или какой-либо точки питающей сети;

N – открытые проводящие части присоединены к глухозаземлённой нейтрали источника питания.

Последующие (после буквы *N*) буквы – совмещение в одном проводнике или разделение функций нулевого рабочего и нулевого защитного проводников:

S – нулевой рабочий (*N*) и нулевой защитный (*PE*) проводники разделены (*select*);

C – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике (*common, PEN*-проводник).

Приняты следующие графические обозначения проводников:

N –  – нулевой рабочий (нейтральный) проводник;

$PE - \overline{T}$ – защитный проводник (заземляющий проводник, нулевой защитный проводник, защитный проводник системы уравнивания потенциалов);

$PEN - \overline{T}$ – совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводники.

При монтаже электроустановок правилами предписано применять для проводников следующие обозначения:

- первая фаза L_1 – цвет жёлтый;
- вторая фаза L_2 – цвет зелёный;
- третья фаза L_3 – цвет красный;
- нулевой рабочий проводник N – цвет голубой;
- нулевой защитный проводник PE – цвет жёлто-зелёный в полоску.

Наиболее перспективной для нашей страны является комбинированная система $TN-C-S$, позволяющая в комплексе с широким внедрением устройств защитного отключения УЗО обеспечить высокий уровень электробезопасности в электроустановках без их коренной реконструкции.

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

Нулевой защитный проводник PE соединён со всеми открытыми проводящими частями и может быть многократно заземлён, в то время как нулевой рабочий проводник N не должен иметь соединения с землей.

В плане обеспечения условий электробезопасности при эксплуатации электроустановки серьёзной альтернативой вышерассмотренным системам заземления является сравнительно новое, но все более широко применяемое эффективное электрозащитное средство – двойная изоляция. Достижения современной химической промышленности в области производства пластиков и керамик, имеющих великолепные механические и электроизоляционные характеристики, позволили значительно расширить ассортимент электробезопасных электроприборов и электроинструментов в исполнении «двойная изоляция», при применении которых тип системы заземления в плане обеспечения условий электробезопасности не имеет принципиального значения.

Изделия в исполнении «двойная изоляция» маркируются знаком



5.3 Разрядники, предохранители и автоматические выключатели

Грозозащитные разрядники. В процессе эксплуатации электрические сети периодически подвергаются воздействию грозовых перенапряжений. Наиболее часто ударам молнии подвергаются линии электропередачи, что приводит к перекрытиям изоляции и аварийным отключениям линий. При этом возникают так называемые набегающие электромагнитные волны, которые, распространяясь по линии со скоростью, близкой к скорости света, доходят до подстанции и могут вызвать опасные перенапряжения и повреждения изоляции электрооборудования. Надёжная защита изоляции электрических установок не может быть осуществлена только с помощью заземлённых молниеотводов. В качестве дополнительной меры защиты от перекрытия или пробоя применяют грозозащитные разрядники. В настоящее время применяется два типа грозозащитных разрядников – трубчатые, устанавливаемые в основном на линиях электропередачи, и вентильные, предназначенные для защиты подстанционной изоляции.

Трубчатый разрядник состоит из газогенерирующей трубки, стержневого и кольцевого электродов и двух промежутков – внутреннего (дугогасящего) и внешнего. При набегании волны атмосферного напряжения оба промежутка пробиваются и импульсный ток отводится в землю. После окончания импульса через разрядник проходит рабочий (сопровождающий) ток промышленной частоты – ток однофазного короткого замыкания. Высокая температура дуги переменного тока во внутреннем промежутке вызывает интенсивное выделение газов, устремляющихся к открытому концу трубки (продольное дутьё). В результате этого при первом же переходе рабочего тока через нулевое значение дуга гаснет, разрывая цепь провод – земля. Срабатывание разрядника сопровождается резким звуком и выхлопом раскалённых газов. Материал трубки – фибробакелит или винипласт выделяет при нагреве хлор, способствующий гашению дуги.

Основными элементами вентильного разрядника являются многократный искровой промежуток, шунтированный строго калиброванными карборундовыми сопротивлениями, и включённое последовательно с ним нелинейное сопротивление, называемое рабочим. Набегающая волна атмосферного перенапряжения вызывает пробой искрового промежутка с последующим резким падением «срезом» напряжения на изоляции. Проходящий через разрядник импульс тока создаёт на рабочем сопротивлении так называемое остающееся напряжение, величина которого неизменна при различных значениях импульсного тока. Это происходит благодаря способности рабочего сопротивления резко менять своё значение в зависимости от напряжения, обеспечивая пропускание очень больших токов при высоком напряжении и весьма малых при нормальном напряжении. Рабочее сопротивление разрядника выполняют в виде вилитовых дисков. Вилит – материал, получаемый при спекании карборундового порошка SiC и связующего материала (жидкое стекло) при температуре 300 °С. В результате спекания на границе карборундовых зёрен образуется запорный слой, обладающий вентильным эффектом. После окончания процесса ограничения перенапряжения и отведения тока в землю, напряжение на разряднике снижается до величины рабочего. Благодаря вентильным свойствам вилита сопровождающий ток резко снижается и при переходе через нулевое значение гасится на искровом промежутке.

В последнее время на вновь строящихся и реконструируемых объектах рекомендуется вместо вентильных разрядников применять нелинейные ограничители перенапряжений типа ОПН (3–750 кВ). В них отсутствуют искровые воздушные промежутки, а специальный керамический резистор на основе оксида цинка ZnO, обладающий высоконелинейным сопротивлением, позволяет при рабочем напряжении пропускать ток утечки не более 1 мА, а при импульсных перенапряжениях – разрядный ток до 100 кА. Нелинейный ограничитель перенапряжений наряду с грозозащитной функцией эффективно ограничивает коммутационные и резонансные перенапряжения в электроустановках. При замене вентильных разрядников, нелинейные ограничители перенапряжений устанавливаются в тех местах, где были установлены разрядники. Для подстанций напряжением до 10 кВ рекомендуется в полной мере использовать конструктивные достоинства ограничителей, встраивая их в оборудование и применяя

как опорные изоляторы для ошиновки. Тем самым сокращается расстояние от нелинейного ограничителя перенапряжений до оборудования и повышается надёжность грозозащиты.

Плавкие предохранители предназначены для защиты электрических сетей от перегрузок и коротких замыканий. Они дешёвы и просты по устройству. Плавкий предохранитель состоит из двух основных частей: корпуса (патрона) из электроизоляционного материала и плавкой вставки. Концы плавкой вставки соединены с клеммами, с помощью которых предохранитель включается в линию последовательно с защищаемым потребителем или участком цепи. Плавкая вставка выбирается с таким расчётом, чтобы она плавилась раньше, чем температура проводов линии достигнет опасного уровня или перегруженный потребитель выйдет из строя.

По конструктивным особенностям различают пластинчатые, патронные, трубчатые и пробочные предохранители. Сила тока, на который рассчитана плавкая вставка, указывается на её корпусе. Оговаривается также максимально допустимое напряжение, при котором может использоваться предохранитель. Для гашения электрической дуги, возникающей при разрыве тока, плавкие вставки могут помещаться в корпус из фибры или засыпаться песком.

Основной характеристикой плавкой вставки является зависимость времени её перегорания от тока. Эта кривая снимается экспериментально: берётся партия одинаковых предохранителей, которые последовательно пережигаются при разных токах. Замеряются время, по истечении которого вставка перегорает, и ток, проходящий через вставку. Каждому току соответствует определённое время перегорания вставки.

Автоматические выключатели, в просторечье – автоматы, предназначены для применения в электрических цепях переменного тока, защиты при перегрузках и токах короткого замыкания, пуска и остановки асинхронных электродвигателей и обеспечения безопасности изоляции проводников. Также могут использоваться для нечастых оперативных включений и отключений указанных цепей.

Конструкция автоматического выключателя. Части автоматического выключателя:

- механизм управления;
- электромагнитный и тепловой расцепители;
- дугогасительная камера и т. д.

Чаще всего автоматические выключатели имеют два типа защиты: тепловую (выполнена на биметаллической пластине), предназначенную для защиты от длительных токовых перегрузок, и динамическую (выполнена на электромагнитной катушке) – для защиты от токов короткого замыкания. Контактная система состоит из неподвижных контактов, закрепленных на корпусе, и подвижных контактов, шарнирно насаженных на полуоси рычага механизма управления, и обеспечивает, как правило, одинарный разрыв цепи. Дугогасительное устройство устанавливается в каждом полюсе выключателя и предназначается для локализации электрической дуги в ограниченном объёме. Комбинированные зажимы из посеребренной меди и анодированной стали обеспечивают надёжный контакт с медными и алюминиевыми проводниками сечением от 1 до 25 мм².

Автоматические выключатели имеют такую конструкцию механизма управления и механизма свободного расцепления, что во время включения замыкание контактов происходит мгновенно независимо от скорости движения рукоятки управления. Установленная металлическая пластина на боковой стенке в районе размыкающихся контактов предохраняет корпус от прогорания. При изготовлении корпуса используются высококачественные негорючие материалы с высокими огнеупорными, противоударными характеристиками и обладающие высокой механической прочностью. Контактные зажимы, глубоко погруженные внутрь корпуса, обеспечивают высокую степень безопасности при случайном прикосновении человека к корпусу прибора. Биметаллическая пластина соединена с механизмом свободного расцепления без люфта, что улучшает чувствительность прибора на её изгиб.

Автоматические выключатели выпускаются в одно-, двух-, трёх- и четырёхполюсном исполнении. Они предназначены для ручного включения и автоматического или ручного отключения электрических потребителей под нагрузкой. Расцепители могут встраиваться в один, два или три полюса в зависимости от типа исполнения автомата.

Принцип действия автоматического выключателя. При перегрузках в защищаемой цепи протекающий ток нагревает биметаллическую пластину. При нагреве пластина изгибается и толкает рычаг, воздействующий на механизм свободного расцепления. Выдержка времени отключения уменьшается с ростом тока.

При коротком замыкании в защищаемой цепи ток, протекающий через электромагнитную катушку, многократно возрастает, соответственно возрастает магнитное поле, которое перемещает сердечник, переключающий рычаг свободного расцепления.

В обоих случаях подвижный контакт отходит от неподвижного, автомат выключается, происходит разрыв цепи, тем самым электрическая цепь защищается от перегрузок и токов короткого замыкания. При перегрузках и токах короткого замыкания отключение автоматического выключателя производится независимо от того, удерживается ли рукоятка управления во включенном положении. Собственное время срабатывания автоматического выключателя – сотые доли секунды.

Автоматические выключатели иногда оснащают независимыми расцепителями, с помощью которых выполняют их дистанционное отключение.

После подачи напряжения на цепь управления независимого расцепителя его электромагнитный механизм воздействует на удерживающее приспособление автоматического выключателя, инициируя размыкание контактов его главной цепи. Управляющий сигнал для независимого расцепителя может быть сформирован вручную, например, с помощью кнопочного выключателя с замыкающим контактом, или сгенерирован каким-либо коммутационным или электронным устройством, выполняющим роль датчика, по выполнению каких-то predetermined условий, например, таймером при наступлении определённого часа.

Включение автоматического выключателя после осуществления его дистанционного отключения с помощью независимого расцепителя производят вручную.

Автоматические выключатели могут быть также укомплектованы расцепителями минимального напряжения, отключающими их при снижении напряжения в заданных точках электроустановки здания ниже определённых значений.

Расцепитель минимального напряжения может инициировать размыкание автоматического выключателя при снижении напряжения в своей цепи управления до 70 % от его номинального значения (например, равного 230 В переменного тока) и менее, а также допускает замыкание автоматического выключателя, если напряжение в этой цепи не менее 85 % от номинального. Расцепитель минимального напряжения может иметь замыкающие и размыкающие контакты, которые используют для дополнительных цепей и цепей управления автоматическим выключателем. Некоторые модификации рас-

цепителей минимального напряжения имеют кратковременную задержку на срабатывание и допускают регулировку напряжения срабатывания.

Включение автоматического выключателя после осуществления его отключения с помощью расцепителя минимального напряжения обычно также производят вручную. Независимый расцепитель, а также расцепитель минимального напряжения крепят к автоматическому выключателю с помощью пружинных скобок или винтов.

Общие указания и порядок установки автоматических выключателей. Перед установкой АВ необходимо проверить автомат на отсутствие внешних повреждений, также произвести несколько включений и отключений, чтобы убедиться, что механизм работает исправно. Проверьте маркировку на автомате, соответствует ли она требуемым условиям. Для подсоединения необходимо использовать медные проводники (кабели) или медные соединительные шины. Подвод напряжения к выводам АВ от источника питания осуществляется сверху, а отвод снизу. Автоматические выключатели допускают монтаж без промежутков между ними. Не надо также забывать, что для однофазной сети выпускаются однофазные автоматы, для трёхфазной – трёхфазные. Если вы поставите три однофазных автомата на электродвигатель, то при срабатывании одного автомата двигатель останется в работе на двух фазах, что может привести к сгоранию двигателя. Также запрещается устанавливать отдельный автомат защиты на ноль. Для таких особенных случаев существуют двухполюсные автоматы, которые отключают и фазу и ноль одновременно.

5.3 Устройства защитного отключения

Для защиты от поражения человека электрическим током при нарушении изоляции используются различные системы защитного отключения, которые можно подразделить на две группы, основанные на контроле:

1) потенциала (напряжения) на металлических частях корпуса. Если на корпусе появляется опасное напряжение, это фиксируется датчиком и вызывает защитное отключение электроустановки;

2) токов утечки. Для контроля токов утечки применяют специальный датчик (трансформатор тока), который устанавливают: в однофазной цепи – на оба провода, идущих к потребителю; в трёхфаз-

ной – на все три либо четыре провода (в зависимости от схемы подключения). Таким образом, датчик тока фиксирует сумму всех токов, протекающих через потребитель, а в соответствии с первым правилом Кирхгофа эта сумма должна быть равна нулю. Если у потребителя есть утечка тока через изоляцию любого из фазных проводов на корпус, а следовательно и на землю, на выходе датчика появляется сигнал, который вызывает защитное отключение потребителя. Такие устройства сокращённо называют УЗО.

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.

Принцип действия УЗО дифференциального типа основан на применении электромагнитного сумматора токов – дифференциального трансформатора тока. Суммарный магнитный поток в сердечнике – Φ_{Σ} , пропорциональный разности токов в проводниках, являющихся первичными обмотками трансформатора, i_L и i_N , наводит во вторичной обмотке трансформатора тока соответствующую ЭДС, под действием которой в цепи вторичной обмотки протекает ток $i_{\Deltaвт}$, также пропорциональный разности первичных токов.

Следует отметить, что к магнитному сердечнику трансформатора тока электромеханического УЗО предъявляются чрезвычайно высокие требования по качеству – высокая чувствительность, линейность характеристики намагничивания, температурная и временная стабильность и т. д. По этой причине для изготовления сердечников трансформаторов тока, применяемых при производстве УЗО, используется специальное высококачественное аморфное (некристаллическое) железо.

Основные функциональные блоки устройства защитного отключения представлены на рисунке 5.2. Важнейшим функциональным блоком УЗО является дифференциальный трансформатор тока 1. Пусковой орган (пороговый элемент) 2 выполняется, как правило, на чувствительных поляризованных магнитоэлектрических реле прямого действия или электронных компонентах. Исполнительный механизм 3 включает в себя силовую контактную группу с механизмом привода.

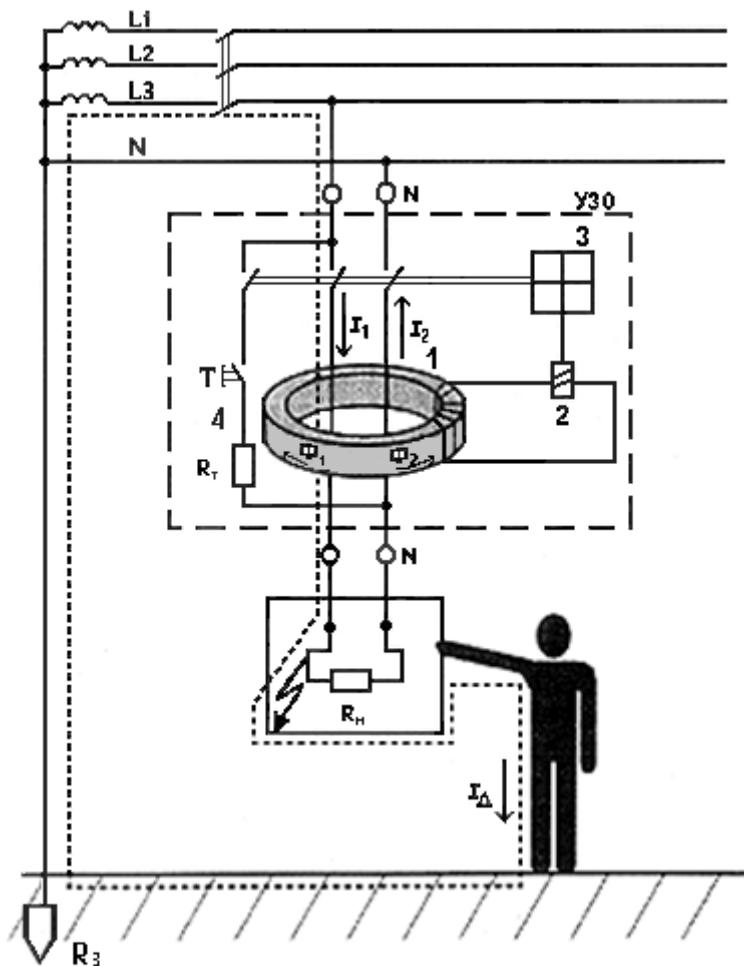


Рисунок 5.2 – Принцип действия УЗО

В нормальном режиме при отсутствии дифференциального тока – тока утечки через нарушенную изоляцию, в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока 1, протекает рабочий ток нагрузки. Проводники, проходящие сквозь окно магнитопровода, образуют встречно включённые первичные обмотки дифференциального трансформатора тока.

Если обозначить ток, протекающий по направлению к нагрузке, как I_1 , а от нагрузки – как I_2 , то можно записать равенство

$$I_1 = I_2.$$

Равные токи во встречно включённых обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но векторно встречно направленные магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 .

Результирующий магнитный поток равен нулю, ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю. Пусковой орган 2 находится в этом случае в состоянии покоя. При прикосновении человека к открытым токопроводящим частям или к корпусу электроприёмника, на который произошел пробой изоляции, по фазному проводнику через УЗО кроме тока нагрузки I_1 протекает дополнительный ток – ток утечки (I_{Δ}), являющийся для трансформатора тока дифференциальным (разностным).

Неравенство токов в первичных обмотках ($I_1 + I_{\Delta}$ в фазном проводнике и I_2 , равный I_1 , в нулевом рабочем проводнике) вызывает небаланс магнитных потоков и, как следствие, возникновение во вторичной обмотке трансформированного дифференциального тока. Если этот ток превышает значение уставки порогового элемента пускового органа 2, последний срабатывает и воздействует на исполнительный механизм 3.

Исполнительный механизм, обычно состоящий из пружинного привода, спускового механизма и группы силовых контактов, размыкает электрическую цепь. В результате защищаемая УЗО электроустановка обесточивается.

Для осуществления периодического контроля исправности (работоспособности) УЗО предусмотрена цепь тестирования 4.

При нажатии кнопки «Тест» искусственно создаётся отключающий дифференциальный ток. Срабатывание УЗО означает, что оно в целом исправно.

Различают три типа УЗО:

АС – реагирующие на переменный дифференциальный ток;

A – реагирующие на переменный и пульсирующий постоянный дифференциальные токи;

B – реагирующие на переменный, пульсирующий постоянный и сглаженный постоянный дифференциальные токи.

Чувствительность УЗО общего применения – 30 мА. В помещениях с повышенной температурой и влажностью (бани, бассейны, ванные комнаты и т. п.) применяют УЗО с чувствительностью 10 мА.

Вопросы к контрольной работе и зачету

- 1 Классификация материалов и свойства химических элементов.
- 2 Зависимость электропроводности вещества от вида химических связей между его атомами.
- 3 Конструкционные, эксплуатационные свойства материалов и их структура.
- 4 Классификация проводниковых материалов и модели электропроводности.
- 5 Влияние температуры, примесей и структурных дефектов на электропроводность металлов.
- 6 Медь.
- 7 Алюминий, железо и проводниковый биметалл.
- 8 Тугоплавкие и драгоценные металлы и их применение.
- 9 Различные металлы и их применение.
- 10 Повышение сопротивления на высоких частотах и применение тонких плёнок.
- 11 Электропроводность металлических сплавов. Сплавы высокого сопротивления.
- 12 Контактная разность потенциалов и термоЭДС. Сплавы различного назначения.
- 13 Сверхпроводниковые материалы.
- 14 Неметаллические проводниковые материалы. Материалы для нанопроводов.
- 15 Полупроводниковые материалы и их классификация.
- 16 Свойства и применение собственных полупроводников.
- 17 Примесные полупроводники и применение *p-n*-перехода.
- 18 Получение и применение германия.
- 19 Получение и применение кремния.
- 20 Получение и применение графенов, карбида кремния и силицида германия.
- 21 Получение и применение полупроводниковых соединений.
- 22 Органические и магнитные полупроводниковые материалы.
- 23 Электроизоляционные материалы, их электропроводность.
- 24 Поляризация диэлектриков и схемы замещения.
- 25 Диэлектрическая проницаемость и угол потерь
- 26 Пробой изоляции и электрическая прочность диэлектрика.
- 27 Электрический пробой газа в однородном поле.
- 28 Особенности пробоя в неоднородном поле.
- 29 Изоляционные газы и жидкости.
- 30 Особенности пробоя твёрдой изоляции.
- 31 Получение и применение полимеров.
- 32 Неполярные полимеры.
- 33 Полярные полимеры.
- 34 Волокнистые изоляционные материалы, лаки и компаунды.
- 35 Композиционные пластмассы, слоистые пластики и эластомеры.
- 36 Стёкла.
- 37 Керамика.
- 38 Слюда, асбест и и неорганические диэлектрические плёнки. Нагревостойкость изоляции.
- 39 Сегнетоэлектрики и их применение.

- 40 Электрооптические кристаллы и пьезоэлектрики.
- 41 Пирозлектрики, электреты, материалы для лазеров и жидкие кристаллы.
- 42 Магнитные свойства и классификация материалов.
- 43 Доменная структура и намагничивание ферромагнетиков.
- 44 Петли гистерезиса и магнитные характеристики материала.
- 45 Особенности магнитных свойств ферромагнетиков.
- 46 Магнитомягкие материалы для постоянных и низкочастотных магнитных полей.
- 47 Высокочастотные магнитные материалы.
- 48 Магнитные материалы с ППГ и магнитострикционные.
- 49 Материалы для постоянных магнитов.
- 50 Магнитные плёнки для записи информации.
- 51 Соединение жил проводов и кабелей скруткой и опрессовкой.
- 52 Электродуговая сварка. Источники питания для электродуговой сварки.
- 53 Сварка электроконтактным разогревом.
- 54 Термитная сварка.
- 55 Газовая сварка.
- 56 Пайка.
- 57 Разборные соединения. Достоинства и недостатки различных способов соединения.
- 58 Соединение алюминия с медью.
- 59 Технология электроизоляционных работ.
- 60 Способы построения сети электроснабжения и категории электроприёмников.
- 61 Трёхфазная система электроснабжения; подключение потребителей.
- 62 Воздушные линии электропередачи, их монтаж.
- 63 Конструкции и разновидности силовых кабелей.
- 64 Прокладка кабелей.
- 65 Концевые заделки и соединительные кабельные муфты.
- 66 Электропроводки. Провода и кабели, применяемые в электропроводках.
- 67 Скрытые электропроводки.
- 68 Открытые электропроводки.
- 69 Электропроводки в кабельных каналах и на лотках.
- 70 Электропроводки в трубах.
- 71 Классификация электрооборудования.
- 72 Распределительные устройства.
- 73 Монтаж электрических машин.
- 74 Монтаж осветительных установок.
- 75 Монтаж электронной аппаратуры.
- 76 Пайка печатной платы.
- 77 Защитное заземление и зануление.
- 78 Системы заземления.
- 79 Разрядники, предохранители и автоматические выключатели.
- 80 Устройства защитного отключения (УЗО).

В контрольной работе нужно ответить на восемь вопросов, последняя цифра номеров которых совпадает с последней цифрой шифра студента.

Список литературы

- 1 **Нестеренко, В. М.** Технология электромонтажных работ : учеб. пособие для НПО / В. М. Нестеренко, А. М. Мысьянов. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2005. – 592 с.
- 2 **Соколов, Б. А.** Монтаж электрических установок : учеб. для вузов / Б. А. Соколов, Н. Б. Соколова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 592 с.
- 3 **Сибикин, Ю. Д.** Справочник электромонтажника : учеб. пособие для НПО / Ю. Д. Сибикин. – М.: Академия, 2003. – 336 с.
- 4 **Баран, А. Н.** Технология электромонтажных работ : лаб. практ. / А. Н. Баран, Н. Г. Качан, А. М. Шедько. – Минск : Дизайн ПРО, 2000. – 208 с.
- 5 **Москаленко, В. В.** Справочник электромонтёра: справочник для НПО / В. В. Москаленко. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2005. – 288 с.
- 6 **Бурда, А. Г.** Обучение в электромонтажных мастерских : учеб. пособие для НПО / А. Г. Бурда. – М. : Радио и связь, 1988. – 232 с.