**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 сербский учёный 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 удалённые 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 учёный 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 учёных доработала конструкцию трансформатора практически до нынешнего вида, применив замкнутый сердечник. С помощью трансформаторов электрическая энергия повышается по напряжению и подаётся 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, пропуская 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: линейные *A*, *B* и *C* ( либо *L*1, *L*2 и *L*3) 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 линейных проводов составляет 380 В (для такого напряжения используют термин «междуфазное» или «линейное»). Напряжение каждого линейного провода относительно нулевого провода *N* равно 220 В (такое напряжение называют «фазным»). Линейное напряжение больше фазного в  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 современном 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, линейные 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 линейными 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 Υ 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, строений и зелёных насаждений, поверхности рек, автомобильных и железных дорог, а также проводов других линий. Для линий напряжением до 1кВ 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 линий 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;

– сталеалюминевые – 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 зажимы овальной формы сечения, монтируются обжатием, скручиванием или опрессовкой.

**2.2.2 Монтаж воздушной линии электропередачи**

Одностоечные 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 ºC, а затем насаживают на штырь или крюк лёгкими ударами деревянного молотка. Внешняя поверхность колпачка имеет форму резьбы, на которую наворачивают изолятор.

Сопротивление 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 защищён 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.

Сопротивление 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. Кроме 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 мм2 изготавливают однопроволочными, 50–240 мм2 – как одно-, так и многопроволочными, 300–800 мм2 – многопроволочными. Медные жилы сечением до 16 мм2 включительно изготавливают однопроволочными, 25–95 мм2 – как одно-, так и многопроволочными, 120–800 мм2 – многопроволочными.

Силовые кабели имеют основные и нулевые (рабочие и защитные) жилы. Трёхжильные кабели имеют только основные жилы, четырёхжильные – 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 пластиката или композиций полиэтилена. Все большее применение находят кабели с изоляцией из самозатухающего (не поддерживающего горения), вулканизированного и сшитого 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 покрова. 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 перекатывать только в том случае, если края щёк барабана возвышаются над витками кабеля не менее чем на 100 мм. Внутренний конец кабеля в этом случае надёжно прикрепляют проволокой или верёвкой к гвоздю, вбитому в щеку барабана. При мягком грунте барабаны перекатывают 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 путём 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, шоссейных 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 (подстилка). 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 трудоёмкости в 2–8 раз по сравнению с прокладкой в траншею. При этом сохраняются земельные угодья, и повышается надёжность 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 °С прокладка кабелей всех марок не допускается.

Прогрев кабеля выполняют следующими способами: трёхфазным, постоянным или однофазным током (при этом обеспечивается теплоизоляция слоем войлочно-брезентового капота) внутри обогреваемых помещений с температурой до +40 °С, в тепляке или палатке с паровым отоплением, печами, грелками инфракрасного излучения или с обогревом тепловоздухогрейкой при температуре до +40 °С.

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 разъёмную 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 слой конструкции кабеля, пока не обнажатся токопроводящие жилы. Длина разделки конца кабеля обусловливается 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 пробою). 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