
Глава 1. СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА

1.1. Системы внешнего электроснабжения

1.1.1. Получение электрической энергии

Процесс передачи электроэнергии от производителя до потребителя включает в себя достаточно большое количество промежуточных звеньев. Начальным звеном такой цепи являются различные электростанции, на которых вырабатывается электроэнергия, потребляемая в конечном итоге потребителями, в том числе железнодорожным транспортом.

В настоящее время способы получения электроэнергии делятся на традиционные, позволяющие получать энергию в промышленных масштабах, и нетрадиционные, обеспечивающие потребности отдельных потребителей ограниченной мощности.

К *традиционным* относится получение электроэнергии на тепловых, гидравлических и атомных электростанциях, к *нетрадиционным* — на солнечных, ветровых, геотермальных, приливных, водородных и биоэнергетических электростанциях.

Тепловая электростанция преобразует тепловую энергию, выделяющуюся в результате сжигания топлива, в электрическую. При этом преобразование происходит в два этапа: сначала тепловая энергия преобразуется в механическую, а затем механическая — в электрическую.

Рассмотрим процесс получения электроэнергии на примере парогенераторной теплоэлектростанции (рис. 1.1). На первом этапе топливо (уголь, газ, горючие сланцы, торф, мазут) сжигается в топке парогенератора и нагревает очищенную воду, циркулирующую по системе трубок, до состояния насыщенного пара. Далее пар перегревается в среднем до температуры 500—600 °С и под высоким давлением поступает на лопасти паровой турбины, вал которой же-

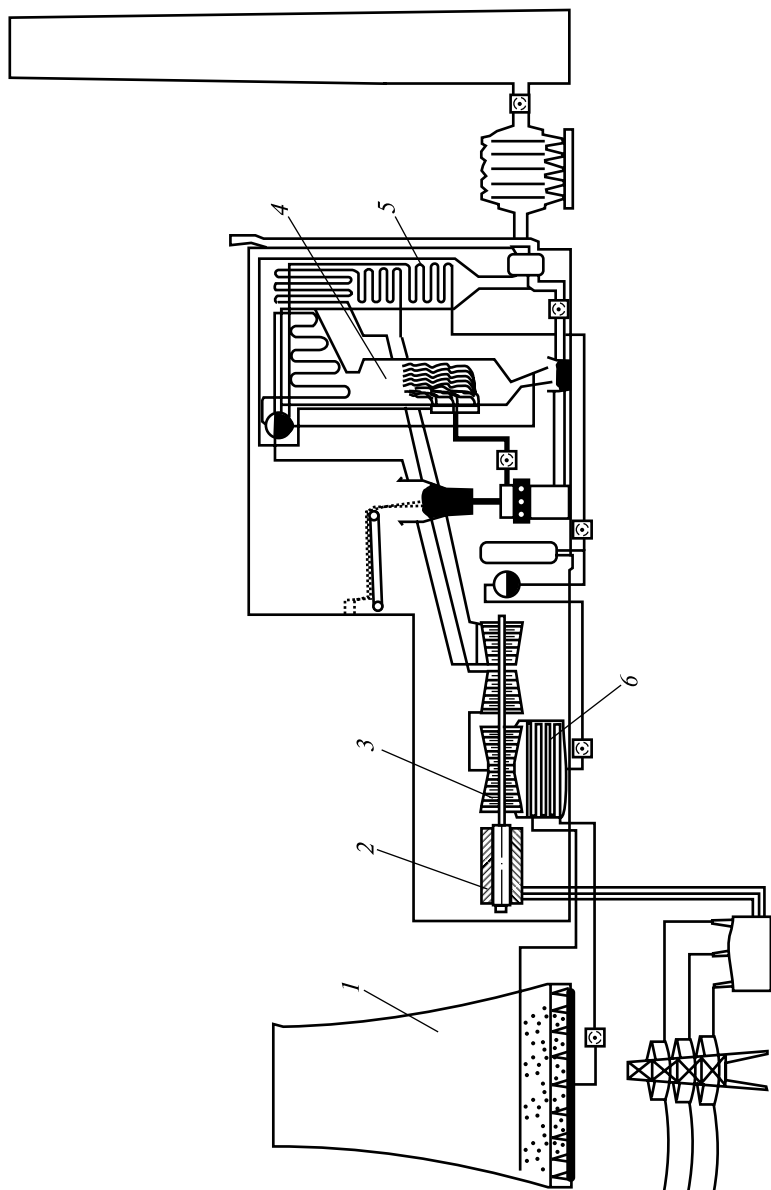


Рис. 1.1. Тепловая электростанция:
 1 — градирня; 2 — паровая турбина; 3 — парогенератор; 4 — парогенератор; 5 — трубы с очищенной водой;
 6 — конденсатор

стко соединен с валом генератора. При такой системе достаточно просто регулируется скорость вращения турбины и, следовательно, обеспечивается необходимая частота вращения вала генератора, что позволяет получать на втором этапе преобразования периодический синусоидальный ток. Отработавший пар поступает в конденсатор, в котором происходит процесс конденсации, т.е. переход теплоносителя из парообразного состояния в жидкое за счет отвода тепла. На тепловых электростанциях такими конденсаторами чаще всего являются градирни.

Тепловые электростанции могут также быть теплофикационными, т.е. сочетать производство электроэнергии с выработкой тепловой энергии. В этом случае часть пара отбирается на первом этапе и передается в систему теплоснабжения. Такие тепловые электростанции носят название теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и строятся преимущественно в зоне потребления тепловой энергии.

Процесс получения электроэнергии на *гидравлических электростанциях* основан на преобразовании кинетической энергии падающей воды в электрическую энергию. Различают приплотинные, русловые, деривационные и гидроаккумулирующие гидроэлектростанции.

В *приплотинных* и *русловых* гидроэлектростанциях, сооружаемых на равнинных реках, перепад высот достигается за счет строительства плотин, которые искусственно увеличивают высоту верхнего бьефа и по спиральным водоподающим камерам направляют поток воды на гидротурбину (рис. 1.2). Скорость вращения турбины и соединенного с ней вала генератора регулируется напором, создаваемым уровнем воды в верхнем бьефе.

Деривационные гидроэлектростанции строятся на горных реках, где существует естественный перепад высот. Капитальные затраты на строительство таких станций существенно ниже.

Гидроаккумулирующие электростанции предназначены для покрытия пиковых нагрузок и используют излишки электроэнергии, полученной на других электростанциях, для закачивания воды в бассейны верхнего бьефа. Двойная обратимая система гидроагрегатов позволяет в часы наибольшей нагрузки получать электроэнергию стандартным способом, характерным для гидроэлектростанций.

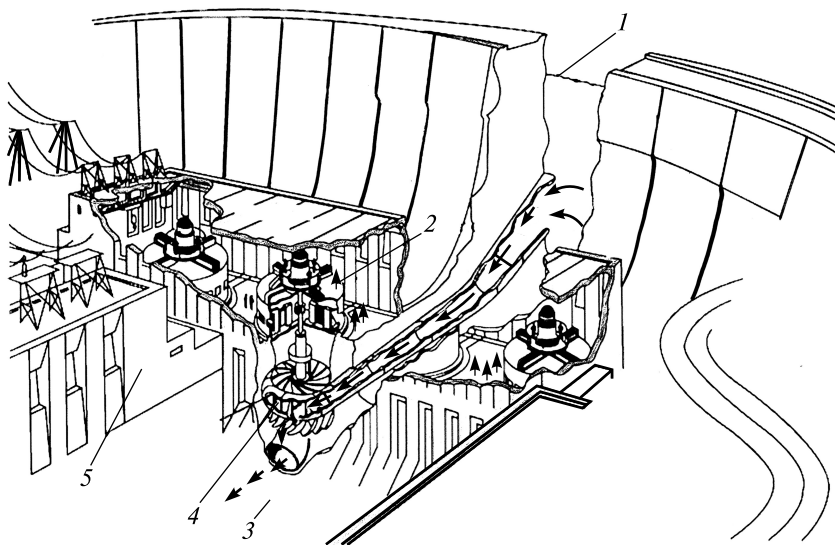


Рис. 1.2. Приплотинная гидроэлектростанция:
1 — верхний бьеф; 2 — генератор; 3 — нижний бьеф; 4 — турбина; 5 — трансформаторная подстанция

Атомные электростанции (рис. 1.3) по принципу получения электроэнергии можно отнести к разряду тепловых, так как на них происходит такое же преобразование тепловой энергии в электрическую, как и на тепловых электростанциях. Отличительной особенностью атомных электростанций служит источник тепловой энергии, которым является ядерный реактор. В результате распада атомного ядра некоторых элементов (уран, плутоний) выделяется большое количество тепла, которое через водяные или газовые теплоносители нагревает воду до состояния пара и подает его на турбину. Для замедления скорости реакции на атомных электростанциях используют различные замедлители: графитовые, водные, тяжеловодные. В Российской Федерации используют графито-водные и водо-водяные реакторы.

В связи с ограниченными запасами невозобновляемых ресурсов в настоящее время идет активное развитие и альтернативной, нетрадиционной электроэнергетики. Наибольшие успехи в этом направлении принадлежат, безусловно, использованию солнечной энергии.

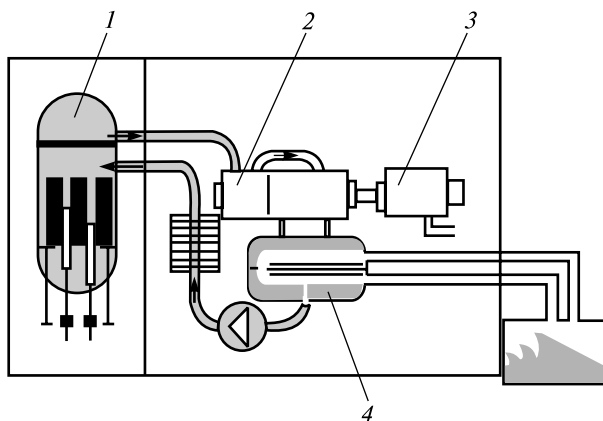


Рис. 1.3. Атомная электростанция:

1 — атомный реактор; 2 — турбина; 3 — генератор; 4 — конденсатор

Солнечные электростанции подразделяются на два основных класса: гелиостанции коллекторного типа и солнечные фотоэлементы.

Различные типы коллекторов в электростанциях первого вида обладают способностью концентрировать солнечную энергию в ограниченном пространстве, повышая температуру теплоносителя до 500—3000 °С, что вполне достаточно для получения электрической энергии традиционным способом, например с помощью турбогенераторов.

Принцип работы солнечных элементов основан на свойствах полупроводниковых материалов проводить электрический ток при попадании на них солнечного излучения. Такие фотоэлементы позволяют получать электроэнергию в достаточно большом количестве, однако их использование ограничено высокой стоимостью установок.

Ветровая электроэнергетика, наряду с солнечной, также является одним из перспективных направлений развития возобновляемой энергетики. Принцип работы ветровых генераторов основан на преобразовании механической энергии ветра в электрическую. При этом при прямом соединении ротора с валом генератора на последнем получается нестабильный переменный ток, который проходит через коллектор, где выпрямляется и поступает на аккумуляторы.

муляторные батареи, одновременно заряжая их и используя как проводники тока к инвертору. Инверторная установка преобразует постоянный ток в однофазный или трехфазный ток промышленной частоты.

Геотермальные электростанции, использующие тепловую энергию Земли, как правило, строят в местах с повышенной вулканической активностью, в которых образуются мощные источники тепла — раскаленные или расплавленные породы, располагающиеся достаточно близко от поверхности земли. Принцип работы таких электростанций основан на вскипании части горячей воды, поднимающейся по скважинам, в связи с резким падением давления при выходе на поверхность. Полученный пар отделяется при помощи сепараторов и направляется на турбину для получения электроэнергии.

Принцип работы *приливных электростанций* аналогичен работе гидравлических электростанций. В моменты приливов уровень воды поднимается, и она заполняет бассейн водохранилища. Накопленный объем воды позволяет расходовать ее для получения электроэнергии.

Перспективным с точки зрения дальнейшего использования является и использование в качестве энергетического топлива водорода, который имеет очень высокий КПД сжигания и практически неограниченный запас в природе. Однако на данный момент развитие *водородной энергетики* сдерживается двумя факторами — высокой стоимостью производства чистого водорода и его взрывоопасностью.

Биоэнергетические электростанции — это тепловые электростанции, использующие в качестве топлива биогаз (смесь метана и углекислого газа), выделяющийся в результате разложения без доступа кислорода отходов пищевой промышленности, сельскохозяйственного производства. Биогаз имеет удельную теплоту сгорания 5500—6500 ккал/м³, что позволяет использовать его для получения электроэнергии на мини-ТЭС.

1.1.2. Классификация электрических сетей

Электрическая сеть представляет собой совокупность устройств, предназначенных для передачи, преобразования и распределения электрической энергии. Электрические сети можно классифициро-

вать по ряду признаков: по роду тока, по масштабным признакам и размерам сети, по назначению и области применения, по выполняемым функциям и конфигурации сети.

По *роду тока* электрические сети делятся на сети постоянного, однофазного переменного и трехфазного переменного тока.

Сети постоянного тока применяются преимущественно для питания контактных сетей железнодорожного и общественного транспорта, а также для питания некоторых сетей автономного электроснабжения.

Сети однофазного переменного тока получили наибольшее распространение в электроснабжении осветительных и бытовых установок, а также для питания контактной сети электрифицированного по системе переменного тока железнодорожного транспорта.

Сети трехфазного переменного тока служат основным средством передачи электроэнергии, а также питают основные мощности производственных предприятий.

По *масштабным признакам и размерам* электрические сети бывают магистральными, региональными, районными и внутренними.

Магистральные сети предназначены для передачи электроэнергии на большие расстояния и характеризуются высоким и сверхвысоким уровнем напряжения.

Региональные сети могут получать питание как от собственных электростанций, так и от магистральных сетей. Они предназначены для распределения электроэнергии внутри региона и питают, как правило, крупные потребители энергии.

Районные сети, как правило, подключаются к региональным сетям, не имеют собственных источников питания и обслуживают потребителей, мощность которых не превышает 100 МВт.

Электропроводка относится к *внутренним сетям* и характеризуется низким уровнем напряжения, предназначена для обеспечения электроэнергией оборудования, размещенного в отдельных зданиях, сооружениях, а также для питания осветительной нагрузки.

По *назначению и области применения* сети подразделяются на сети общего применения, сети автономного электроснабжения, производственные и контактные сети.

Сети общего применения предназначены для электроснабжения всех типов потребителей: промышленных, бытовых, транспортных, сельскохозяйственных и т.п.

Сети автономного электроснабжения предназначены для обеспечения электроэнергией передвижных автономных потребителей (например, летательных аппаратов, речных и морских судов).

К *производственным сетям* относятся инженерные сети производственных объектов.

Контактная сеть предназначена для подведения электроэнергии к движущимся вдоль нее потребителям, таким как электровозы и электропоезда, моторвагонный состав метрополитена, троллейбусы и трамваи.

По *выполняемым функциям* электрические сети бывают системообразующими, питающими и распределительными.

Системообразующие сети напряжением 500, 750, 1150 кВ предназначены для связи между собой различных энергосистем с целью их взаимного резервирования. Они соединяют между собой отдельные регионы страны и крупнейшие электростанции, передавая электроэнергию на узловыe пункты, расположенные, как правило, в краевых, республиканских, областных центрах.

Питающие сети напряжением 110, 220 кВ являются одними из самых распространенных. Они предназначены для питания районных, тяговых подстанций и подстанций глубокого ввода, имеющих повышенное напряжение высокой стороны. Сети напряжением 330 кВ используются реже.

Распределительные сети напряжением 6, 10 или 35 кВ предназначены для электроснабжения подстанций промышленных предприятий, сельскохозяйственных объектов и трансформаторных подстанций.

Распределительные сети напряжением до 1 кВ в основном используются для питания электроприемников небольшой мощности.

Выбор *конфигурации электрической сети* зависит от режима работы. В тех случаях, когда сеть питает потребители, электроснабжение которых не предусматривает обязательного резервирования, применяются *разомкнутые* сети. Если же в числе потребителей есть потребители первой категории надежности, то такие сети чаще всего выполняют *сложно-замкнутыми* для обеспечения как минимум двухстороннего электроснабжения в случае нарушения нормального режима работы.

1.1.3. Конструктивное исполнение электрических сетей

Генераторное напряжение современных электростанций, как правило, не превышает 6—10 кВ. Передача электроэнергии на большие расстояния при таком напряжении нецелесообразна, так как это приводит к потерям напряжения в линии. Поэтому генераторное напряжение на электростанциях повышают и передают потребителям по линиям электропередачи, которые по конструктивному исполнению могут быть воздушными или кабельными.

Воздушные линии (ВЛ) электропередачи. Они представляют собой протяженную конструкцию, состоящую из токоведущих частей — неизолированных (голых) проводов, опорных конструкций, изоляторов и линейной арматуры.

Провода ВЛ предназначены для передачи силовой электрической нагрузки и классифицируются по следующим признакам:

- по материалу;
- конструкции;
- количеству используемых материалов.

По *материалу* провода воздушных ЛЭП можно разделить на три основных группы: алюминиевые, медные и стальные. Алюминиевые провода маркируются буквой А, обладают меньшей по сравнению с медными механической прочностью и электрической проводимостью, однако их стоимость значительно ниже. Медные провода (М) применяются в основном во взрывоопасных зонах, а также в тех случаях, когда требуется высокая пропускная способность линии, например, на контактной сети электрифицированного транспорта. Стальные провода (ПС, ПМС, ПСО) обладают самой большой механической прочностью, но имеют не очень высокие характеристики по электропроводности. Их применяют для передачи небольшой мощности, преимущественно в сельскохозяйственных районах. Стальными проводами, скрученными в виде канатов, выполняют грозозащитные тросы.

По *конструкции* провода ВЛ делятся на однопроволочные, многопроволочные и самонесущие изолированные провода (СИП). Однопроволочные (рис. 1.4, а) выполняются из одной круглой проволоки, диаметр которой может быть равен 4, 6 или 10 мм². Провода большего сечения выполняют многопроволочными (рис. 1.4, б), т.е. состоящими из нескольких проволок. Количество проволок за-

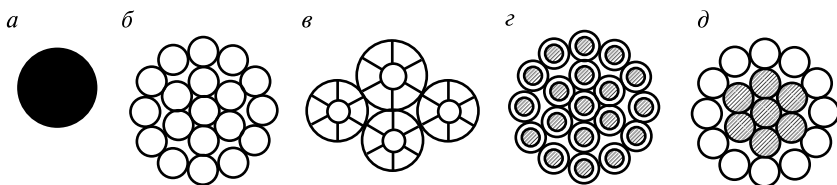


Рис. 1.4. Провода воздушных линий электропередачи:
a — однопроволочный; *б* — многопроволочный; *в* — самонесущий изолиро-
 ванный; *г* — биметаллический; *д* — комбинированный

висит от общего сечения провода и может достигать нескольких десятков. Самонесущие изолированные провода (рис. 1.4, *в*) имеют несущую сталеалюминиевую жилу, являющуюся нулевой, и изолированные алюминиевые жилы, навитые вокруг нее. Такие провода позволяют существенно облегчить линию электропередачи, так как они не требуют установки изоляторов и специальных мер безопасности при эксплуатации.

По количеству используемых материалов провода подразделяют на монометаллические и биметаллические или комбинированные. Монометаллические провода выполняются из одного материала, могут быть однопроволочными и многопроволочными. В биметаллических проводах (рис. 1.4, *г*) используют два металла: медь или алюминий для обеспечения высокой электропроводности и сталь для усиления механической прочности. Из стали, имеющей более высокое сопротивление, выполняется сердечник провода, что, однако, не влияет на электропроводность, так как внутри провода практически отсутствует электрическое поле в связи с наличием поверхностного эффекта.

На воздушных линиях электропередачи чаще всего используют многопроволочные комбинированные провода (рис. 1.4, *д*) марок АС (сталеалюминиевые), АСУ (сталеалюминиевые усиленные), АСК (сталеалюминиевые с защитой от коррозии). Такие провода используются на ВЛ напряжением от 35 кВ. Сталемедные биметаллические провода получили преимущественное применение в качестве несущих тросов на контактной сети железных дорог.

Опоры линий электропередачи являются одной из разновидностей поддерживающих конструкций, предназначенных для восприятия механических нагрузок подвешенных к ним проводов и удерж-

жания их на заданной высоте. Опоры классифицируются по следующим признакам:

- по материалу;
- назначению;
- количеству цепей, размещенных на опоре;
- конструкции;
- конфигурации;
- взаимному расположению проводов на опорах;
- напряжению.

По *материалу* опоры делятся на деревянные, железобетонные и металлические.

Деревянные опоры являются самыми экономичными из всех видов опор, а также самыми легкими, что облегчает их транспортировку и замену в случае выхода из строя, однако имеют ряд существенных недостатков. В первую очередь дерево подвержено гниению, что, как следствие, приводит к снижению срока службы. Для предотвращения гниения деревянные опоры, изготавливаемые чаще всего из сосны, пропитывают специальными составами (например, креозотовым маслом или антисептиком ССА, состоящим из меди, хрома и мышьяка), увеличивая срок эксплуатации опор в 5–6 раз. Вторым существенным недостатком является невозможность использования деревянных опор по конструктивным соображениям на напряжение выше 220 кВ.

Основным достоинством *железобетонных* опор является их стойкость к коррозии и к воздействию агрессивных веществ, что позволяет применять их в районах с химически активной средой. Железобетонные опоры изготавливаются из армированного или центрифугированного бетона на напряжение до 500 кВ. К недостаткам следует отнести их массу (порядка 5000 кг) и длину, что вызывает сложности при перевозке опор к месту установки.

Этого недостатка лишены *металлические* опоры, которые выполняют либо сварными, либо сборными. Такие соединения позволяют собирать опору на месте ее установки, упрощая процесс транспортировки. Основным недостатком стальных металлических опор является возможность их окисления и коррозии. Для предотвращения этого используется горячее и холодное цинкование опор, а также покрытие их специальными цинкосодержащими составами или лакокрасочными материалами. Металлические опоры чаще всего

выполняют решетчатыми, однако в последнее время рассматривается вопрос о внедрении так называемых многогранных металлических опор.

По назначению опоры подразделяются на промежуточные, анкерные, угловые, концевые, переходные, отпаечные, перекрестные и транспозиционные.

Промежуточные опоры являются самыми распространенными, они устанавливаются на прямых участках трасс, имеют подвесные гирлянды изоляторов и рассчитаны на поддержание проводов и грозозащитных тросов на заданной высоте.

Анкерные опоры также устанавливаются на прямых участках, однако, в отличие от промежуточных, снабжаются натяжными гирляндами изоляторов и воспринимают горизонтальную нагрузку от тяжения проводов.

Угловые опоры устанавливаются на поворотах трассы ВЛ. Они выполняются аналогично промежуточным при небольших (до 20°) углах поворота и анкерными, если угол поворота больше.

Концевые опоры устанавливаются в начале и в конце трассы при переходе линии на порталы подстанций или в кабельные линии. Они испытывают одностороннее тяжение проводов, которые крепятся к опоре натяжными гирляндами изоляторов.

Переходные опоры являются разновидностью анкерных, они устанавливаются в местах пересечения трассы воздушной линии с инженерными сооружениями (например, мостами, шоссейными автодорогами) или с естественными природными преградами (реками, оврагами, ущельями и т.п.).

Отпаечные опоры предназначены для выполнения ответвлений от магистральных линий.

Перекрестные опоры устанавливают в местах, где пересекаются воздушные линии разных направлений.

Транспозиционные опоры предназначены для обеспечения симметрии фаз при протекании тока. На таких опорах происходит смена положения проводов относительно друг друга.

По количеству цепей опоры бывают одно-, двух- и многоцепными. Каждая цепь состоит из трех проводов (фаз *A*, *B*, *C*). Чаще всего встречаются одноцепные и двухцепные опоры.

По конструкции опоры подразделяются на свободностоящие и закрепленные на оттяжках.

По конфигурации опоры делятся на одностоечные, А-, П-, Y- и АП-образные (рис. 1.5).

По взаимному расположению проводов одноцепные опоры принято разделять на опоры с горизонтальным подвешиванием и с подвешиванием типа «треугольник». На двухцепных опорах провода подвешивают «треугольником», «бочкой», прямой и обратной «елкой».

По напряжению опоры подразделяются на опоры воздушных линий низкого (до 1 кВ), высокого (6, 10, 35, 110, 220 и 330 кВ) и сверхвысокого напряжения (500, 750 и 1150 кВ). От величины напряжения зависит высота опоры, длина траверс, масса опоры. Это связано с тем, что чем выше напряжение, тем дальше от поверхности земли и от тела опоры должны располагаться токоведущие части.

Изоляторы классифицируются по следующим признакам:

- по материалу;
- назначению;
- конструктивному исполнению.

По материалу изоляторы делятся на керамические (фарфоровые), стеклянные и полимерные.

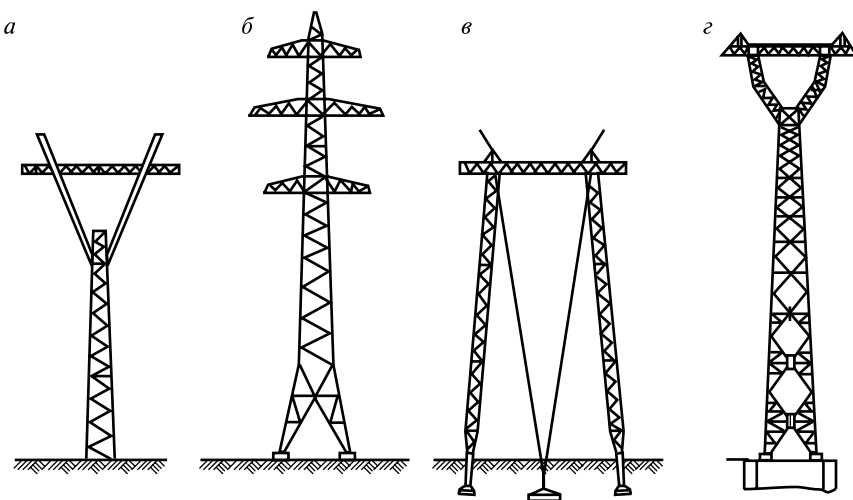


Рис. 1.5. Виды конфигураций опор:
а, б, г — одностоечные; в — П-образные

Керамические изоляторы изготавливаются из глазурованного электротехнического фарфора, обладающего хорошей электрической прочностью и высокой механической прочностью. К достоинствам фарфоровых изоляторов следует отнести их низкую стоимость, устойчивость к химически активным средам, а также к перепадам температур. В то же время у фарфоровых изоляторов имеется ряд существенных недостатков, которые ограничивают их применение в настоящее время. К ним относится большая масса, хрупкость, необходимость в специальных диагностических мероприятиях при выявлении дефектных изоляторов.

Стекланные изоляторы выполняются из малощелочного стекла, обладающего самой высокой электрической прочностью из всех применяемых для изготовления изоляторов материалов. Единственным существенным недостатком стекланных изоляторов служит высокая энергозатратность его производства, связанная с сильным нагревом исходных веществ для получения стекла. К недостаткам можно также отнести низкую антивандальность стекланных изоляторов. В остальном же стекланные изоляторы имеют значительное преимущество по сравнению с фарфоровыми и полимерными. В первую очередь это высокая надежность и большой срок эксплуатации (более 60 лет) стекланных изоляторов, высокая степень автоматизации производства. Немаловажным является и тот факт, что при пробое изолятора стекло рассыпается, что существенно упрощает обнаружение поврежденных изоляторов, так как может определяться визуально, без использования спецсредств.

В настоящее время все большее распространение получают *полимерные* изоляторы, изготавливаемые из композиционных материалов на основе кремнийорганической резины со стеклопластиковыми стержнями для увеличения механической прочности. Их повсеместное применение сдерживается отсутствием достоверных данных о сроках эксплуатации и нестойкостью к некоторым видам химически активных сред, например к маслам и нефтепродуктам. К недостаткам современных полимерных изоляторов можно также отнести и возможность проникновения влаги в месте соединения изоляционного материала с оконцевателями, что может привести к отказу изолятора. Нахождение дефектного изолятора в этом случае требует наличия дорогостоящего оборудова-

ния. Однако полимерные изоляторы имеют значительно меньший вес по сравнению с керамическими и стеклянными, они гораздо более гидрофобны, имеют высокие антивандальные характеристики.

По назначению изоляторы бывают линейные и аппаратные.

Линейные изоляторы предназначены для крепления неизолированных проводов воздушных линий электропередачи и грозозащитных тросов к опорным конструкциям. Современной промышленностью выпускаются линейные штыревые, стержневые и тарельчатые изоляторы (рис. 1.6).

Штыревые изоляторы, преимущественно фарфоровые, применяются при напряжении линии до 35 кВ, тарельчатые, чаще всего стеклянные, используют на напряжение от 10 кВ и выше.

Полимерные стержневые изоляторы применяются на ВЛ напряжением от 10 до 110 кВ.

Тарельчатые изоляторы являются самыми распространенными на линиях электропередачи, так как позволяют набирать гирлянду изоляторов с необходимым для любого напряжения количеством. По количеству изоляторов в гирлянде можно определить уровень напряжения линии: для ВЛ-6 (10) кВ — 1—2 изолятора, для ВЛ-35 кВ — 3—4 изолятора, для ВЛ-110 кВ — 6—7 изоляторов и т.д.

По конструктивному исполнению изоляторы в соответствии с ГОСТ 27020-86 делятся на проходные (с токопроводом и без), опорные (стержневые и штыревые), защитные (покрышки и изолирующие корпуса) и подвесные (тарельчатые и стержневые).

Кабельные линии электропередачи. Электрические кабели выполняют функцию проводника электрической энергии в тех случаях, когда сооружение воздушной линии по тем или иным причинам нецелесообразно.

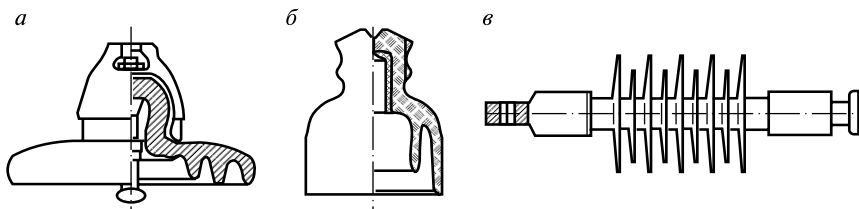


Рис. 1.6. Линейные изоляторы:
а — тарельчатый; б — штыревой; в — стержневой

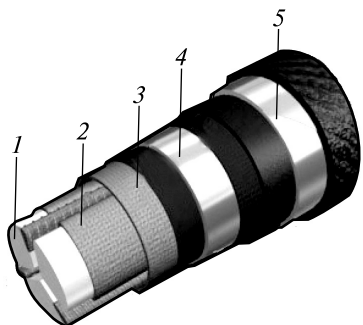


Рис. 1.7. Силовой кабель:
 1 — токопроводящие жилы; 2 — фазная изоляция; 3 — поясная изоляция; 4 — оболочка; 5 — броня

По назначению кабели делятся на силовые, контрольные, кабели связи и кабели управления. Силовые кабели предназначены для передачи электроэнергии, необходимой для питания электроустановок, а контрольные — для подключения электрических приборов. Кабели связи и кабели управления служат для передачи информации.

Силовые кабели имеют одну или несколько жил, помещенных в оболочку и имеющих защитные покрытия (рис. 1.7). По количеству жил кабели бывают одно-, двух-, трех- и четырехжильными. Токоведущие жилы служат для прохождения по ним электрического тока и изготавливаются из меди или алюминия. Они могут быть круглыми или фасонными (например, секторными), однопроволочными или многопроволочными. Помимо основных, кабель может иметь нулевые жилы и жилы заземления, сечение которых меньше либо равно сечению основных. Нулевые жилы, по которым протекают токи, возникающие при неравномерности загрузки фаз, присоединяются к нейтрали источника, а жилы защитного заземления соединяют не находящиеся под напряжением металлические части кабеля с контуром заземления источника.

Для обеспечения необходимой электрической прочности жил кабеля по отношению друг к другу и к земле в силовых кабелях применяют бумажную пропитанную, пластмассовую и резиновую изоляцию. В кабелях высокого напряжения (от 110 кВ и выше) резиновая изоляция не применяется. Изоляция, накладываемая поверх жилы, называется изоляцией жилы или фазной изоляцией, а изоляция, накладываемая поверх изолированных скрученных жил, — поясной изоляцией. При маркировке кабеля изоляция обозначается буквами Р (резиновая из синтетических и натуральных каучуков), В (поливинилхлоридная) и П (полиэтиленовая).

Промежутки между жилами кабеля заполняют специальными наполнителями, предотвращающими возникновение воздушных

промежутков и придающих кабелю круглое сечение. Заполнители кабелей с бумажной поясной изоляцией могут быть выполнены из сульфатной бумаги, кабельной пряжи, стеклопряжи. Для кабелей с пластмассовой изоляцией заполнители изготавливаются из полиэтилена, поливинилхлоридного пластиката, а также из кабельной или стеклянной пряжи (в кабелях напряжением ниже 3 кВ). Кабели с резиновой изоляцией имеют заполнители из текстильной пряжи.

Для защиты жил от атмосферного воздействия, проникновения различных химических веществ, а также от механических повреждений применяются различные оболочки. Кабели с бумажной изоляцией герметизируются при помощи алюминиевых, свинцовых или стальных оболочек, выпрессованных в виде трубок. Резиновая и пластмассовая изоляция влагоустойчивы, поэтому в кабелях этого типа применяются пластмассовые оболочки. В последнее время широко используются кабели с комбинированными металлопластмассовыми оболочками из полиэтилена с алюминиевыми или стальными лентами. Алюминиевые оболочки, кроме того, могут использоваться как нулевые жилы силовых кабелей напряжением до 1 кВ, а также в качестве проводящего экрана для защиты кабеля от влияния электромагнитного поля.

Кроме алюминиевых оболочек, экранирование может быть выполнено металлической сеткой, нанесением полимерной пленки с металлическим покрытием или фольгой. Экранированные кабели имеют в своем обозначении букву Э в середине или в конце маркировки.

Для защиты кабелей от механических повреждений и коррозионного воздействия окружающей среды применяются защитные покровы, которые накладываются на поясную изоляцию или на оболочки кабелей. По условиям монтажа и эксплуатации кабели выполняются небронированными и бронированными. В первом случае наружный покров выполняют из слоя битума, пропитанной кабельной пряжи или пряжи из стекловолокна. Во втором случае защитный покров имеет трехслойную структуру и состоит из подушки, предназначенной для предохранения оболочек от механических повреждений, брони из стальных лент или проволок, а также наружного покрова, предохраняющего броню от воздействия окружающей среды. Подушка может быть выполнена из пропитанной кабельной бумаги с битумным покрытием, кабельной пряжи из лубяных волокон.

Кабели, которые в процессе эксплуатации могут подвергаться длительному растяжению, бронируют оцинкованными стальными проволоками, остальные — стальными лентами, которые изготавливаются трех видов: оцинкованные, битумированные и ленты без коррозионного покрытия.

Наличие брони можно определить по букве Б в марке кабеля, а отсутствие наружного покрова — по букве Г в конце маркировки.

Наружный покров кабеля может быть волокнистым или пластмассовым. Волокнистый наружный покров состоит из трех слоев: битумного слоя, пропитанной кабельной или стеклопряжи, слоя битума и мела. Пластмассовый наружный покров также имеет трехслойную структуру: слой битумного состава, ленту ПВХ и полиэтиленовый (Шп) или поливинилхлоридный шланг (Шв).

Контрольные кабели имеют неподвижное соединение и используются в релейной защите, устройствах контроля и СЦБ. Они представляют собой скрученные изолированные жилы с поясной изоляцией и оболочкой.

Кабели связи позволяют передавать информацию (изображения, телевизионные сигналы, телефонные разговоры и т.п.) в виде токов различной частоты. К кабелям связи относятся оптико-волоконные и коаксиальные кабели.

Кабели управления конструктивно аналогичны контрольным кабелям, однако, в отличие от них, имеют подвижное соединение.

1.2. Системы тягового электроснабжения

Система электроснабжения железной дороги включает в себя обеспечение электроэнергией как тягового подвижного состава, так и различных предприятий, необходимых для полноценного функционирования отрасли. При этом электроэнергия может поступать как от внешних источников, чаще всего от энергосистемы региона, так и от собственных электростанций.

Основным тяговым потребителем электроэнергии на железнодорожном транспорте является ЭПС. Для его питания предусмотрено несколько схем, однако все они имеют общую структуру (рис. 1.8) и включают в себя систему внешнего электроснабжения и систему тягового электроснабжения.

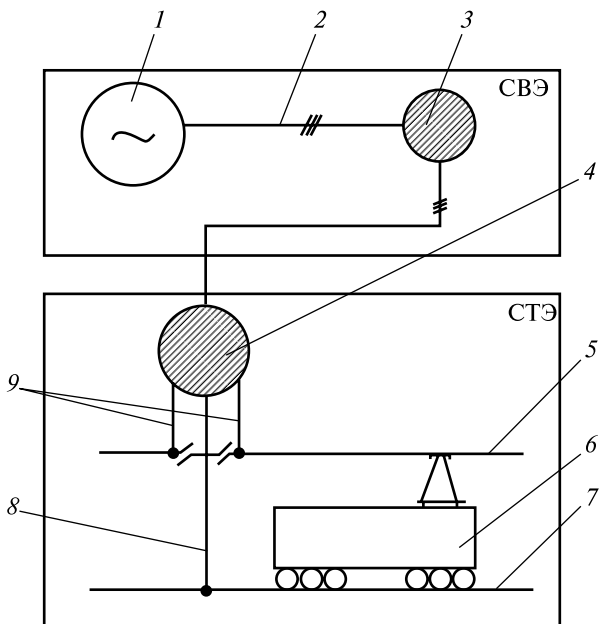


Рис. 1.8. Структурная схема питания электроподвижного состава:
 1 — электростанция; 2 — трехфазная линия электропередачи; 3 — трансформаторная подстанция; 4 — тяговая подстанция; 5 — контактная сеть; 6 — электроподвижной состав; 7 — рельсы; 8 — отсасывающий фидер; 9 — фидеры контактной сети; СВЭ — система внешнего электроснабжения; СТЭ — система тягового электроснабжения

Система внешнего электроснабжения включает в себя источники электрической энергии (электростанции), трансформаторные подстанции и линии электропередачи.

Система тягового электроснабжения состоит из тяговых подстанций, питающих линий, контактной сети, тяговых рельсов и отсасывающих линий.

В настоящее время в России существуют три основные системы тягового электроснабжения:

- постоянного тока с номинальным напряжением в контактной сети 3 кВ;
- переменного однофазного тока промышленной частоты 50 Гц с номинальным напряжением в контактной сети 25 кВ;

– переменного однофазного тока промышленной частоты 50 Гц с номинальным напряжением в тяговой сети 2×25 кВ.

С системы постоянного тока началась электрификация железных дорог, и она имеет самый длительный опыт эксплуатации. Кроме того, большая часть современного электроподвижного состава оборудована двигателями постоянного тока, технические характеристики которых наиболее соответствуют требованиям, предъявляемым к тяговым электродвигателям. Отсутствие устройств для преобразования электроэнергии значительно снижает стоимость ЭПС. На дорогах постоянного тока возможна рекуперация электроэнергии тяговыми электровозами.

Однако система тягового электроснабжения постоянного тока имеет целый ряд существенных недостатков. Низкое напряжение в контактной сети ограничивает пропускную способность участков. Для ее увеличения применяют двойной контактный провод, что приводит к значительному утяжелению контактной подвески и к увеличению нагрузки на опорные конструкции. Кроме того, расстояние между тяговыми подстанциями при системе электроснабжения постоянного тока не превышает 20—25 км, что увеличивает как капитальные, так и эксплуатационные расходы. Немаловажным является и тот факт, что при питании контактной сети постоянным током наблюдаются коррозионное действие блуждающих токов и возникает необходимость в установке специальных защит подземных металлических сооружений и опор контактной сети.

Система тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ лишена многих из вышеперечисленных недостатков. При электрификации по этой системе расстояние между подстанциями может достигать 50 км, повышение напряжения до 25 кВ позволяет увеличить пропускную способность линии и снизить потери мощности и напряжения. При этом уменьшается сечение контактной подвески, а следовательно, и расход цветных металлов. Но, в связи с тем что тяговые трансформаторы имеют несимметричную нагрузку по фазам, возникает серьезное ухудшение качества электроэнергии, которое дополняется появлением высших гармоник с достаточно большой амплитудой вследствие преобразования переменного тока на двухполупериодных выпрямительных установках электровозов. Кроме того, электрические сети переменного тока

являются источниками мощных электромагнитных полей, которые негативно влияют на информационные системы, например, линии СЦБ, вызывая в них помехи при передаче сигналов.

Защита от электромагнитного влияния частично решена в *системах тягового электроснабжения 2×25 кВ*, тяговая сеть которых включает в себя питающий провод с током, противоположным току контактной подвески. В результате снижается мешающее влияние на линии связи. Кроме того, повышение напряжения в питающих проводах позволяет уменьшить потери напряжения и энергии, не меняя при этом напряжения на электроподвижном составе. Расстояние между тяговыми подстанциями при такой системе увеличивается до 70—80 км. Однако необходимость установки промежуточных автотрансформаторных пунктов на перегонах приводит к увеличению эксплуатационных затрат на их обслуживание, а также на обслуживание более сложной контактной сети. Применение системы тягового электроснабжения 2×25 кВ наиболее целесообразно на участках с грузонапряженным оборотом и высокоскоростным движением.

1.2.1. Система тягового электроснабжения постоянного тока

Система тягового электроснабжения постоянного тока 3 кВ (рис. 1.9) получает питание по районным электрическим сетям 110, реже 220 кВ. Электроэнергия поступает на тяговую подстанцию на распределительное устройство РУ-110 (220) кВ, где понижается двухобмоточными трансформаторами Т до напряжения 10 кВ и передается на шины распределительного устройства РУ-10 кВ.

Для питания тяговой нагрузки к шинам РУ-10 кВ подключают трансформаторы выпрямительной установки, которые понижают напряжение до 3,3 кВ и передают его на шести- или двенадцатипульсовый выпрямитель, преобразующий переменный ток.

Распределительное устройство 3,3 кВ, получающее питание от выпрямительной установки, состоит из двух рабочих шин и одной запасной. От положительной шины запитывается контактная сеть перегонов и станций, а к отрицательной шине подключается отсывающий фидер, соединяющий рельсовую цепь с подстанцией.

Тяговая подстанция, кроме тяговой нагрузки, служит также промежуточным звеном в системе электроснабжения нетяговых потребителей. В частности, от шин РУ-10 кВ, помимо тяговой нагрузки,

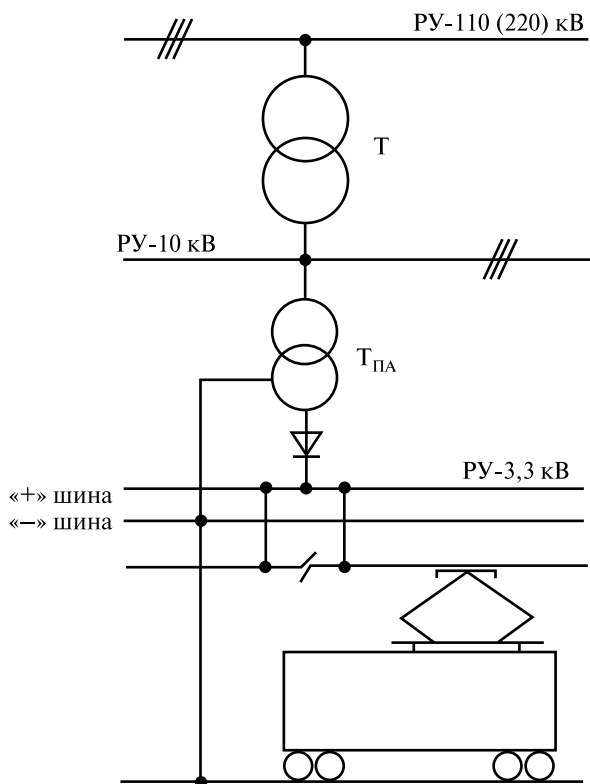


Рис. 1.9. Система тягового электроснабжения постоянного тока напряжением 3 кВ:

$T_{ПА}$ — трансформатор преобразовательного агрегата; T — тяговый трансформатор

получают питание нетяговые потребители, расположенные в непосредственной близости от подстанции. Как правило, это линейные предприятия железнодорожного транспорта, локомотиво- и вагоноремонтные заводы, а также предприятия, для которых получение электроэнергии от тяговых подстанций экономически более выгодно, чем от районных подстанций.

Линии продольного электроснабжения, также получающие питание от шин 10 кВ, обеспечивают электроэнергией удаленные нетяговые потребители, расположенные вдоль перегонов на расстоянии до 10 км от железной дороги. Электроснабжение таких объек-

тов осуществляется через комплектные трансформаторные подстанции, понижающие напряжение до 0,4 кВ и передающие электроэнергию потребителям по кабельным или воздушным линиям.

Кроме этого, тяговая подстанция выполняет комплекс мероприятий по обеспечению безопасности движения поездов, связанный с электроснабжением устройств СЦБ, которые представляют собой потребители первой категории. Для таких устройств предусмотрено обязательное резервирование питания, что достигается на перегонах следующим образом. Основное питание сигнальные точки автоблокировки и другие устройства СЦБ получают по воздушным линиям СЦБ, расположенным вдоль перегонов на отдельно стоящих опорах, находящихся на расстоянии 6—10 м от оси пути для уменьшения воздействия электромагнитного поля, создаваемого контактной сетью.

ВЛ СЦБ запитывается от шин 0,4 кВ и изолируется от системы внешнего электроснабжения трансформатором собственных нужд, который подключается к шинам 10 кВ и служит, помимо этого, для обеспечения потребностей подстанции в освещении, отоплении, а также для питания электроинструмента при ремонтных и профилактических работах. Резервирование питания устройств СЦБ осуществляется через линии продольного электроснабжения, к которым подключаются резервные трансформаторы СЦБ.

1.2.2. Система тягового электроснабжения переменного однофазного тока напряжением 25 кВ

Система тягового электроснабжения однофазного переменного тока напряжением 25 кВ (рис. 1.10) так же, как и система постоянного тока, чаще всего получает питание от трехфазных воздушных линий электропередачи напряжением 110, 220 кВ. Открытое распределительное устройство 110 (220) кВ передает электроэнергию на трехобмоточные трансформаторы, которые имеют две ступени трансформации: для питания нетяговых потребителей непосредственно от шин тяговой подстанции — 35 или 10 кВ и для питания тяговой нагрузки и вспомогательных устройств — 27,5 кВ.

Фидеры контактной сети получают питание от фаз *A* и *B* распределительного устройства 27,5 кВ, причем питание производится по разным плечам подстанции. Фаза *C* (на рисунке не показано) соединяется с рельсовой цепью отсасывающей линией и заземляется

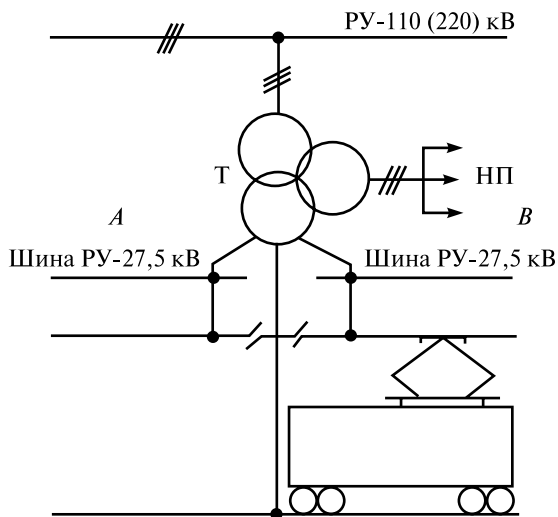


Рис. 1.10. Система тягового электроснабжения однофазного переменного тока напряжением 25 кВ:

Т — тяговый трансформатор; НП — нетяговые потребители

через контур заземления подстанции. Для предотвращения межфазного замыкания при смене фаз в контактной сети устанавливается нейтральная вставка.

Собственные нужды подстанции обеспечиваются через трансформатор собственных нужд, который также подключается к шинам РУ-27,5 кВ и понижает напряжение до 0,4 кВ.

Основное электроснабжение устройств СЦБ происходит аналогично питанию по системе постоянного тока — через повышающий трансформатор СЦБ электроэнергия поступает на ВЛ СЦБ, от которой запитываются линейные трансформаторы сигнальных точек автоблокировки.

Резервирование питания устройств СЦБ и питание удаленных нетяговых потребителей резко отличается от электроснабжения по системе постоянного тока. Это связано с тем, что продольное электроснабжение в данном случае выполняется по так называемой *системе ДПР* — «два провода—рельс». Два линейных провода этой системы получают питание от фаз А и В распределительного устройства 27,5 кВ подстанции, а в качестве третьей фазы используется рельс.

Резервные однофазные трансформаторы сигнальных точек автоблокировки в этом случае подключаются поочередно к одной из фаз и рельсу.

Отбор мощности для питания нетяговых потребителей выполняется с помощью комплектных трансформаторных подстанций, которые могут выполняться в трехфазном или однофазном исполнении.

1.2.3. Система тягового электроснабжения переменного однофазного тока напряжением 2×25 кВ

В настоящее время по системе однофазного переменного тока напряжением 2×25 кВ в России электрифицировано около тысячи километров Московской, Горьковской и Приволжской железных дорог. Система относится к трехпроводным системам электроснабжения, используемым также в Японии, США, Франции, Нидерландах, Бельгии и Китае для электроснабжения высокоскоростного подвижного состава.

Система передачи электроэнергии подвижному составу существенно отличается от используемой в системе 25 кВ. Это связано с тем, что контактная сеть не только подводит электроэнергию к электроподвижному составу, но и служит в качестве одного из проводов для питания автотрансформаторных пунктов.

Рассмотрим схему тягового электроснабжения переменного однофазного тока напряжением 2×25 кВ (рис. 1.11). Электроэнергия

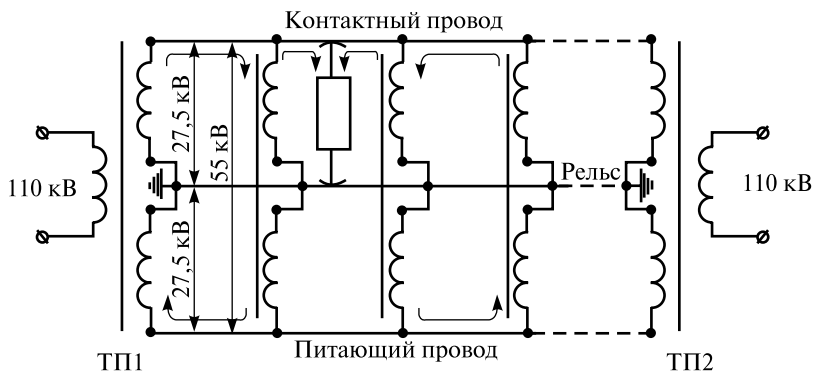


Рис. 1.11. Система тягового электроснабжения однофазного переменного тока напряжением 2×25 кВ:
ТП1, ТП2 — тяговые подстанции

поступает на распределительное устройство 110 кВ, от шин которого питаются однофазные тяговые трансформаторы с двумя вторичными обмотками напряжением 27,5 кВ. Обмотки имеют устройства регулировки под нагрузкой и включаются последовательно. Общий вывод обмоток соединяется с контуром заземления подстанции и с рельсами, а крайние выводы подключаются к двум шинам распределительного устройства 55 кВ (РУ-55 кВ). Таким образом, шины питающего провода оказываются по отношению к рельсам под напряжением 27,5 кВ, а между собой — под напряжением 55 кВ.

Для питания в обе стороны от подстанции двух тяговых плеч от разных воздушных линий устанавливают два однофазных трансформатора, соединенных в открытый треугольник. При этом РУ-55 кВ имеет две шины контактной сети и две шины питающего провода. Передача электроэнергии на таком напряжении позволяет получить значительное снижение потерь в контактной сети.

Еще одним существенным отличием от других систем является наличие на перегонах автотрансформаторных пунктов. Средняя точка автотрансформаторов, установленных на этих пунктах, соединена с рельсом и позволяет получить на электроподвижном составе номинальное напряжение 25 кВ. При движении состава по перегону автотрансформаторы по очереди принимают нагрузку на себя. Передача электроэнергии на удвоенном напряжении дает значительное снижение потерь электроэнергии и напряжения, что позволяет существенно увеличить расстояния между тяговыми подстанциями. Питающий провод выполняет в этой системе задачу возврата тягового тока на подстанцию. Противоположное направление тока в питающем проводе по сравнению с током в контактной подвеске обеспечивает снижение опасного и мешающего электромагнитного влияния системы 2×25 кВ на линии, проходящие вдоль железнодорожного пути.

От разных фаз шин РУ-55 кВ при напряжении относительно рельсов 27,5 кВ, помимо тяговой нагрузки, получают питание такие же нетяговые потребители, как и в других системах: устройства СЦБ, трансформаторы собственных нужд, удаленные потребители (по линии ДПР).

Принцип их электроснабжения принципиально не отличается от питания по системе 25 кВ.

1.2.4. Особенности системы тягового электроснабжения скоростного и высокоскоростного подвижного состава

Высокоскоростное движение, предназначенное для перевозки пассажиров и грузов со скоростями более 200 км/ч, предусматривает определенные требования как к внешнему, так и к тяговому электроснабжению.

На участках со скоростным и высокоскоростным движением система внешнего электроснабжения должна обеспечивать двухстороннее питание тяговых потребителей по высоковольтным линиям, подвешенным на отдельных опорах (использование двухцепных опор не допускается). При автоматической частотной разгрузке энергосистемы в случае ее перегрузки эти линии не должны отключаться. Кроме того, предъявляются повышенные требования к качеству электроэнергии, поступающей на тяговые подстанции.

Устройства системы тягового электроснабжения должны обеспечивать не только качество электроэнергии, подводимого к ЭПС, но и надежный токосъем на всех участках магистралей, позволяющий выдерживать заданные скорости и график движения поездов. Для повышения надежности питание контактной сети выполняется двухсторонним с параллельным соединением контактных подвесок главных путей через пункты параллельного соединения или посты секционирования.

Система тягового электроснабжения, кроме того, должна обеспечивать необходимый для нормальной работы тяговых двигателей уровень напряжения в контактной сети. Нормативы значений напряжения для различных систем тяги приведены в табл. П2.1 Приложения 2.

Выбор системы тягового электроснабжения скоростных и высокоскоростных магистралей зависит от целого ряда факторов. На вновь сооружаемых линиях предпочтение отдается системе переменного однофазного тока 2×25 кВ, позволяющей осуществлять высокоскоростные перевозки пассажиров на скорости до 350 км/ч и смешанные перевозки на скорости до 280 км/ч. На действующих электрифицированных линиях возможно сооружение скоростных магистралей со скоростями движения не выше 220 км/ч с сохранением системы тягового электроснабжения постоянного 3 кВ или пере-

менного однофазного тока 25 кВ после выполнения комплекса мероприятий по модернизации под скоростное движение. В качестве этих комплексов может быть перевод системы 25 кВ на систему 25 кВ с усиливающим и экранирующим проводами или на систему 2×25 кВ.

Окончательный выбор варианта электроснабжения производится на основе электрических и технико-экономических расчетов.

Глава 2. ТЯГОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ

2.1. Классификация тяговых подстанций

Основным элементом системы тягового электроснабжения является тяговая подстанция, которая представляет собой разновидность электрической трансформаторной подстанции и предназначена для получения, преобразования и передачи в контактную сеть, а также нетяговым потребителям электрической энергии.

Тяговые подстанции классифицируются по следующим основным признакам:

- по способу присоединения к системе внешнего электроснабжения;
- роду тока и системе тяги;
- способу обслуживания;
- способу управления;
- мобильности.

По способу присоединения к системе внешнего электроснабжения (рис. 2.1) тяговые подстанции подразделяются на опорные, промежуточные и конечные (тупиковые). Промежуточные в свою очередь делятся на проходные (транзитные) и ответвительные (отпаечные).

Опорные подстанции имеют не менее трех вводов и осуществляют основной транзит мощности от системы внешнего электроснабжения в тяговую сеть электрифицированного участка.

Проходные (транзитные) подстанции включаются в рассечку питающей линии, которая может располагаться как на одноцепных, так и на двухцепных опорах.

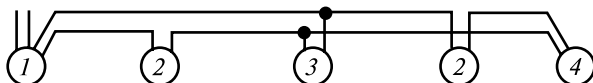


Рис. 2.1. Тяговые подстанции:

1 — опорная; 2 — транзитная; 3 — отпаечная; 4 — тупиковая

Ответительные (отпаечные) подстанции получают питание по двухцепной линии при помощи ответвлений (отпаек). При этом между двумя транзитными подстанциями может располагаться только одна отпаечная подстанция.

Концевые (тупиковые) подстанции питаются по двухцепным линиям от ближайшей тяговой или районной подстанции.

По *роду тока и системе тяги* тяговые подстанции делятся на подстанции постоянного тока, переменного тока системы 25 кВ, системы переменного тока 2×25 кВ и стыковые подстанции постоянно-переменного тока.

Подстанции постоянного тока в свою очередь классифицируются по типу установленных на них преобразователей и по количеству ступеней трансформации. По первому признаку их делят на выпрямительные и выпрямительно-инверторные, а по второму — на одноступенчатые с первичным напряжением 6, 10 или 35 кВ и двухступенчатые с первичным напряжением 110 и 220 кВ.

По *способу обслуживания* различают подстанции с постоянным дежурным персоналом, без дежурного персонала и подстанции с дежурством на дому.

Подстанции с постоянным дежурным персоналом находятся под наблюдением круглосуточно. Как правило, такой вид обслуживания применяется на крупных опорных подстанциях.

Подстанции без дежурного персонала обслуживаются централизованно с другими такими же подстанциями. В случае возникновения нештатных ситуаций их решением занимается оперативно-выездная бригада.

Подстанции с дежурством на дому отличаются от остальных тем, что дежурный персонал находится во время смены дома, где имеются энергодиспетчерская связь и сигнализация, которая срабатывает во время перегрузок или автоматического отключения оборудования. В этом случае дежурный персонал должен немедленно прибыть на подстанцию.

По *способу управления* подстанции бывают нетелеуправляемые и телеуправляемые.

Наличие *телеуправления* на подстанции позволяет контролировать и управлять ее работой дистанционно с диспетчерского пульта.

По *мобильности* подстанции делятся на стационарные и передвижные.

Стационарные тяговые подстанции представляют собой капитальные сооружения, устанавливаемые в определенных местах электрифицированных участков, в соответствии с технико-экономическими расчетами.

Передвижные тяговые подстанции предназначены для питания тяговой сети в случае выхода из строя стационарных подстанций, при необходимости произвести на них работы по реконструкции, а также при увеличении тяговой нагрузки в периоды пиков перевозок. Кроме того, передвижные подстанции целесообразно устанавливать при нерентабельности строительства стационарных тяговых подстанций. Как правило, такие подстанции эксплуатируются без постоянного дежурного персонала.

2.2. Распределительные устройства тяговых подстанций

Любая электрическая подстанция состоит из распределительных устройств различного напряжения.

Распределительное устройство — это электроустановка, предназначенная для приема, распределения или передачи электроэнергии одного напряжения.

Распределительные устройства классифицируются по месту расположения, наличию и виду секционирования, по числу систем сборных шин.

По *месту расположения* различают открытые, закрытые и комплектные распределительные устройства.

Открытое распределительное устройство имеет оборудование, размещенное вне помещений на открытом воздухе. Как правило, открытыми выполняются все вводные распределительные устройства подстанций, а также распределительные устройства на напряжение выше 27,5 кВ.

Закрытые распределительные устройства располагаются в зданиях и закрытых помещениях.

Оборудование *комплектных распределительных устройств* защищено от воздействия окружающей среды и поставляется комплектно, типовыми унифицированными блоками, готовыми к использованию.

По *наличию и виду секционирования* распределительные устройства делятся на устройства без секционирования с одной секцией

шин, с двумя и более секциями, а также с двумя секциями и обходной системой шин.

По числу систем сборных шин распределительные устройства бывают с одной и с двумя системами.

2.2.1. Распределительное устройство 110 (220) кВ

Распределительное устройство 110 (220) кВ состоит из двух рабочих секций шин и одной обходной (рис. 2.2). Первая секция шин получает питание по высоковольтному воздушному вводу от линии электропередачи 110 (220) кВ. Основным элементом ввода является высоковольтный выключатель Q, который снабжается с двух сторон разъединителями QS с заземляющими ножами для создания видимого разрыва цепи и обеспечения безопасности персонала при выполнении ремонтных и профилактических работ. Трансформаторы тока ТА, к которым подключается аппаратура для контроля за токами короткого замыкания и отключения выключателя при аварийных ситуациях, чаще всего выполняют встроенными в выключатель. Аналогично получает питание вторая секция шин.

Между собой секции соединены секционным выключателем, что позволяет выводить выключатель ввода в ремонт, не прекращая питания самой секции. Секционный выключатель также снабжается разъединителями и трансформаторами тока.

Питание через обходную секцию шин также применяется при ремонтных и профилактических работах.

От первой и второй секций шин получают питание тяговые трансформаторы (при системе электроснабжения 25 кВ) или понижающие трансформаторы преобразовательных агрегатов (при системе постоянного тока 3 кВ). К ним также подключаются измерительные трансформаторы напряжения TV.

Все трансформаторы защищаются от атмосферных и коммутационных перенапряжений с помощью разрядников или ограничителей перенапряжения FV, а также от токов короткого замыкания с помощью релейной защиты, которая питается от вторичных цепей трансформаторов тока ТА.

2.2.2. Распределительное устройство 35 (10) кВ

Распределительное устройство 35 кВ используется на тяговых подстанциях переменного тока, осуществляющих питание электроподвижного состава по системе 25 кВ. В некоторых случаях вместо

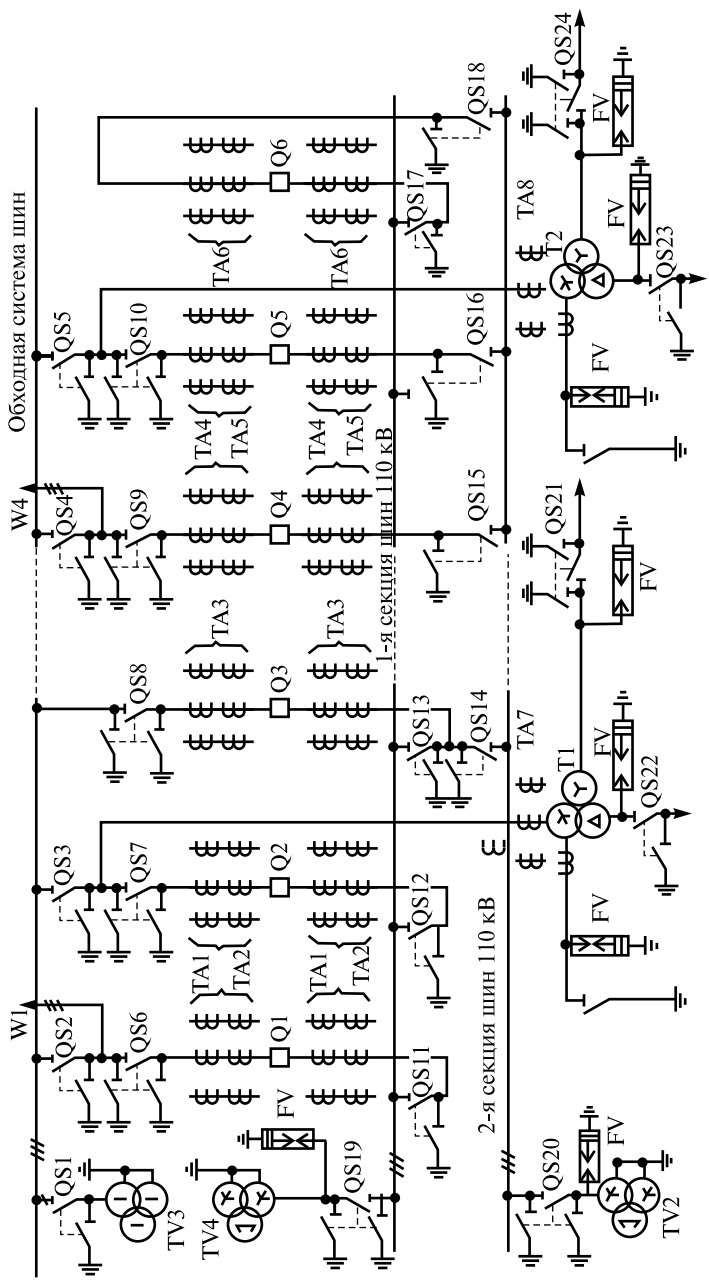


Рис. 2.2. Распределительное устройство РУ-110 кВ:
 Т1, Т2 — понижающие трансформаторы; W1, W4 — вводы

РУ-35 кВ сооружается РУ-10 кВ того же назначения. Шины РУ-35 (10) кВ получают электроэнергию от обмоток среднего напряжения тяговых трансформаторов и питают, как правило, нетяговые потребители, находящиеся в непосредственной близости от подстанции.

Распределительное устройство 10 кВ, применяемое на подстанциях постоянного тока, помимо питания нетяговых потребителей, расположенных рядом с подстанцией, служит также для питания линий продольного электроснабжения и системы собственных нужд подстанции. Конструктивно РУ-10 кВ представляет собой две секции шин, получающих питание от понижающих трансформаторов РУ-110 (220) кВ (см. рис. 2.4). К каждой секции подключается преобразовательный агрегат, состоящий из трансформатора и выпрямительной установки, линия продольного электроснабжения ВЛ ПЭ и трансформаторы собственных нужд. Кроме этого, для обеспечения электроэнергией устройств защиты и автоматики предусмотрено присоединение к шинам РУ-10 кВ трансформаторов напряжения, снабженных разрядниками или ОПН и предохранителями. Защита от токов короткого замыкания осуществляется аппаратурой, подключенной к трансформаторам тока, устанавливаемых вместе с выключателями.

2.2.3. Распределительное устройство 27,5 кВ

Распределительное устройство 27,5 кВ (рис. 2.3) является основным устройством тяговой подстанции переменного тока, осуществляющей электроснабжение подвижного состава по системе 25 кВ. Для обеспечения заданного напряжения в контактной сети напряжение на шинах подстанции предусматривается на 10 % выше номинального, т.е. 27,5 кВ.

Две фазы распределительного устройства (*А* и *В*) секционируются, а третья (*С*) не секционируется и соединяется с контуром заземления подстанции и отсасывающим фидером.

Секции получают питание от тяговых трансформаторов РУ-110 кВ через высоковольтные выключатели, снабженные трансформаторами тока и разъединителями с заземляющими ножами. Кроме того, к секциям подключаются трансформаторы напряжения. Каждая секция обеспечивает электроснабжение фидеров контактной сети, при этом соблюдается очередность подключения фаз: например, первая секция шин обеспечивает электроснабжение от фазы *А*

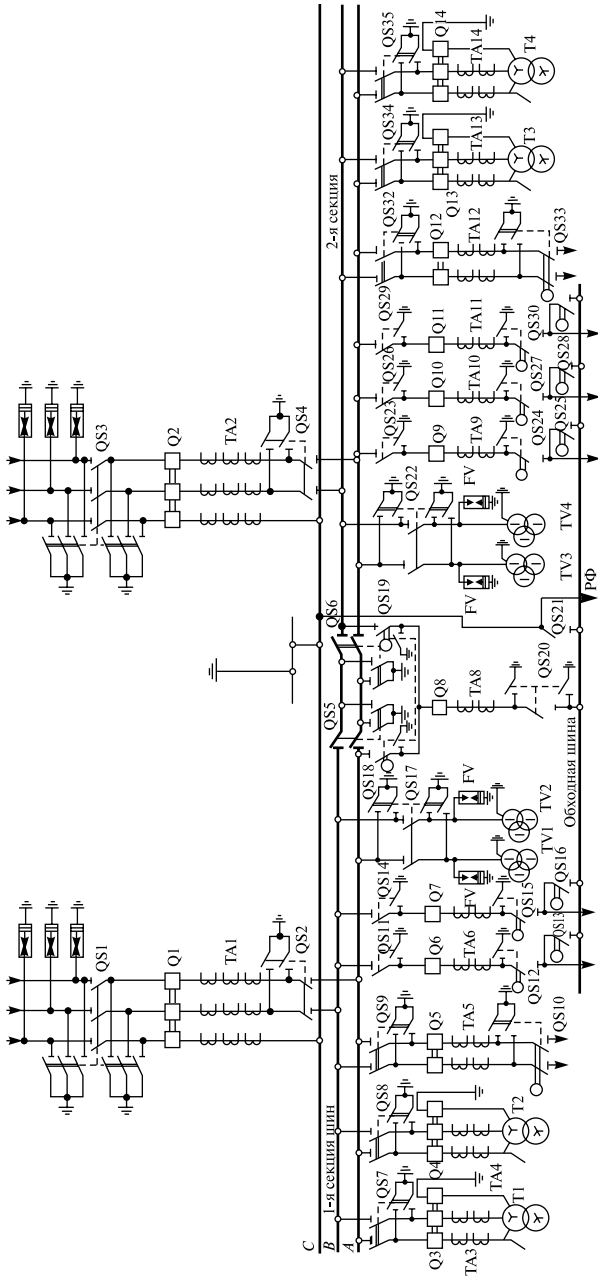


Рис. 2.3. Распределительное устройство РУ-27,5 кВ:
РФ — рельсовый фидер

(питает левое плечо подстанции), а вторая – от фазы *B* (питает правое плечо подстанции).

Как уже говорилось выше, от шин 27,5 кВ также запитываются трансформаторы собственных нужд подстанции и линии продольного электроснабжения, выполненные по системе «два провода—рельс».

Кроме рабочих шин, в распределительном устройстве 27,5 кВ имеется запасная шина, которая может получать питание через запасной выключатель 27,5 кВ либо от фазы *A*, либо от фазы *B*. Запасная шина предназначена для бесперебойного электроснабжения фидеров контактной сети. Предусмотрена также возможность снабжения электроэнергией одной из секций от другой при необходимости проведения работ на одном из вводов распределительного устройства.

2.2.4. Распределительное устройство 3,3 кВ

Распределительное устройство постоянного тока 3,3 кВ (рис. 2.4) выполняется с двумя основными шинами – рабочей, имеющей положительную полярность, и минусовой шиной, а также с запасной плюсовой шиной. При этом минусовая шина не секционируется, а рабочая и запасная состоят из трех секций. Первая и третья секции, напряжение на которые подается от преобразовательных агрегатов, предназначены для питания фидеров контактной сети, ко второй подключаются разрядник для ограничения волны коммутационных перенапряжений, сглаживающее устройство, уменьшающее пульсации выпрямленного тока, и запасной выключатель, в ячейку которого устанавливается разъединитель для плавки гололеда.

К минусовой шине подключается рельсовый отсасывающий фидер, который соединен с тяговым рельсом и предназначен для возвращения тягового тока на подстанцию.

Фидеры контактной сети получают питание через быстродействующие выключатели постоянного тока QF и разъединители QS: шинные, линейные и фидерные. Для вывода в ремонт выключателей предусмотрено наличие обходных разъединителей, напряжение на которые поступает через запасную шину. Каждый фидер контактной сети снабжается вентильным разрядником для ограничения волн атмосферных перенапряжений и дублируется роговым разрядником с плавкой вставкой.

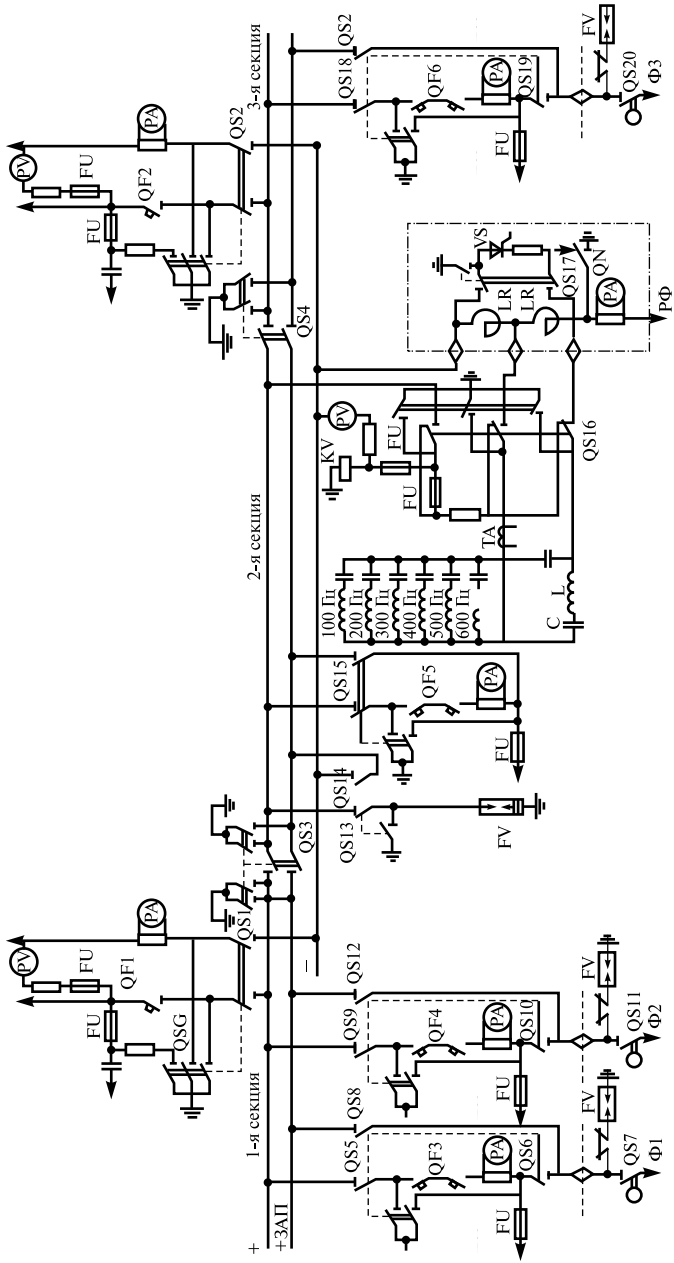


Рис. 2.4. Распределительное устройство РУ-3,3 кВ:

PV, PA — аппараты релейной защиты; FU — предохранители; QSG — разъединитель с заземляющими ножами; KV — контактное реле напряжения; TA — трансформатор тока; VS — тиристор; LR — реактор; L — индуктивность; C — емкость контура постоянного тока; Ф1—Ф3 — фидеры контактной сети; QF1, QF2, QF5, QF6 — быстродействующие выключатели

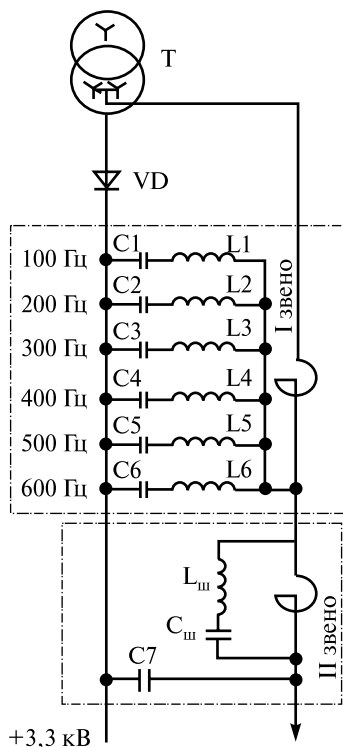


Рис. 2.5. Сглаживающее устройство РУ-3,3 кВ:
Т — трансформатор; VD — выпрямительная установка; L1—L6 — индуктивность; C1—C7 — емкости; L_ш и C_ш — индуктивность и емкость шунта

Сглаживающее устройство, подключаемое ко второй секции шин, существенно снижает по величине токи высших гармоник, возникающих в процессе выпрямления переменного тока. Конструктивно сглаживающее устройство представляет собой частотный фильтр, настроенный в резонанс на мешающие частоты, и токоограничительный реактор, уменьшающий токи гармоник, протекающих через фильтр, подключенный параллельно к контактной сети и рельсам (рис. 2.5). Для защиты сглаживающего устройства от токов короткого замыкания применяются предохранители, а для контроля его работы — токовое реле, включаемое во вторичную обмотку трансформатора тока.

Для предотвращения обрыва проводов и улучшения качества токосъема в зимнее время при появлении гололедных образований применяют профилактический прогрев проводов контактной сети, а также плавку гололеда. Для этого на подстанции включается разъединитель плавки гололеда, который создает в цепи кратковременное короткое замыкание, сопровождающееся повышением температуры в контактной подвеске.

2.2.5. Распределительное устройство 55 кВ

Распределительное устройство переменного тока 55 кВ выполняется с одинарной секционированной двумя парами разъединителей системой сборных шин. Две секции, каждая из которых содержит шины для питания контактных и питающих проводов, получают питание от рабочих трансформаторов Т1 и Т3. Резервирование

осуществляется с помощью промежуточных шин, на которое подается питание от резервного трансформатора Т2.

Питание тяги выполняется с помощью фидеров через соответствующие выключатели и разъединители. При необходимости питание может также производиться через обходные разъединители от запасной шины.

Для вывода в ремонт фидерных выключателей предусмотрена установка запасных выключателей, которые позволяют производить его без перерыва в тяговом электроснабжении.

От шин распределительного устройства получают питание линии ДПР, трансформаторы собственных нужд, также к ним подключаются трансформаторы напряжения и разрядники.

2.3. Оборудование тяговых подстанций

2.3.1. Трансформаторы

Трансформатор — электромагнитное устройство, которое имеет две или больше индуктивно связанных обмоток и предназначенное для преобразования с помощью электромагнитной индукции системы переменного тока одного напряжения (тока) в систему переменного тока другого напряжения (тока).

Трансформаторы в основном классифицируются по следующим признакам:

- по назначению;
- виду охлаждения;
- числу фаз;
- числу обмоток;
- виду преобразования.

По *назначению* трансформаторы подразделяются на силовые общего назначения и трансформаторы специального назначения.

Силовые трансформаторы предназначены для преобразования системы переменного напряжения и тока в другую систему переменного напряжения и тока, как правило, различных значений, при той же частоте для ее передачи без изменения передаваемой мощности.

К *трансформаторам специального назначения* относятся измерительные, преобразовательные, сварочные и печные трансформаторы и другие.

Измерительные трансформаторы предназначены для питания цепей управления и защиты.

Преобразовательные трансформаторы служат для питания выпрямительных преобразовательных установок.

Все остальные трансформаторы служат для различных технологических целей (сварки, питания электротермических установок и т.п.).

По *виду охлаждения* трансформаторы делятся на масляные и сухие.

В *масляных* трансформаторах в качестве изолирующей и охлаждающей среды используется трансформаторное масло.

В *сухих* трансформаторах применяют воздушное охлаждение атмосферным воздухом.

По *числу преобразуемых фаз* трансформаторы бывают *однофазными* и *трехфазными*.

По *числу обмоток* — двухобмоточными, трехобмоточными или многообмоточными.

В *двухобмоточных* трансформаторах существует только преобразование ВН-НН (высокое напряжение — низкое напряжение), в *трехобмоточных* — ВН-СН-НН (высокое напряжение — среднее напряжение — низкое напряжение). В *многообмоточных* возможно наличие двух обмоток среднего или низкого напряжения.

По *виду преобразования* трансформаторы делятся на *повышающие* и *понижающие*.

На тяговых подстанциях переменного тока устанавливаются следующие трансформаторы:

- тяговые трансформаторы;
- трансформаторы собственных нужд;
- трансформаторы устройств СЦБ;
- измерительные трансформаторы.

В качестве *тягового трансформатора* на стационарных подстанциях системы тягового электроснабжения однофазного переменного тока 25 кВ чаще всего используется понижающий трехфазный трехобмоточный трансформатор со ступенями трансформации 110(220)/35(10)/25 кВ типа ТДТНЖ (трехфазный, с дутьем, трехобмоточный, с регулировкой напряжения под нагрузкой, для железнодорожного транспорта). Параметры трехфазных трансформаторов для тяговых подстанций переменного тока приведены в табл. П2.2 Приложения 2.

При питании по системе 2×25 кВ применяют понижающие однофазные трансформаторы с расщепленной обмоткой низкого напряжения 110(220)/25-25 кВ типа ОРДНЖ (однофазный, с расщепленной вторичной обмоткой, с дутьем, с наличием регулировки напряжения под нагрузкой, для железнодорожного транспорта), параметры которого приведены в Приложении 2 (табл. П2.3).

Трансформаторы собственных нужд на тяговых подстанциях переменного тока получают питание от шин РУ-27,5 кВ. Как правило, применяются масляные трансформаторы типа ТМ с напряжением первичной обмотки 27,5 кВ (табл. П2.4).

На тяговых подстанциях постоянного тока устанавливаются следующие виды трансформаторов:

- понижающие трансформаторы;
- трансформаторы преобразовательных агрегатов;
- трансформаторы собственных нужд;
- трансформаторы СЦБ;
- измерительные трансформаторы.

Понижающие трансформаторы тяговых подстанций постоянного тока представляют собой трехфазные двухобмоточные трансформаторы с одной ступенью трансформации 110 (220)/10 кВ и предназначены для питания сборных шин РУ-10 кВ. Они выбираются из числа трансформаторов общего назначения по рассчитанной мощности подстанции. Как правило, это трансформаторы типа ТДН (двухобмоточный, с дутьем, с возможностью регулировки напряжения под нагрузкой).

Выбор *преобразовательных трансформаторов*, предназначенных для питания выпрямительно-инверторных установок, зависит от схемы выпрямления, применяемой на подстанции. При выпрямлении по мостовой шестипульсовой схеме применяют трансформаторы типа ТМП (трехфазный, масляный, для полупроводниковых выпрямителей), по двенадцатипульсовой схеме — трансформаторы типа ТРМП (трехфазный, с расщепленной вторичной обмоткой, масляный, для полупроводниковых выпрямителей), ТРДП (трехфазный, с расщепленной вторичной обмоткой, с дутьевым охлаждением, для полупроводниковых выпрямителей) соответствующей мощности. Характеристики трансформаторов приведены в Приложении 2 (табл. П2.5).

Трансформаторы собственных нужд, применяемые на тяговых подстанциях постоянного тока, получают питание от шин РУ-10 кВ и представляют собой понижающие двухобмоточные трансформаторы общего назначения с напряжением вторичной обмотки 0,4 кВ.

Трансформаторы СЦБ, предназначенные для питания линий сигнализации, централизации, блокировки и линий связи, представляют собой повышающие двухобмоточные трехфазные трансформаторы общего назначения с одной ступенью трансформации 0,4/10(6) кВ.

Принцип действия и типы используемых на тяговых подстанциях *измерительных трансформаторов* подробно рассмотрены в соответствующем параграфе данной главы.

2.3.2. Высоковольтные выключатели переменного тока

Высоковольтный выключатель — это коммутационный аппарат, предназначенный для произведения оперативных включений и отключений электрических аппаратов и электрооборудования в электрических сетях в нормальном и аварийном режимах работы. Высоковольтные выключатели являются основными коммутационными аппаратами, поэтому к ним предъявляются достаточно высокие требования:

- безопасность для обслуживающего персонала;
- надежность и безотказность;
- быстродействие (время срабатывания должно определяться сотыми долями секунды);
- простота конструкции и монтажа;
- высокая ремонтпригодность.

Кроме того, выключатели должны многократно выполнять коммутационные операции и выдерживать кратковременные динамические и термические воздействия.

Основными элементами любого высоковольтного выключателя являются контактная система с токоведущими частями, устройство для гашения дуги, привод и изоляционная конструкция.

Главным классификационным признаком высоковольтных выключателей является среда гашения дуги, возникающей при расхождении контактов и представляющей опасность как для персонала, так и для оборудования. По этому признаку выключатели делятся на воздушные, масляные, элегазовые и вакуумные. Как известно,

электрическую дугу можно погасить с помощью ее удлинения, охлаждения, дробления и деионизации. В современных высоковольтных выключателях чаще всего используют комбинированное гашение дуги, сочетая два или несколько способов, что позволяет ускорить этот процесс.

В *воздушных* выключателях сжатый воздух (от 4 до 60 атм) используется как для гашения дуги, так и для управления выключателем. Поток сжатого воздуха, направленный на контакты, вызывает удлинение и интенсивный теплообмен, в результате чего дуга растягивается, охлаждается и электрическая прочность промежутка достаточно быстро восстанавливается. Электропневматические приводы воздушных выключателей, также управляемые сжатым воздухом, позволяют выполнять включение, отключение, управление тягами и другие механические операции. Конструктивные элементы воздушных выключателей могут отличаться друг от друга, но все они имеют дугогасительные устройства, устройства для создания промежутка при размыкании контактов, изоляционные элементы, компрессоры и резервуары для сжатого воздуха (рис. 2.6). Дугогасительные устройства воздушных выключателей могут быть выполнены с одним или несколькими разрывами цепи, с продольным или поперечным дутьем (рис. 2.7). Все они имеют главные и дугогаси-

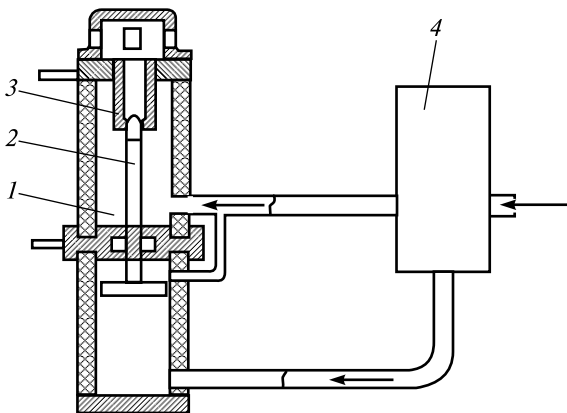


Рис. 2.6. Принципиальная схема воздушного выключателя:
1 — дугогасительная камера; 2 — подвижный контакт; 3 — неподвижный контакт; 4 — резервуар сжатого воздуха

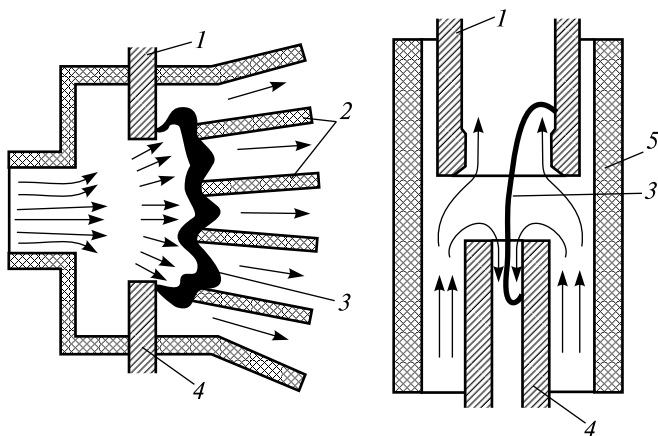


Рис. 2.7. Дугогасительная камера воздушного выключателя:
 1, 4 — контакты; 2 — перегородки дугогасительной камеры; 3 — электрическая дуга; 5 — корпус дугогасительного устройства

тельные контакты. Первыми отключаются главные контакты, после чего размыкаются дугогасительные контакты в камере, где и гасится дуга. Так как после гашения давление в дугогасительной камере приблизится к атмосферному, изоляционная прочность промежутка снизится и дуга может загореться вновь, на многих выключателях последовательно с контактами устанавливаются отделители, обеспечивающие надежное электрическое разделение токоведущих частей.

Основными достоинствами воздушных выключателей являются их пожаро- и взрывобезопасность, легкий доступ к контактной системе, быстродействие, возможность быстрого срабатывания системы АПВ. Однако на железнодорожном транспорте их применение ограничено эксплуатируемыми выключателями, а при реконструкции и проектировании предпочтение отдается элегазовым выключателям. Это связано с такими существенными недостатками воздушных выключателей, как необходимость в установке компрессорной станции, высокая стоимость и сложность конструкции некоторых узлов.

Масляные выключатели используют в качестве среды для гашения дуги трансформаторное масло, обладающее хорошими электроизоляционными характеристиками и высокой теплоемкостью. Процесс

гашения дуги в масле, сопровождающийся высокой температурой, приводит к закипанию масла и переходу его в газообразное состояние. Вокруг створа дуги образуется так называемый «газовый пузырь», в основном состоящий из водорода, который не только не поддерживает горения, но и имеет высокий коэффициент теплопроводности. Использование интенсивного дутья (рис. 2.8) и повышение давления в «пузыре» до 8—10 МПа позволяет погасить дугу в очень короткий промежуток времени.

Масляные выключатели, в которых масло используется только для гашения дуги и изоляции одного полюса называются маломасляными или малообъемными. Выключатели, в которых масло, кроме дугогашения, изолирует токоведущие части от заземленного бака, называются баковыми или многообъемными.

Маломасляные (малообъемные) выключатели выполняются, как правило, трехполюсными с общим приводом (рис. 2.9).

Каждый полюс представляет собой фарфоровый цилиндр, служащий изоляционной конструкцией, внутри которого находятся

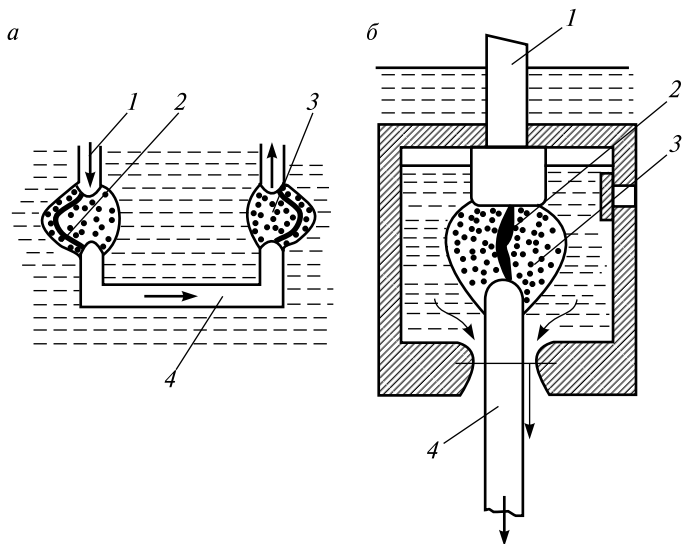


Рис. 2.8. Образование «газового пузыря»:

a — в открытом пространстве бака; *б* — в дугогасительной камере: 1 — неподвижный контакт; 2 — электрическая дуга; 3 — «газовый пузырь»; 4 — подвижный контакт

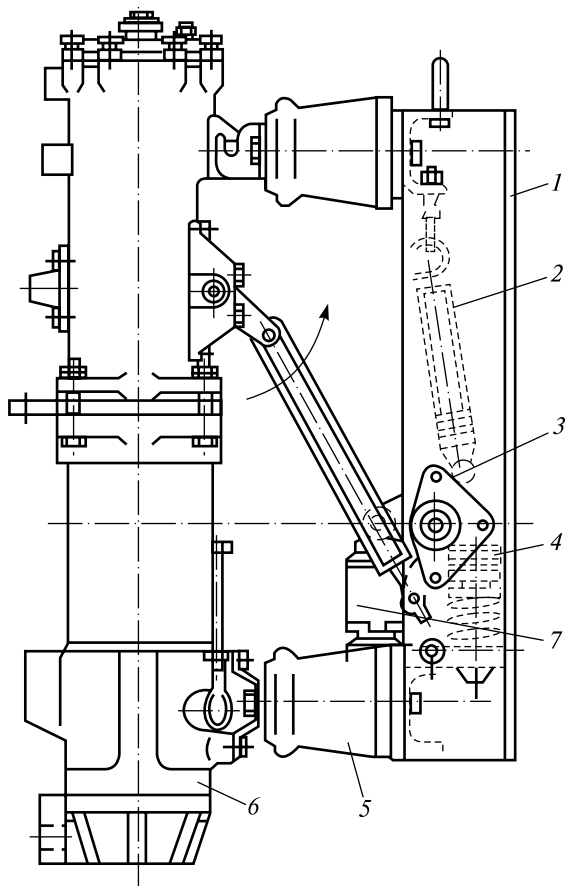


Рис. 2.9. Маломаляный выключатель ВМП-10:

1 — стальная рама; 2 — отключающая пружина; 3 — рычаг; 4 — пружинный демпфер; 5 — опорный изолятор; 6 — полюс выключателя; 7 — масляный демпфер

подвижный и неподвижный контакты, расположенные внутри дугогасительной камеры. При необходимости отключения больших токов предусматривается наличие двух разрывов (рис. 2.10). Дугогасительная камера маломаляного выключателя имеет специальные устройства поперечного дугтя, что обеспечивает быстрое гашение дуги.

Баквые (многообъемные) выключатели представляют собой стальной бак с масломполненными вводами, внутри которого находит-

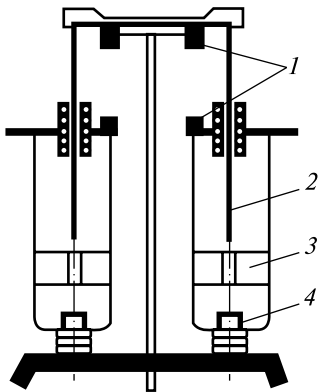


Рис. 2.10. Схема малома­сло­но­го выключателя с двумя разрывами цепи:
1 — рабочие контакты; 2 — подвижный контакт; 3 — ду­го­гасительная камера; 4 — неподвижный контакт

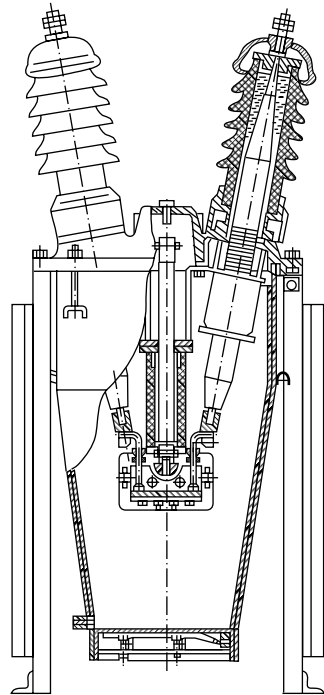


Рис. 2.11. Многообъемный масляный выключатель С-35

ся дугогасительное устройство с двумя парами контактов. Масло в них служит не только средой для гашения дуги, но и эффективно изолирует части, находящиеся под напряжением, от бака. В выключателях на напряжение 6 (10) кВ (рис. 2.11) применяется простейшая схема дугогашения с двумя разрывами цепи без специальных дугогасительных устройств.

При срабатывании привода, преобразующего вращательное движение вала в поступательное движение подвижных медных торцевых контактов, образуется двойная дуга, которая гасится в основном за счет автодутья, создаваемого газами при разложении масла.

В выключателях на напряжение 35, 110 кВ и выше каждая фаза выключателя находится в отдельном баке, при этом все три полюса и привод монтируются на одном каркасе (рис. 2.12). Выключатели этого типа оборудуются двумя специальными дугогасительными

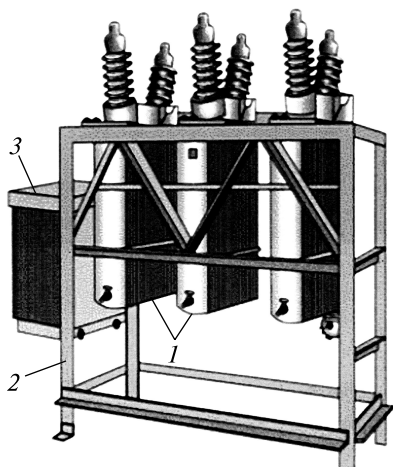


Рис. 2.12. Многообъемный масляный выключатель МКП-35:
1 — бак; 2 — рама; 3 — привод

камерами. При отрыве подвижных контактов от неподвижных между ними возникает электрическая дуга, которая разлагает и испаряет масло, создавая в верхней части камеры повышенное давление. По мере движения контактов вниз они открывают поперечные каналы, которые создают интенсивное дутье, за счет которого дуга зигзагообразно удлиняется, активно деионизируется и в конечном итоге гаснет.

Масляные выключатели — это одни из самых первых высоковольтных выключателей в нашей стране. Большой опыт их эксплуатации, высокая надежность, невысокая стоимость трансформа-

торного масла являются, безусловно, одними из главных достоинств этих выключателей. Однако они обладают и значительными недостатками, такими как повышенная взрыво- и пожароопасность, необходимость очистки и доливки масла, особенно в малообъемных выключателях, большие габариты у баковых выключателей, сложности обслуживания при дальнейшем повышении класса напряжения. Все эти недостатки привели к тому, что в настоящее время специалистами эксплуатации электроподвижного состава предпочтение отдается современным элегазовым и вакуумным выключателям. Эти выключатели перспективны для ЭПС переменного тока.

Элегазовые выключатели (рис. 2.13) используют в качестве среды для гашения дуги элегаз (сокращенное название электрического газа, предложенное в 1947 г. советским физиком Б. Гохбергом), представляющий собой химическое соединение — гексафторид серы, часто называемый шестифтористой серой. Это вещество было выбрано из ряда подобных за свою способность «захватывать» и удерживать в почти неподвижном состоянии электроны. Благодаря этой особенности создаются тяжелые, медленно разгоняющиеся в элект-

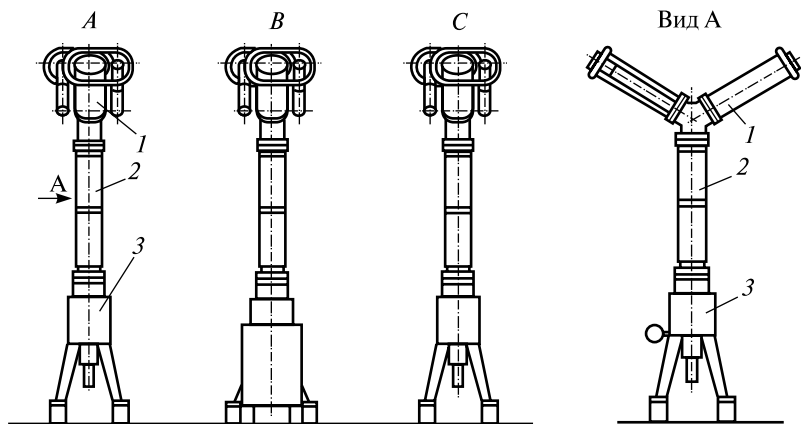


Рис. 2.13. Элегазовый выключатель ВГУ-220:

1 — дугогасительное устройство; 2 — опорные колонки; 3 — шкаф управления; А, В, С — фазы

трическом поле отрицательные ионы. Кроме того, элегаз обладает высокой теплоемкостью, а значит, способностью эффективно охлаждать образующуюся дугу. Применение элегаза не наносит ущерба окружающей среде, так как он нетоксичен. Кроме того, элегаз, представляющий собой инертный газ, не вступает в соединение с кислородом и водородом, а также негорюч. Основным недостатком элегаза является его переход в жидкое состояние уже при нулевой температуре и давлении в 1,25 МПа. Для устранения этого недостатка приходится применять подогрев и создавать низкое давление в камере выключателя. С этим же связано и применение принудительного продольного автоматического дутья.

Дугогасительная камера элегазового выключателя состоит из неподвижного контакта и поршня, а также из подвижного контакта, перемещающегося вместе со специальным соплом и цилиндром. При этом элегаз, находящийся между перегородкой и неподвижным поршнем, сжимается и через специальные отверстия под давлением устремляется, проходя через сопло, вдоль дуги, активно охлаждая ее и деионизируя.

В вакуумных выключателях, пришедших на смену масляным и воздушным, используется принцип гашения дуги, основанный на том, что в высоком (глубоком) вакууме длина свободного пробега

частиц составляет несколько сот метров, что во много раз превышает расстояние между контактами. Образование заряженных частиц при соударении, так называемая ударная ионизация, в вакууме тоже практически невозможна. Следовательно, практически нет условий для горения дуги после перехода тока через нулевое значение.

Конструктивно вакуумный выключатель представляет собой конструкцию из трех дугогасительных камер (рис. 2.14), каждая из которых состоит из стеклокерамического несущего цилиндра, двух

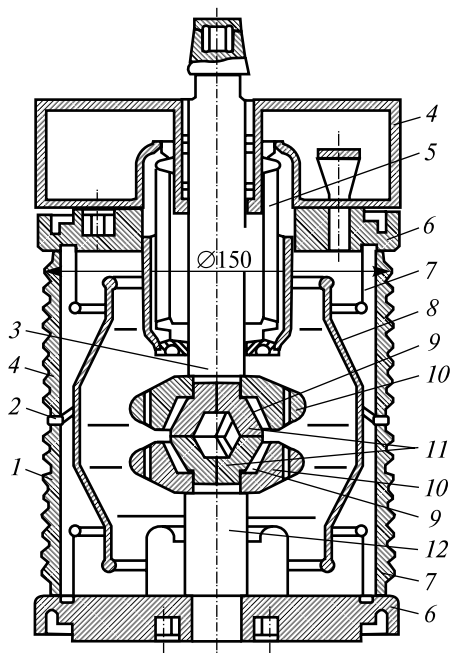


Рис. 2.14. Дугогасительная камера вакуумного выключателя:

1 — стеклокерамическая оболочка; 2 — металлическая прокладка; 3 — подвижный стержень; 4 — направляющая; 5 — сильфон; 6 — фланец; 7, 8 — экраны; 9 — зазор между контактами и дугогасящими электродами; 10 — дугогасящие электроды; 11 — контакты; 12 — неподвижный стержень

торцевых стальных фланцев, верхнего неподвижного и нижнего подвижного контакта, выполненных из меди с нанесением на соприкасающиеся части покрытия из дугостойких металлов — молибдена, сурьмы, сплавов меди с висмутом, железом или специальной металлокерамики. Такое покрытие препятствует свариванию контактов, повышает их долговечность.

Основными достоинствами вакуумных выключателей являются быстродействие (время срабатывания 25—40 мс), высокая надежность, полная взрыво- и пожаробезопасность, низкие эксплуатационные затраты, износостойкость и бесшумность, а также экологичность. Основным недостатком является его высокая стоимость и сложность производства вакуумных камер, а также возможность появления коммутационных перенапряжений при отключении небольших индуктивных токов нагрузки.

В настоящее время наиболее востребованы вакуумные выключатели Тавридаэлектро (TEL), которые в настоящее время заменяют на подстанциях масляные выключатели. Применение ВВ/TEL позволяет полностью отказаться от затрат на обслуживание выключателя, так как на протяжении всего срока службы не требуется проведения средних и капитальных ремонтов. Блоки управления БУ/TEL позволяют существенно сократить энергопотребление по цепи оперативного питания, так как практически не потребляют мощности из сети при включении и полностью не потребляют ее при отключении выключателя, обеспечивая при этом стабильно минимальное время на коммутационную операцию, а также передачу информации в схему релейной защиты и автоматики. Даже в отсутствии оперативного питания блоки управления серии TEL сохраняют возможность оперативного отключения выключателя ВВ/TEL или его включения с использованием блока механического включения БМВ/TEL.

2.3.3. Высоковольтные выключатели постоянного тока

В тяговых сетях постоянного тока появление тока короткого замыкания, достигающего порядка 30—40 кА, может привести к серьезным повреждениям из-за термического и динамического воздействия тока. В таких сетях отключение оборудования должно происходить раньше, чем ток короткого замыкания (к.з.) достигнет своего максимального значения. Для этого применяются быстродействующие выключатели, которые выполняются автоматическими для ускорения срабатывания.

Быстродействующие автоматические выключатели, предназначенные для отключения цепей постоянного тока, находящихся под нагрузкой, являются одновременно не только коммутационными, но и защитными аппаратами.

Быстродействующие выключатели принято классифицировать:

- по принципу действия отключающего механизма (с пружинным отключением и с магнито-пружинным отключением);
- реакции на направление тока в цепи (поляризованные и неполяризованные).

В выключателях с *пружинным* отключением коммутация происходит за счет усилий, которые развивают мощные отключающие пружины.

Выключатели с *магнито-пружинным* отключением используют не только механическую энергию отключающих пружин, но и электромагнитные силы специальных устройств.

В *поляризованных* выключателях отключение происходит только при определенном направлении тока, проходящего через выключатель.

В *неполяризованных* выключателях сигналом на отключение является только величина тока, срабатывание не зависит от направления тока в цепи.

Конструктивно быстродействующие выключатели состоят из контактной системы, привода и дугогасительного устройства.

Длительное время на отечественных тяговых подстанциях применялись быстродействующие выключатели АБ-2/4, ВАБ-28, ВАБ-43. В настоящее время некоторые типы выключателей сняты с производства, однако продолжают находиться в эксплуатации. Одновременно с этим вводится новый тип выключателей ВАБ-49.

Полус выключателя ВАБ-49 (рис. 2.15) состоит из контактного блока выключателя и электромагнитного привода.

Контактный блок выключателя включает в себя смонтированный на панели 9 узел неподвижного контакта 10 и узел подвижного контакта 8, закрепленный на скобе 22. Узлы неподвижного и подвижного контактов изолированы друг от друга изолятором 7.

Неподвижный контакт 10 соединен с катушками магнитного дугтя 11, закрепленными на магнитопроводе 12 и снабженного дугогасительным рогом 15. В узел также входит подшипник 13, предназначенный для установки дугогасительной камеры.

Главный подвижный контакт 8 крепится через ось 4 на скобе 22 и соединен с контактной шиной 5 гибкими связями 6. Контакт снабжен дугогасительным рогом 18, который закреплен на скобах 19 и 22, и специальным дугогасительным контактом 16 с пружиной 27 дожатия. Для соединения контактного блока с дугогасительной камерой используются гибкие связи 14 и 20.

Электромагнитный привод выключателя ВАБ-49 выполняется с удерживающим электромагнитом при включенном состоянии.

Привод состоит из электромагнита, который представляет собой катушку 43, расположенную на среднем стержне магнитопровода 44, к которому крепятся якорь 45 и якорь 36 механизма свободного расцепления. Промежуточный трехплечный рычаг 41 установлен на

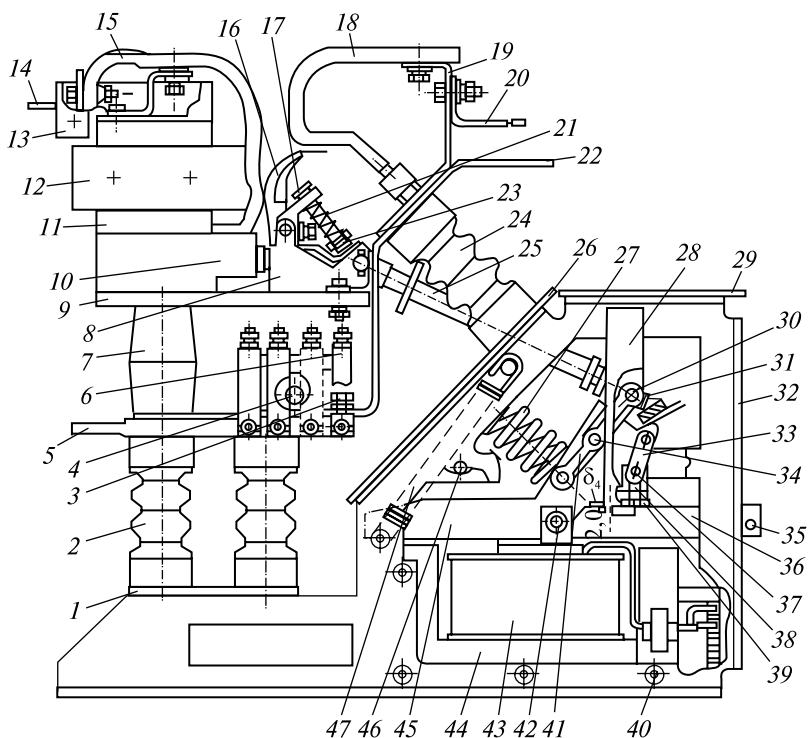


Рис. 2.15. Быстродействующий выключатель ВАБ-49:

1, 19, 22 — скобы; 2, 7, 24 — изоляторы; 3, 46 — упоры; 4, 30, 34, 37, 42 — оси; 5 — контактная шина; 6, 14, 20 — гибкие связи; 8 — контакт подвижный; 9 — панель; 10 — контакт неподвижный; 11 — катушка магнитного дутья; 12 — магнитопровод; 13 — подшипник; 15, 18 — дугогасительные рога; 16 — контакт дугогасительный; 17 — болт; 21, 27, 47 — пружины; 23, 39 — гайка; 25 — тяга; 26, 29 — экраны; 28 — контакты блокировочные; 31 — втулка; 32 — корпус; 33 — серья; 35 — указатель положения выключателя; 36, 45 — якоря; 38 — винт; 40 — шпилька; 41 — рычаг; 43 — катушка; 44 — магнитопровод

главном якоре 45 и соединен с ним осью 34 пружины 27, а также пружин 47 и упора 46 главного якоря.

Дугогасительная камера выключателя (рис. 2.16) пластинчатого типа состоит из наружных асбестоцементных щитов и внутренних перегородок. Между перегородками установлены рога. С торцов камеры располагаются дугогасительные блоки и пламягасительные

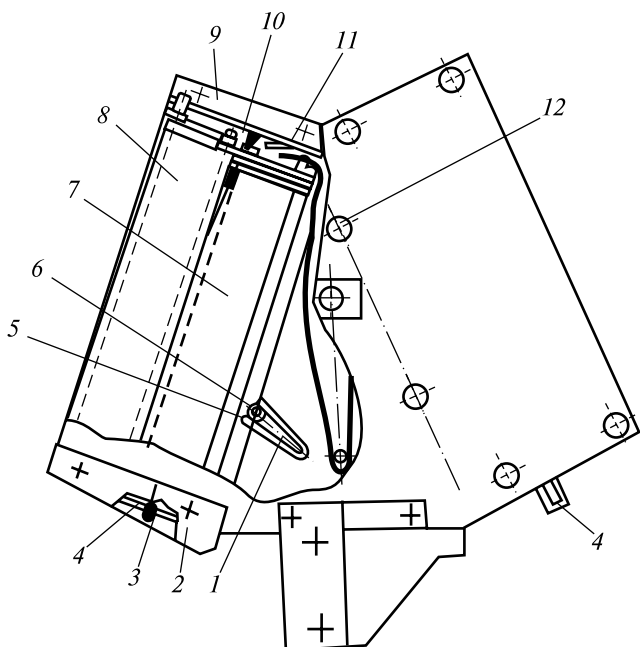


Рис. 2.16. Дугогасительная камера выключателя ВАБ-49:
 1, 11 — рога; 2 — пластина для установки камеры на полюс; 3, 9 — крышки; 4, 5 — шпильки; 6 — шайба; 7 — блок дугогасительный; 8 — жалюзи; 10 — стержень изоляционный; 12 — гайка

жалюзи. Дугогасительные блоки состоят из стальных медненных пластин, которые разделяются между собой изоляционными пластинами. Пламягасительные жалюзи состоят из стальных тонких пластин, разделенных между собой изоляционными шайбами.

Отключение выключателя происходит после подачи сигнала от реле РДШ. При этом катушка выключателя теряет питание и размыкает контакты, удерживающие электромагнит при включенном состоянии (рис. 2.17). Создаваемый конденсаторами и катушкой колебательный контур способствует быстрому размагничиванию магнитопровода, ускоряя процесс отключения.

Электрическая дуга, возникающая при расхождении контактов, гасится при помощи магнитного дутья, создаваемого катушками магнитного дутья. Затягиваемая в дугогасительную камеру дуга ра-

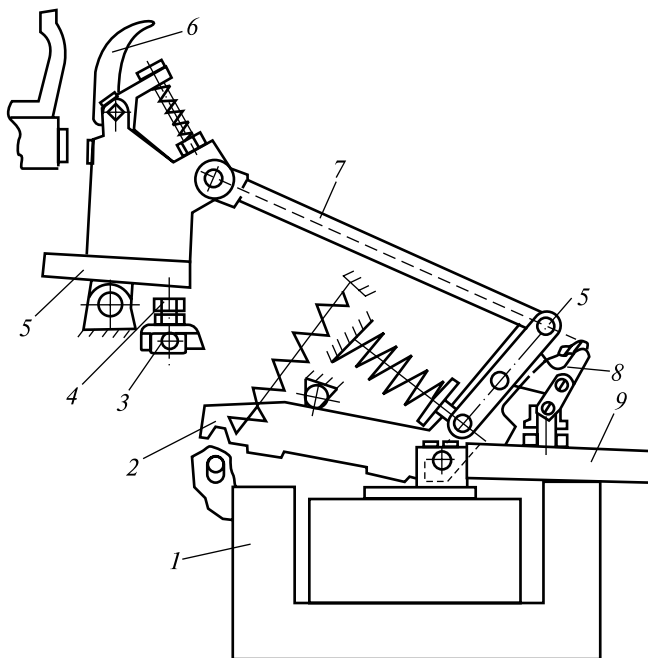


Рис. 2.17. Механизм выключателя ВАБ-49 в отключенном положении:
 1 — магнитопровод; 2, 9 — якоря; 3 — гибкая связь; 4 — упор; 5 — контакт подвижный; 6 — контакт дугогасительный; 7 — тяга; 8 — рычаг

стягивается и охлаждается при соприкосновении с асбестоцементными стенками камеры.

2.3.4. Разъединители

Разъединитель — это устройство, предназначенное для создания видимого разрыва электрической цепи в целях безопасности при проведении ремонтных и профилактических работ. В некоторых цепях, по которым протекают малые токи, разъединителями допускается выполнять также коммутационные операции. В остальных случаях разъединители должны включаться и отключаться только при отсутствии тока нагрузки, так как они не имеют дугогасительных устройств. Разъединители могут также использоваться для секционирования шин в распределительных устройствах.

Разъединители принято классифицировать по следующим признакам:

- по месту установки;
- числу полюсов;
- конструктивному исполнению;
- наличию заземляющих ножей.

По *месту установки* различают разъединители внутренней и наружной установки.

Разъединители внутренней установки предназначены для использования внутри помещений на напряжение не выше 35 кВ и управляются рычажным ручным или двигательным приводом.

Разъединители наружной установки имеют гораздо большие габариты, так как они предназначены на более высокие напряжения, требующие повышения изоляционных свойств, и управляются электрическими и пневматическими приводами, в том числе дистанционно. Разъединители наружной установки, кроме того, должны иметь изоляцию, которая способна выдержать неблагоприятные атмосферные условия и необходимую механическую прочность для работы в условиях гололеда.

По *числу полюсов* разъединители изготавливаются двух типов: однополюсные и трехполюсные.

Трехполюсные разъединители имеют три токопровода, закрепленных на одной раме с общим валом, и привод, с помощью которого происходит одновременное размыкание контактов.

Однополюсные разъединители имеют только один токопровод и его применение целесообразно в однофазных цепях, так как установка трех однополюсных разъединителей в трехфазную цепь связана с трудностями не только при монтаже, но и при эксплуатации.

По *конструктивному исполнению* разъединители выпускаются вертикально-рубящего и горизонтально-поворотного типов.

Разъединители вертикально-рубящего типа (рис. 2.18) представляют собой конструкцию, состоящую из рамы с изоляторами, открытой контактной системы, включающей в себя подвижные контактные ножи и неподвижные контакты, и привода. Включение и отключение разъединителей этого типа происходит в плоскости, перпендикулярной плоскости основания. Элементы контактной системы каждого полюса закрепляются на двух опорных изоляторах и управляются приводом при помощи тяги.

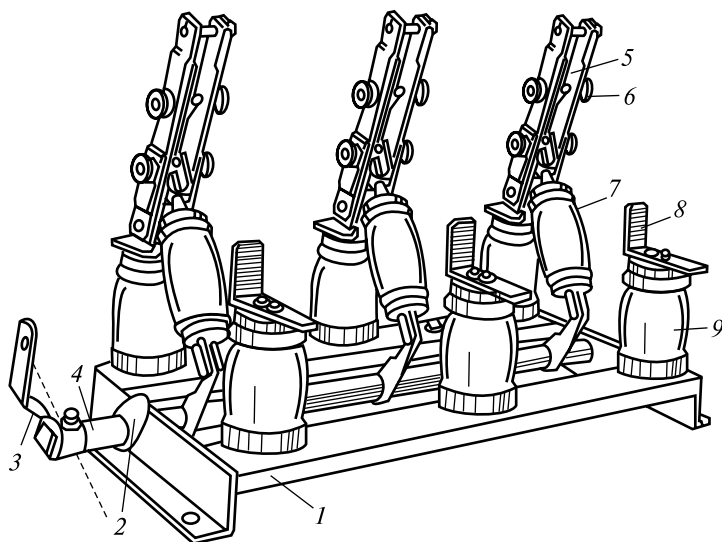


Рис. 2.18. Разъединитель вертикально-рубящего типа РВ-10:
 1 — рама; 2 — упор; 3 — рычаг; 4 — вал; 5 — подвижный контакт; 6 — пружина; 7 — тяга с изолятором; 8 — неподвижный контакт; 9 — опорный изолятор

Разъединители горизонтально-поворотного типа (рис. 2.19) применяются, как правило, в открытых распределительных устройствах, так как им необходимо достаточно большое расстояние между полюсами для обеспечения изолирующего промежутка, особенно для разъединителей с одним ножом. Этот недостаток можно устранить, используя разъединитель с двумя полуножами. Кроме вышеперечисленных, промышленностью выпускаются разъединители пантографного и подвесного типа.

По наличию *заземляющих ножей* разъединители выпускаются с одним и двумя ножами, а также без заземляющих ножей. В первом случае в маркировке присутствует буква «З».

У разъединителей с заземляющими ножами на крайних изоляторах или на цоколе крепятся специальные пластины с контактами для заземляющих ножей. При срабатывании основных контактов разъединителя происходит автоматическое замыкание заземляющих контактов. Чаще всего такие разъединители устанавливают со стороны снятого напряжения для безопасного ведения работ.

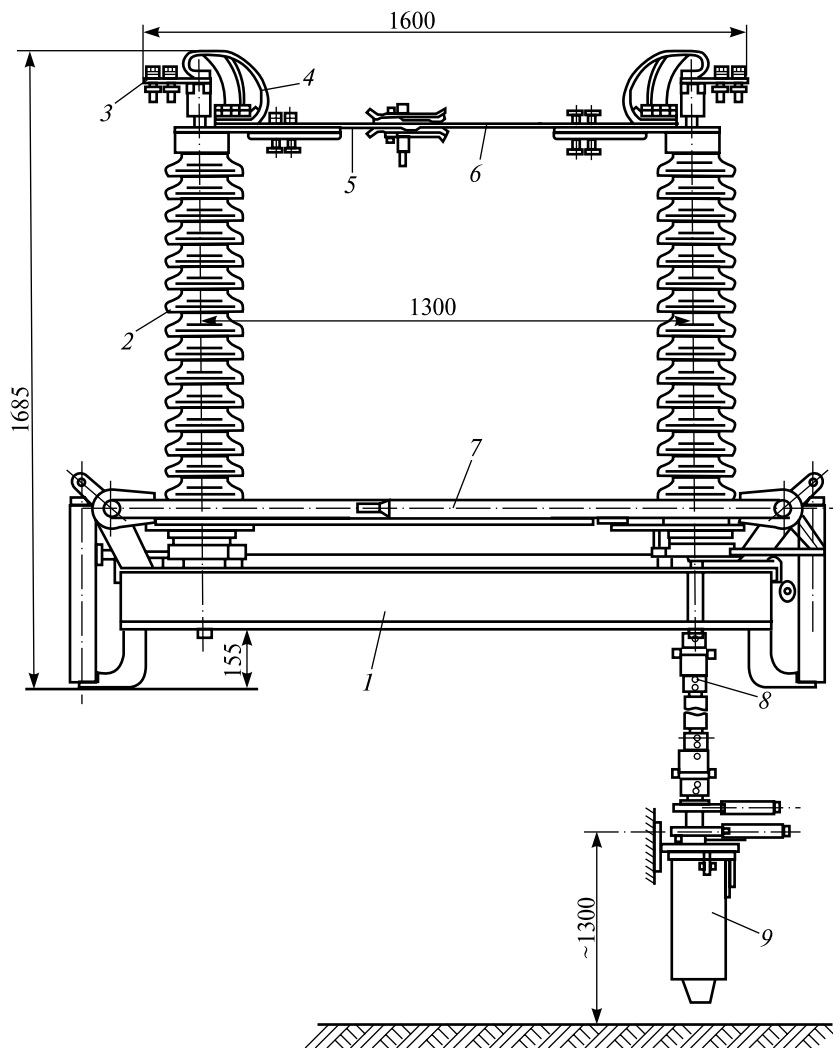


Рис. 2.19. Разъединитель горизонтально-поворотного типа РНДЗ-2-110:
 1 — рама; 2 — опорный изолятор; 3 — наконечник для присоединения шин; 4 — гибкая связь; 5 — главный нож с ламелями; 6 — главный нож без ламелей; 7 — заземляющие ножи; 8 — тяга к приводу; 9 — привод

2.3.5. Разрядники и ограничители перенапряжений

В электрических цепях достаточно часто возникают перенапряжения. Их причиной могут быть атмосферные грозовые разряды, которые сопровождаются значительной ионизацией воздуха и снижением электрической прочности воздушных промежутков. Импульсные повышения напряжения, кроме того, могут возникать при коммутационных перенапряжениях.

Для снижения их амплитуды на подстанциях используют специальные устройства. Они делятся на два основных класса: разрядники и ограничители перенапряжения.

Разрядники. Это электрические аппараты, которые предназначены для уменьшения амплитуды атмосферных, коммутационных или резонансных перенапряжений в электрических установках.

На подстанциях применяют два вида разрядников: вентильные и трубчатые.

В *вентильных* разрядниках используются вилитовые или тервитовые резисторы, имеющие нелинейную характеристику, и несколько искровых промежутков. Вилит (карбид кремния с нанесенной на него пленкой оксида кремния) обладает способностью изменять свое сопротивление в зависимости от протекающего тока. При его повышении сопротивление вилитовых дисков резко падает и волна перенапряжения уходит через заземление, снижая амплитуду напряжения до значений, достаточных для гашения дуги в пробитых искровых промежутках. Тервит (зерна карбида кремния, связующим элементом которых служит эмульсия глинозема в жидком стекле) обладает повышенной, по сравнению с вилитовой, термической стойкостью и пропускной способностью, а также еще большей нелинейностью сопротивления и может ограничивать как внутренние коммутационные, так и внешние атмосферные перенапряжения большой амплитуды.

Конструктивно вентильные разрядники состоят из фарфорового корпуса с фланцами для крепления, внутри которого находятся вилитовые или тервитовые кольца, несколько искровых промежутков и резисторы (рис. 2.20). При появлении перенапряжения последовательно пробиваются искровые промежутки и через нелинейные резисторы, сопротивление которых резко уменьшилось, импульс тока замыкается на землю. Резисторы при этом ограничива-

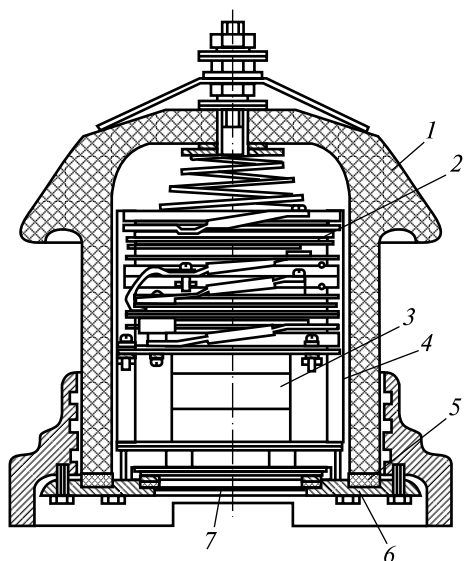


Рис. 2.20. Вентильный разрядник
RVKU-3,3A-101:

1 — фарфоровая крышка; 2 — искровой промежуток; 3 — блок нелинейных резисторов; 4 — прокладка; 5 — уплотнительное кольцо; 6 — днище; 7 — предохранительный клапан

ют возникающие сопровождающие токи. Количество срабатываний разрядника фиксируется специальными регистраторами.

Как правило, разрядники изготавливают либо для защиты от внутренних, либо от внешних перенапряжений. Однако существуют и комбинированные разрядники, в которых используют тервит. В таких разрядниках при внутренних перенапряжениях работают два нелинейных элемента и один искровой промежуток, а при внешних пробивается и второй искровой промежуток, существенно уменьшая волну перенапряжения.

Одной из разновидностей вентильных разрядников служат магнетивентильные разрядники, в которых искровые промежутки снабжены постоянными магнитами, создающими при прохождении тока магнитное поле, которое заставляет дугу вращаться с достаточно высокой скоростью и сокращает время ее гашения.

Трубчатые разрядники предназначены в первую очередь для ограничения перенапряжений в электрических сетях. На подстанциях они применяются как вспомогательное средство защиты оборудования вместе с вентильными, ограничивая волну перенапряжения уже на подходе к электрическим аппаратам и снижая тем самым нагрузку на вентильных разрядниках, увеличивая надежность защиты изоляции при атмосферных грозовых разрядах.

Конструктивно трубчатые разрядники представляют собой трубку из винипласта, фибры или фибробакелита, внутри которой расположены металлические электроды, образующие внутренний ис-

К

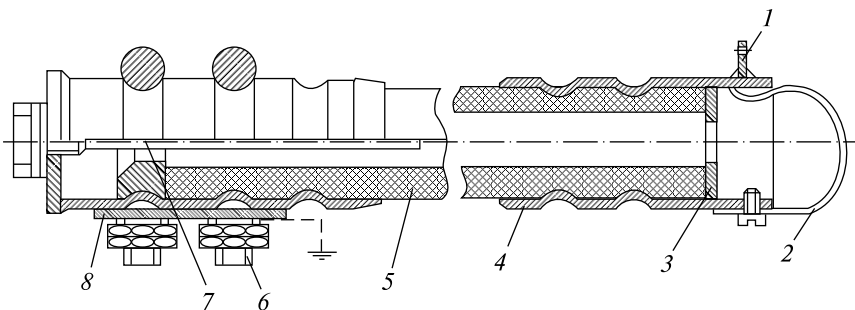


Рис. 2.21. Трубчатый фибробакелитовый разрядник:

1 — ушко для крепления; 2 — указатель срабатывания; 3 — плоский электрод; 4 — наконечник; 5 — фибробакелитовая трубка; 6 — хомуты крепления; 7 — внутренний стержневой электрод; 8 — заземление

кровой промежутки (рис. 2.21). Внешний искровой промежуток, изолирующий разрядник от постоянного контакта с токоведущей частью, образуют два стальных электрода, один из которых соединен с открытым металлическим наконечником, закрепленном на одном конце трубки.

Принцип работы такого разрядника основан на том, что при набегании волны перенапряжения искровые промежутки пробиваются и между электродами образуется электрическая дуга. Высокая температура дуги приводит к интенсивному разложению материала трубки и выделению газов, образующих в трубке продольное дутье и последующее гашение дуги при переходе переменного тока через ноль. Срабатывание разрядника сопровождается выхлопом ионизированных газов, поэтому их необходимо устанавливать таким образом, чтобы в зоне выхлопа не оказались другие токоведущие части.

В настоящее время применение разрядников сильно ограничено в связи с появлением электрических устройств нового поколения, к которым относятся ограничители перенапряжения.

Ограничители перенапряжений нелинейные. В отличие от вентильных разрядников они не имеют искровых промежутков и обладают рядом существенных преимуществ. К ним относятся повышенное быстродействие (время срабатывания составляет меньше наносекунды), отсутствие сопровождающего тока, неизменность характеристик нелинейных элементов в течение всего срока эксплуа-

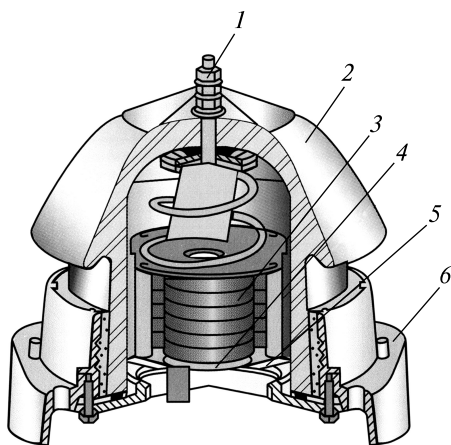


Рис. 2.22. Ограничитель перенапряжений ОПН-3,3-01:

1 — контактный вывод; 2 — фарфоровая покрывка; 3 — блок оксидно-цинковых резисторов; 4 — предохранительный клапан; 5 — днище; 6 — чугунное основание

тации и, как следствие, снижение затрат на обслуживание, простота конструкции в связи с отсутствием искровых промежутков и низкая себестоимость производства.

Конструктивно ограничитель перенапряжений представляет собой колонку из последовательно соединенных нелинейных сопротивлений — варисторов, выполненных из оксида цинка, помещенных в прочный фарфоровый или стеклопластиковый корпус (рис. 2.22), воспринимающий механические нагрузки. В первом случае фарфор, кроме того, служит для изоляции, во втором случае на стеклопластик наносится реб-

ристое покрытие из кремнийорганической резины.

Нелинейная вольтамперная характеристика металлооксидных резисторов, используемых в ограничителях перенапряжений, позволяет им длительно находиться в непроводящем состоянии, пропуская через себя лишь малый, преимущественно емкостной ток, величина которого не превышает миллиампера. При возникновении импульса перенапряжения ограничитель переходит в проводящее состояние и способен пропустить через варисторы токи в сотни и тысячи ампер, что существенно снижает напряжение на защищаемом оборудовании. После срабатывания ограничитель перенапряжений возвращается в свое исходное состояние, сохраняя при этом все свои характеристики.

Роговые разрядники. Они применяются для защиты от перенапряжений фидеров контактной сети. Их устанавливают на фидерных опорах на специальных выносных консолях. При электрическом пробое они кратковременно замыкают провода на рельсы или заземляющие устройства. В результате этого ток разряда уходит на

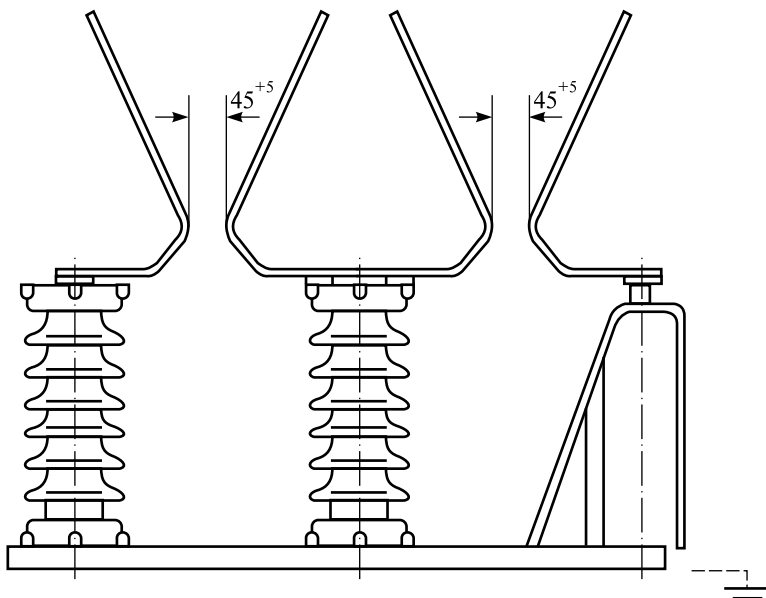


Рис. 2.23. Роговый разрядник

тяговую подстанцию или в землю, после чего изоляция контактной сети восстанавливается.

Конструктивно роговые разрядники представляют собой воздушные промежутки, создаваемые дугогасящими рогами, выполненными из стального прутка диаметром 12 мм (рис. 2.23). Один их рогов соединяется с контактной сетью, другой — с рельсами или с заземляющим устройством. Как правило, разрядники выполняют с двумя искровыми промежутками, расположенными друг за другом, для исключения ложных срабатываний в результате случайного замыкания (например, птицами). При срабатывании разрядника образовавшаяся дуга растягивается по наклонным рогам, охлаждается и в результате гасится.

2.3.6. Измерительные трансформаторы

Измерительные трансформаторы применяют для питания цепей управления и релейной защиты, устройства которых имеют малые габариты и не предназначены для включения их в цепь высокого напряжения.

Измерительные трансформаторы позволяют применять одни и те же приборы со стандартными пределами измерения для определения различных напряжений и токов.

На первичную обмотку измерительных трансформаторов подается ток или напряжение данного участка цепи, а к вторичной подключаются измерительные приборы и реле защиты и управления. Вторичная обмотка в целях безопасности подлежит обязательному заземлению.

Измерительные трансформаторы принято делить на два класса: трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. В остальном классификация измерительных трансформаторов аналогична классификации силовых трансформаторов.

Трансформаторы тока (ТТ) позволяют применять устройства измерения, защиты и управления, номинальный ток которых не превышает 5 А. Первичная обмотка ТТ имеет гораздо меньше витков, чем вторичная, что позволяет получить на выходе значительное уменьшение тока (коэффициент трансформации ТТ может достигать сотен и даже тысяч единиц). В некоторых случаях первичная обмотка может отсутствовать, а ее эквивалентом служит токоведущая часть, вокруг которой замыкается магнитопровод с вторичной обмоткой. По такому принципу выполнены электроизмерительные клещи (рис. 2.24). В остальных случаях первичная обмотка включается в рассечку контролируемой цепи, а вторичная соединяется последовательно с токо-

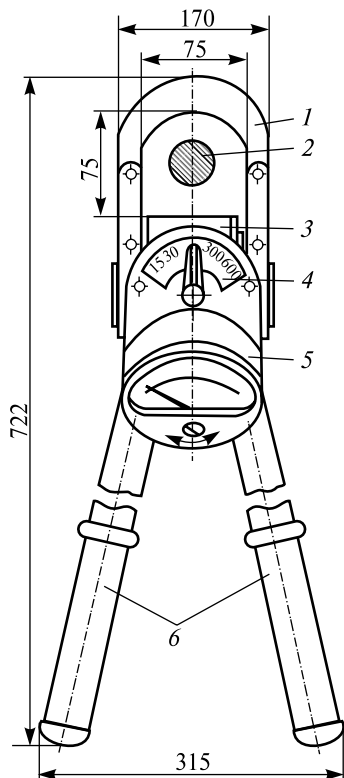


Рис. 2.24. Электроизмерительные клещи:

1 — разъемный сердечник; 2 — провод с измеряемым током; 3 — вторичная обмотка; 4 — переключатель пределов измерений; 5 — амперметр; 6 — рукоятки

выми цепями измерительных приборов, приборов учета и реле защиты и автоматики (рис. 2.25). Существуют также трансформаторы постоянного тока, которые работают на принципе насыщения ферромагнитного сердечника, вследствие чего появляется зависимость среднего значения переменного тока во вспомогательной обмотке от величины протекающего по токоведущей части постоянного тока.

При работе с трансформаторами тока необходимо обязательно следить за тем, чтобы его вторичная обмотка не оставалась разомкнутой. В этом случае на ней появляется большое напряжение холостого хода, которое может быть опасно для персонала. Для вывода в ремонт или замены оборудования, подключенного к ТТ, не-

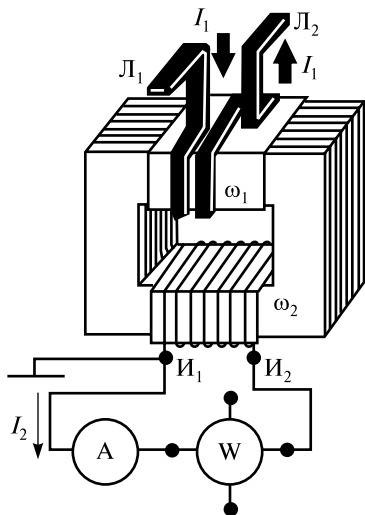


Рис. 2.25. Принципиальная схема включения трансформатора тока:

L_1, L_2 — первая и вторая линии; I_1, I_2 — измерительные выходы; ω_1, ω_2 — количество витков первичной и вторичной обмоток; I_1, I_2 — токи первой и второй линий; А — амперметр; W — вольтметр

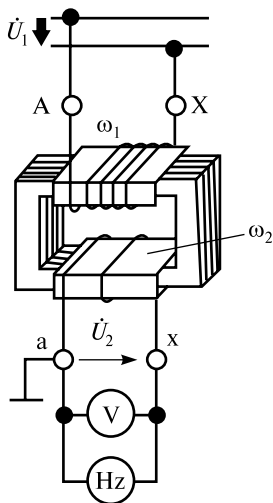


Рис. 2.26. Принципиальная схема включения трансформатора напряжения: U_1, U_2 — напряжение первичной и вторичной обмоток; А, X — выходы первичной обмотки; а, x — выходы вторичной обмотки; ω_1, ω_2 — количество витков первичной и вторичной обмоток; V — вольтметр; Hz — частотомер

обходимо предварительно зашунтировать вторичную обмотку и только после этого приступать к работе.

Трансформаторы тока выполняются с литой смоляной, вязкой компаундной, бумажно-масляной, фарфоровой или элегазовой изоляцией.

Трансформаторы напряжения (ТН) используются на номинальное вторичное напряжение 100 В, и их первичная обмотка содержит гораздо большее количество витков, что позволяет получить на вторичной обмотке низкое напряжение, безопасное для подключаемой аппаратуры. Первичная обмотка ТН включается в цепь параллельно нагрузке, а к вторичной присоединяют цепи напряжения измерительной, защитной и контролирующей аппаратуры (рис. 2.26).

Трансформаторы напряжения выполняются с литой, масляной и сухой изоляцией.

2.3.7. Сглаживающие устройства (фильтры)

Сглаживающий фильтр — это устройство, предназначенное для уменьшения пульсаций, возникающих в электрической цепи в результате преобразования переменного тока в постоянный.

Простейшим сглаживающим устройством может служить включенный параллельно нагрузке конденсатор, который обладает большим сопротивлением для постоянной составляющей выпрямленного тока и незначительным — для переменной составляющей. Для более качественного сглаживания пульсации применяют устройства, состоящие из двух элементов — емкости и индуктивности. Принцип работы таких фильтров основан на том, что дроссель, имеющий достаточно большое сопротивление для переменной составляющей, будет являться барьером для высших гармоник выпрямленного тока, вследствие чего через нагрузку будет проходить ток со значительно улучшенными характеристиками.

На тяговых подстанциях сглаживающие фильтры применяются с целью уменьшения электромагнитного воздействия тяговых сетей на устройства сигнализации, централизации и блокировки, а также на линии связи. В результате установки на выходе с подстанции сглаживающих фильтров удастся уменьшить пульсации выпрямленного напряжения при шестифазной или двенадцатипульсовой схемах выпрямления.

Принципиальная схема сглаживающего устройства тяговых подстанций была показана на рис. 2.5. Такой фильтр содержит резонансный контур, который настраивается на определенную частоту мешающей гармоник и позволяет существенно увеличить сопротивление для постоянной составляющей выпрямленного тока, в результате чего большая часть пульсаций выделится именно на нем. Токоограничивающий реактор, включенный в цепь, снижает величину переменной составляющей выпрямленного тока, проходящего через фильтр.

По конструктивному исполнению различают одно- и двухзвенные фильтры. *Однозвенные фильтры* применяются при двенадцати- и двадцатичетырехпульсовой схемах выпрямления, а также при кабельном или волоконно-оптическом исполнении линий связи. Во всех остальных случаях применяется *двухзвенная схема* сглаживающего фильтра, которая позволяет убрать как гармоники шестифазной схемы выпрямления (кратные 300 Гц), так и гармоники, возникающие из-за несимметрии питающего напряжения (кратные 100 Гц).

Глава 3. КОНТАКТНАЯ СЕТЬ

Контактная сеть представляет собой совокупность устройств, предназначенных для подведения электроэнергии к движущимся видам электроподвижного состава, таким как электровозы, электропоезда, городской электрический транспорт (трамваи, троллейбусы, моторвагонный подвижной состав метрополитена). На железных дорогах контактная сеть также используется для питания нетяговых потребителей.

Все устройства контактной сети должны соответствовать требованиям основных габаритов (рис. 3.1): габарита приближения строений С и габарита подвижного состава Т.

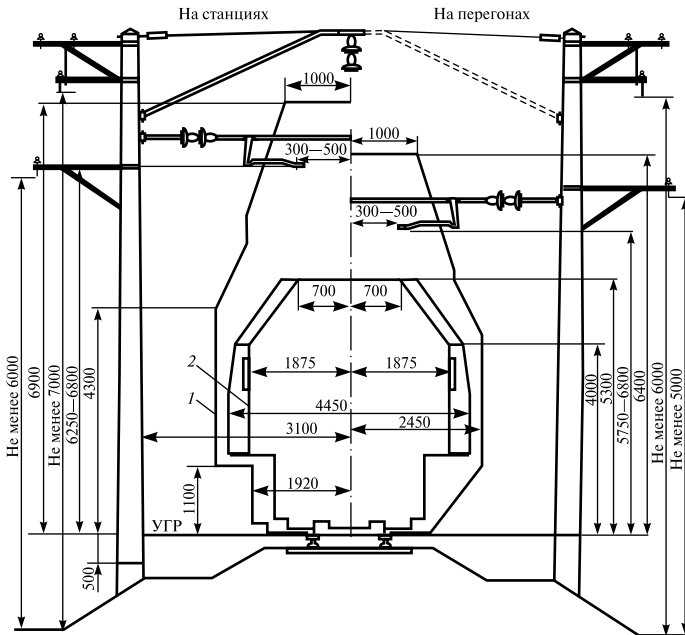


Рис. 3.1. Габариты положения опор и высота подвески проводов:
1 — габарит приближения строения С; 2 — габарит подвижного состава Т;
УГР — уровень головки рельса

Основные габариты устройств контактной сети — габарит проводов Н, габарит опор Г и габарит заземленных искусственных сооружений А устанавливают следующие размеры:

- высота подвешивания контактного провода над уровнем головки рельса на перегонах и станциях должна быть не менее 5750 мм и не должна превышать 6800 мм;
- расстояние от частей контактной сети, находящихся под напряжением, до поверхности пассажирских платформ должно быть не менее 4,5 м;
- расстояние от оси пути до опор на перегонах и станциях должно быть не менее 3,1 м;
- расстояние от контактного провода до находящихся над ним заземленных частей искусственных сооружений должно быть не менее 650 мм;
- расстояние между контактным проводом и несущим тросом в середине пролета в искусственном сооружении должно составлять более 150 мм.

Контактная сеть состоит из токоведущей части (контактной подвески или контактного рельса), опорных конструкций, изолирующих устройств, а также из арматуры, соединяющей эти элементы между собой.

Воздушная контактная подвеска электрифицированного городского транспорта представлена на рис. 3.2 (трамвайная контактная подвеска) и рис. 3.3 (троллейбусная контактная подвеска). Контактный рельс и

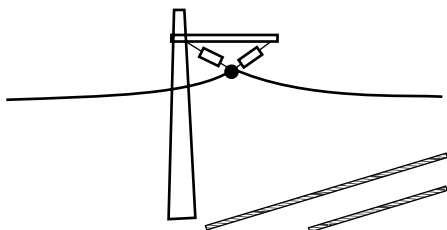


Рис. 3.2. Трамвайная контактная подвеска

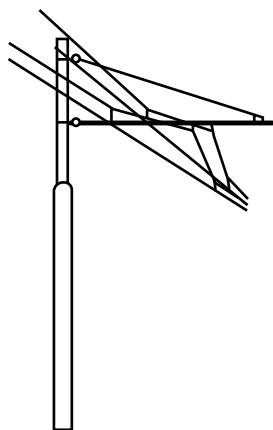


Рис. 3.3. Троллейбусная контактная подвеска

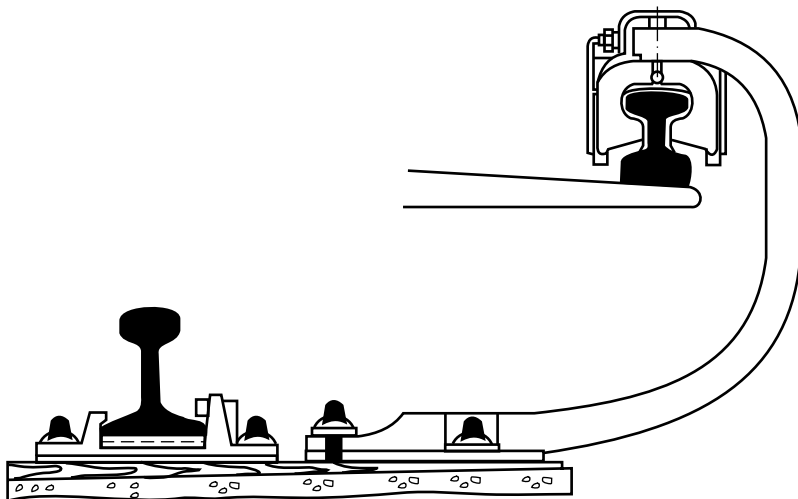


Рис. 3.4. Контактная система метрополитена

токоприемник моторвагонного подвижного состава метрополитена показаны на рис. 3.4.

3.1. Контактные подвески

Классификация контактных подвесок

Воздушные контактные подвески делятся на два основных вида: простые и цепные.

Простые контактные подвески (иногда называемые трамвайными из-за их преимущественного применения на трамвайных маршрутах) состоят из компенсированного контактного провода, расположенного между опорными конструкциями.

Такие подвески используются также на электрифицированных путях промышленного транспорта, а также, по согласованию со службой электроснабжения, на второстепенных путях депо и станций со скоростью движения поездов не более 50 км/ч. Это связано с тем, что в таких подвесках на высоких скоростях движения при быстром переходе токоприемника в опорном узле (рис. 3.5) со стороны пройденного пролета на следующий происходит его отрыв, а затем удар токоприемника о контактный провод. В результате на-

рушается нормальный процесс токосъема и увеличивается износ контактного провода.

Цепные контактные подвески позволяют значительно повысить скорости движения электроподвижного состава за счет использования в них несущего троса. Контактный провод подвешивается к несущему тросу, закрепленному на опорных конструкциях, с помощью струн различной длины (рис. 3.6), что приводит к уменьшению стрел провеса до значений, мало влияющих на качество токосъема.

Классификация цепных контактных подвесок осуществляется по следующим основным признакам:

- по способу подвешивания контактного провода (контактных проводов) к несущему тросу;
- способу регулирования натяжения проводов контактной подвески (по виду анкеровки);
- взаимному расположению проводов в плане;
- типам струн и их расположению у опор.

По способу подвешивания контактного провода (контактных проводов) к несущему тросу цепные контактные подвески делятся на одинарные, одинарные рессорные, двойные и специальные.

В *одинарных* контактных подвесках (рис. 3.7, а) контактный провод 1 крепят непосредственно к несущему тросу 2 через струны 3.

Одинарные рессорные контактные подвески (рис. 3.7, б) позволяют улучшить прохождение токоприемника через опорные узлы за счет установки возле опоры рессорной струны 4, к которой крепится контактный провод.

Двойные подвески (рис. 3.7, в) используются на участках, где необходимо обеспечить практически беспровесное расположение контактного провода. В таких подвесках к несущему тросу 2 с помо-

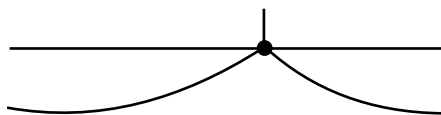


Рис. 3.5. Опорный узел простой контактной подвески

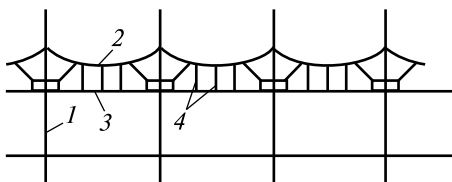


Рис. 3.6. Цепная контактная подвеска: 1 — опора контактной сети; 2 — несущий трос; 3 — контактный провод; 4 — струны

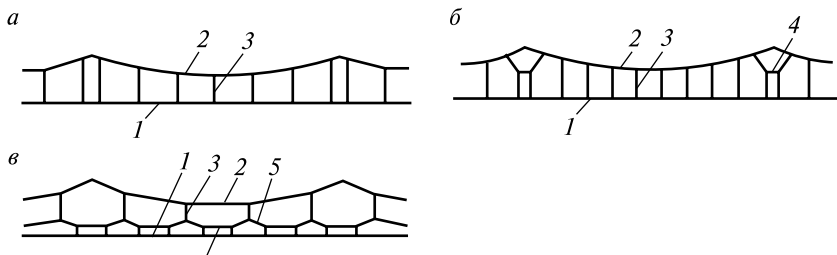


Рис. 3.7 — Способы подвешивания проводов цепной контактной подвески: *а* — одинарная подвеска; *б* — одинарная рессорная подвеска; *в* — двойная

щью струн 3 крепится вспомогательный провод 5, на который подвешивается контактный провод 1.

По способу регулирования натяжения проводов контактной подвески (по виду анкеровки) контактные подвески делят на некомпенсированные, полукompенсированные и компенсированные.

В некомпенсированных контактных подвесках (рис. 3.8, *а*) контактный провод и несущий трос крепятся к анкерной опоре без устройств, обеспечивающих автоматическую регулировку натяжения проводов вследствие их линейных изменений (такую анкеровку часто называют жесткой). В некоторых случаях некомпенсированная подвеска может иметь в своем составе натяжные муфты для ручной регулировки натяжения проводов.

В состав полукompенсированной и компенсированной подвесок входит компенсатор — устройство, предназначенное для автоматической регулировки натяжения проводов в зависимости от сезонных и суточных колебаний температуры окружающей среды.

В полукompенсированной подвеске компенсатором снабжается только часть проводов (контактный провод в одинарных подвесках (рис. 3.8, *б*) или контактный и вспомогательный провод в двойных подвесках).

В компенсированных подвесках автоматически регулируется натяжение всех проводов, входящих в ее состав. При этом компенсаторы могут быть как общими для всех проводов, так и отдельными для каждого провода (рис. 3.8, *в*).

Выбор способа анкеровки в данном случае зависит от выбранных проводов контактной подвески. При использовании всех проводов, выполненных из меди, можно применять общий компенсатор.

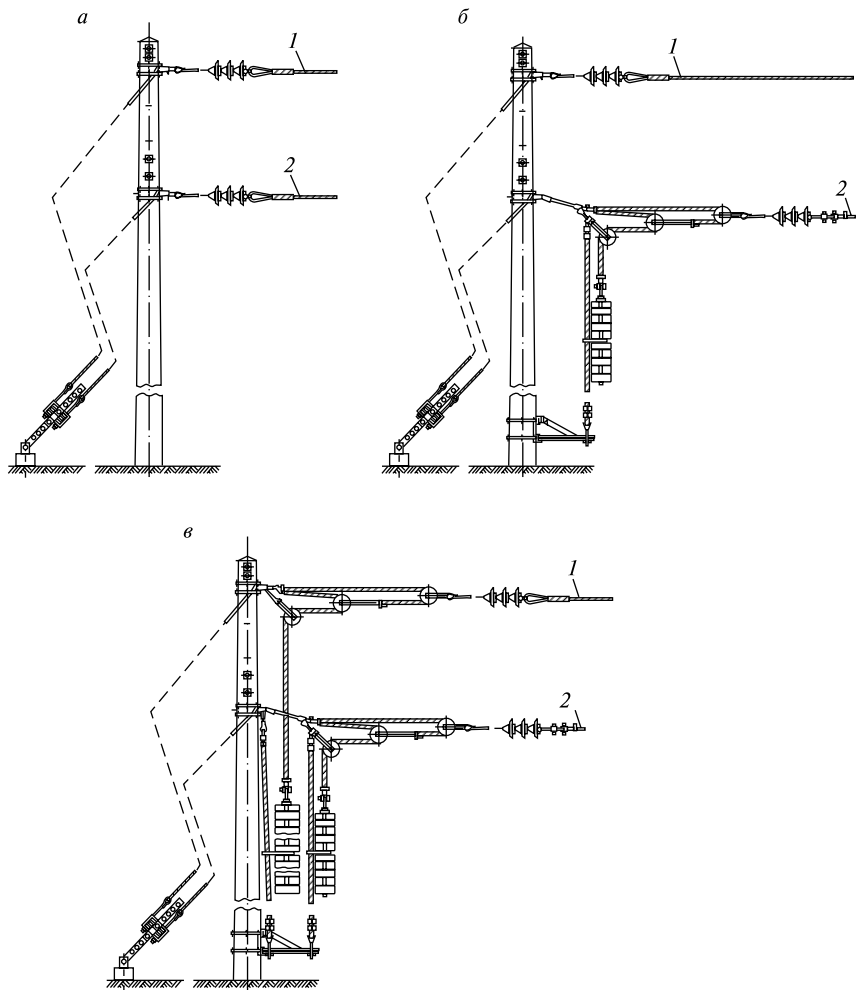


Рис. 3.8 — Способы регулирования натяжения проводов:
а — жесткая анкеровка; *б* — полукомпенсированная анкеровка; *в, г* — компенсированная анкеровка; 1 — несущий трос; 2 — контактный провод

сатор, так как изменение линейных размеров во всех проводах будет одинаковым. Если же провода контактной подвески имеют разный температурный коэффициент линейного расширения, то для регулировки их натяжения лучше использовать отдельные компенсаторы.

По взаимному расположению проводов в плане подвески делятся на вертикальную, косую и полукосую контактные подвески. Отдельной разновидностью цепных подвесок являются ромбовидная и пространственно-ромбическая контактные подвески.

Выбор размещения проводов относительно друг друга и относительно оси пути, определяется многими факторами. Однако существует обязательное требование к размещению контактного провода над осью пути: контактный провод на прямых участках пути всегда размещается зигзагообразно. Это связано с тем, что при любом другом расположении контактного провода контактные пластины полозов токоприемников электроподвижного состава изнашиваются неравномерно, что приводит к естественному ухудшению токосъема и уменьшению срока службы контактных пластин.

На электрифицированных железных дорогах России зигзаг контактного провода от оси пути на прямых участках составляет 300 мм (рис. 3.9).

Вертикальная подвеска (рис. 3.9, а) представляет собой подвеску, в которой контактный провод и несущий трос располагаются в одной вертикальной плоскости над осью пути.

В *полукосой* подвеске (рис. 3.9, б) контактный провод подвешивается зигзагообразно, а несущий трос — над осью пути. Струны в этом случае располагаются под наклоном к вертикали. Такое расположение проводов позволяет существенно снизить затраты цветного металла, используемого в контактной подвеске.

В *косой* подвеске (рис. 3.9, в) несущий трос значительно смещен относительно контактного провода, при этом его зигзаг противоположен зигзагу контактного провода. Угол наклона струн при такой подвеске превышает 20 градусов. Такое расположение проводов повышает ветроустойчивость контактной подвески за счет разнонаправленности нагрузок, создаваемых в пролете.

Для еще большего повышения ветроустойчивости контактной подвески применяют ромбовидную подвеску с двумя контактными проводами (рис. 3.10).

Ромбовидная цепная подвеска представляет собой конструкцию, в которой контактные провода располагаются у опор в виде ромба с разными зигзагами (300—400 мм), а на остальной части пролета — параллельно над осью пути с расстоянием между ними 50—100 мм.

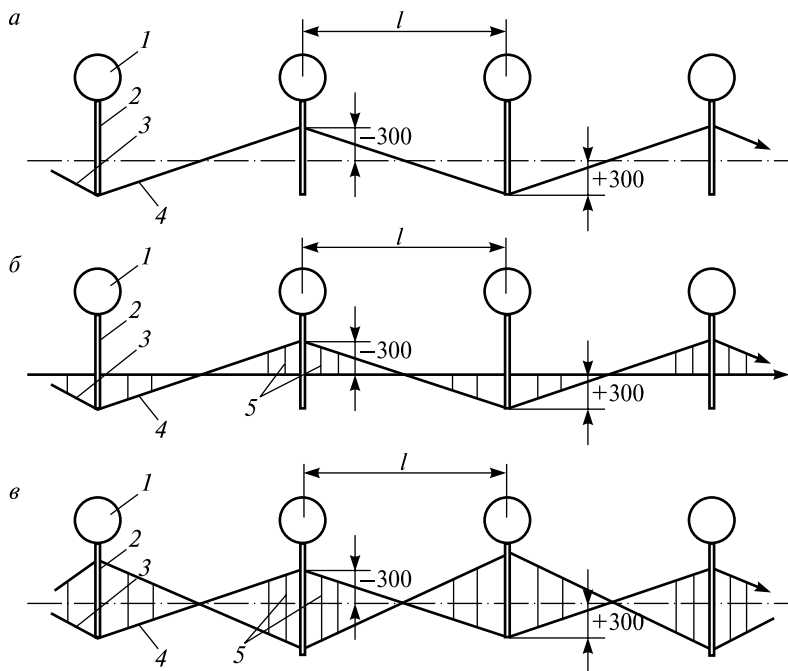


Рис. 3.9 — Взаимное расположение проводов в плане:
a — вертикальная подвеска; *б* — полукосая подвеска; *в* — косая подвеска; 1 — опора контактной сети; 2 — консоль; 3 — несущий трос; 4 — контактный провод; 5 — струны; *l* — длина пролета

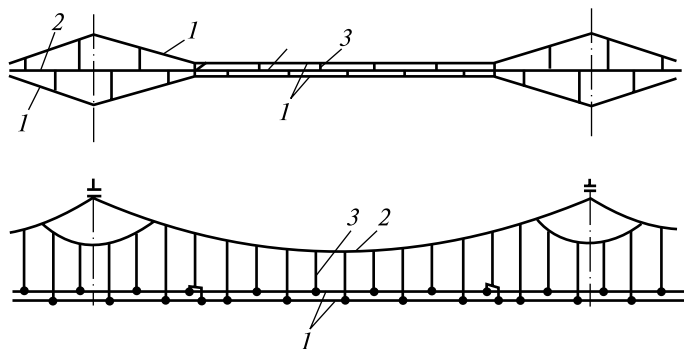


Рис. 3.10. Ромбовидная контактная подвеска:
 1 — контактный провод; 2 — несущий трос; 3 — струны

Пространственно-ромбическая автокомпенсированная контактная подвеска (ПРАКС) представляет собой подвеску с двумя контактными проводами и двумя несущими тросами (рис. 3.11).

Контактные провода в плане представляют собой ромбы, соединенные между собой в пролете шарнирной планкой, а в середине между планками прикрепленные к несущим тросам фиксирующими элементами. Несущие тросы располагаются сбоку от оси пути и через изоляторы жестко крепятся к точкам подвеса. Струны в пространственно-ромбической подвеске отсутствуют, что позволяет существенно снизить затраты на их изготовление и обслуживание.

Отличительной особенностью пространственно-ромбической контактной подвески является возможность автоматической компенсации температурных линейных изменений длины проводов. При использовании ПРАКС происходит изменение высоты несущих тросов без продольной сдвижки проводов, при этом, даже несмотря на изменение высоты подвеса контактных проводов, оно остается неизменным по всей длине пролета, не образуя стрел провеса, что позволяет сохранять траекторию движения полоза токоприемника. Это позволяет использовать ПРАКС на сложных участках: с большим количеством кривых, в тоннелях и искусственных сооружениях, а также на участках со скоростным и высокоскоростным движением.

В зависимости от *типа струн и их расположения у опор* контактные подвески бывают с простыми вертикальными струнами, со смещенными простыми вертикальными струнами и рессорными. При этом в каждом опорном узле (части пролета между первыми от опор струнами) возникают особые условия для прохождения под ними

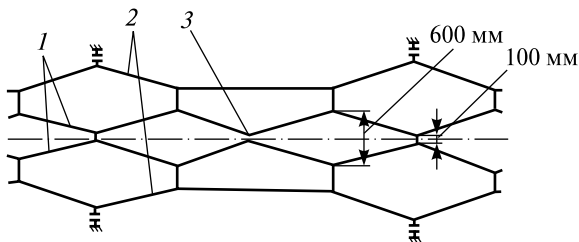


Рис. 3.11. Пространственно-ромбическая автокомпенсированная контактная подвеска:

1 — контактные провода; 2 — несущие тросы; 3 — шарнирные планки

токоприемника, от которых зависит и износ контактного провода, и качество токосъема.

В контактной подвеске с *простыми вертикальными струнами* опорные струны устанавливаются на расстоянии не более 1—2 м от опор. Опорный узел в данном случае работает как нерастяжимая нить, не обеспечивая необходимой эластичности подвески.

В подвесках со *смещенными простыми вертикальными струнами* опорные струны располагаются на расстоянии более 2 м от опор. При этом в одинарной контактной подвеске это расстояние составляет 4—5 м от опоры, в двойной — 5—9 м.

В *рессорной* контактной подвеске струны контактного провода (или вспомогательного провода — в двойных подвесках) закрепляются на рессорной струне (тросе). Опорный узел в такой подвеске хорошо работает на сжатие и растяжение при отжати его токоприемником.

3.2. Конструктивное исполнение контактной сети

3.2.1. Провода и струны контактной подвески.

Электрические соединители

Провода контактной подвески. Они являются одной из основных частей контактной сети, призваны обеспечить необходимое качество токосъема, поэтому к их характеристикам предъявляются повышенные требования. Так как практически все провода контактной подвески участвуют в процессе передачи электроэнергии, то они должны обладать высокой электропроводностью. Кроме этого, несущие тросы, вспомогательные провода и струны несут большую механическую нагрузку, следовательно, должны обладать хорошими механическими характеристиками.

Контактные подвески включают в себя контактные провода, несущие тросы, питающие, вспомогательные и усиливающие провода, струны и электрические соединители.

Контактный провод непосредственно участвует в основном моменте процесса передачи электроэнергии: переходе электроэнергии из контактной сети на полз токоприемника электроподвижного состава.

Из всех элементов контактной подвески именно контактный провод подвержен наибольшему износу. Это связано как с механи-

ческими повреждениями вследствие контакта с пластинами полоза токоприемника, так и с электрическими повреждениями, возникающими при образовании электрических дуг в местах отрыва токоприемника, а также при аварийных режимах в системе электроснабжения. Поэтому контактный провод должен обладать не только наилучшей электропроводностью, что позволит сократить потери при передаче электроэнергии, но и высокой износостойкостью. Высокие температуры, которыми сопровождается протекание тока, повышают требования к термостойкости используемого материала, а необходимость в регулировке натяжения проводов — к механическим характеристикам.

Наилучшим сочетанием вышеперечисленных характеристик обладают медь и бронза, которые и используются для изготовления контактных проводов.

В настоящее время в России наиболее широко используются медные, низколегированные медные с присадками серебра, олова, магния, циркония или титана и бронзовые медно-кадмиевые провода. Присадки в низколегированных медных проводах позволяют увеличить их износостойкость и термостойкость. Еще более высокие показатели по износостойкости у бронзовых медно-кадмиевых проводов: они превышают в 2—2,5 раза показатели медных, однако они дороже и имеют более низкую проводимость.

Выбор материала для контактного провода осуществляется после технико-экономического расчета, учитывающего конкретные условия эксплуатации контактной подвески.

Количество контактных проводов зависит от величины тока, проходящего по контактной подвеске. При протекании токов свыше 1000 А применяют два контактных провода.

Средний срок службы контактных проводов на участках постоянного тока составляет порядка 20 лет, на участках переменного тока — свыше 50 лет. Он зависит от многих факторов, которые можно объединить в два основных: качественный монтаж и наладка контактных подвесок, а также качественный токосъем.

Необходимость в качественном токосъеме объясняет и форму контактных проводов. В настоящее время применяют провода фасонного (рис. 3.12, *а*) и фасонного овального (рис. 3.12, *б*) профиля, которые имеют два продольных желобка для захвата головки провода арматурой.

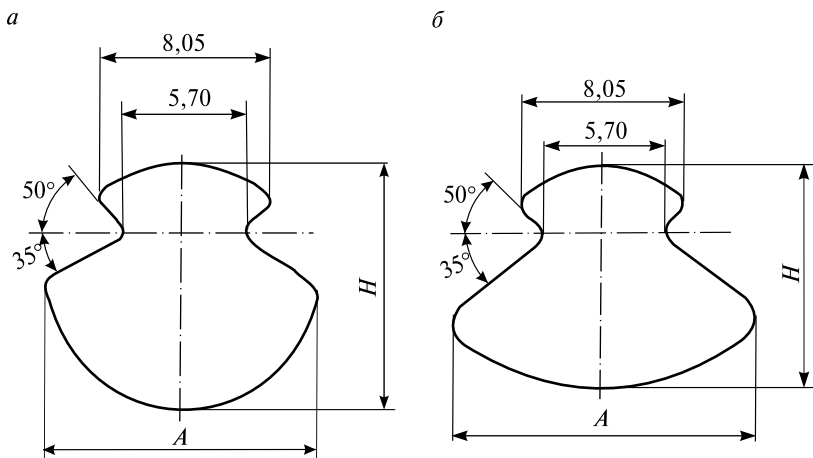


Рис. 3.12. Контактные провода:

a — фасонного профиля; *б* — фасонного овального профиля; *A*, *H* — геометрические размеры провода

Овальный профиль, имеющий увеличенную поверхность охлаждения, позволяет повысить допустимый длительный ток. Кроме этого, такая форма контактного провода улучшает ветроустойчивость контактной подвески за счет лучших аэродинамических характеристик.

На российских железных дорогах используются контактные провода сечением 75, 100, 120 мм², реже 150 мм². В маркировке контактного провода используются буквы, обозначающие материал провода и его профиль, и цифры, обозначающие сечение контактного провода, например, МФ-100 — медный фасонный сечением 100 мм², БрФО-120 — бронзовый фасонный овальный сечением 120 мм², НлФ-150 — низколегированный медный фасонный сечением 150 мм²

Несущие тросы, которые крепятся к поддерживающим конструкциям и к которым непосредственно или через вспомогательный провод подвешивается контактный провод, кроме хорошей электропроводности, должны выдерживать значительные механические нагрузки. На отечественных железных дорогах в качестве несущих тросов чаще всего используют монометаллические медные, а также биметаллические провода марок М, БСМ, ПБСМ. Кроме того, при-

меняются бронзовые и стальные многопроволочные провода. Выбор материала для несущего троса определяется родом тока, конструкцией подвески, ее сечением и другими факторами.

На дорогах постоянного тока наиболее целесообразно использовать в качестве несущего троса медный многопроволочный провод, который обеспечивает увеличение пропускаемого тока и значительно снижает потребность в усиливающих проводах. Кроме того, применение медного троса позволяет обеспечить плавку гололеда на контактной подвеске.

Использование бронзового провода в качестве несущего троса позволяет улучшить механические характеристики по сравнению с медным и увеличить натяжение троса, что приводит к большей ветроустойчивости контактной подвески.

На дорогах переменного тока, а также на тех участках, где не требуется высокая проводимость (например, на участках с небольшим движением, станционных путях и т.п.) применяются биметаллические и стальные несущие тросы. Использование стальных проводов в качестве несущих тросов осложняется их подверженностью коррозии. Для защиты от атмосферных и химических воздействий стальные тросы изготавливают из оцинкованной проволоки, а также покрывают специальными антикоррозийными смазками.

Питающие провода предназначены для подведения электроэнергии от тяговых подстанций к контактной сети. Они выполняются, как правило, многопроволочными монометаллическими или комбинированными проводами марок А, АС.

Усиливающие провода, необходимые для снижения общего сопротивления контактной подвески, располагаются либо с полевой стороны, либо над опорами или вблизи несущего троса. Расположение определяется проектом. Выполняются из алюминиевых многопроволочных проводов марки А-185.

Вспомогательные провода, используемые в двойных цепных подвесках, выполняются, как правило, медными многопроволочными проводами нормальной прочности сечением от 50 до 100 мм².

Струны. С их помощью контактный провод подвешивается к несущему тросу или вспомогательному проводу. Они предназначены для передачи сил и классифицируются по следующим признакам:

– по конструкции (звеньевые, гибкие, жесткие, упругие, петлевые);

- проводимости (проводящие, изолированные, частично проводящие);
- положению относительно вертикали (вертикальные и наклонные);
- возможности продольного смещения (скользящие и закрепленные).

Звеньевые струны (рис. 3.13, *а*), являющиеся самыми распространенными, состоят минимум из двух звеньев, что позволяет при прохождении токоприемника поднимать контактный провод, уменьшая таким образом жесткость струн. Длина нижнего звена регламентирована и должна составлять 300 мм. Звенья, как правило, изготавливаются из сталемедной биметаллической проволоки диаметром 4 мм и соединяются между собой петлями. К контактному проводу и несущему тросу крепятся струновыми зажимами.

Основным недостатком звеньевых струн является их непригодность к протеканию тока. Из-за нестабильного контакта в местах соединения звеньев петли разрушаются. Количество случаев подгорания звеньевых струн может быть снижено за счет использования специальных вставок: изоляторов или изолирующих коушей.

Гибкие струны (рис. 3.13, *б*) предназначены не только для обеспечения механической связи между несущим тросом и контактным проводом, но и для создания электрического контакта между ними, т.е. являются также электрическими соединителями. Они выполняются из медного гибкого многопроволочного провода марки МГ се-

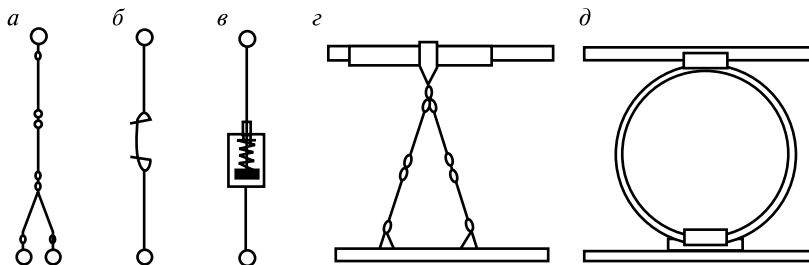


Рис. 3.13. Струны контактной сети:

а — звеньевые; *б* — гибкие; *в* — упругие; *г* — скользящие ; *д* — ограничительные кольца

чением 16 мм² и крепятся к струновым зажимам трубчатыми медными соединителями и медными коушами.

Жесткие струны, представляющие собой распорки между проводами, применяются только на воздушных стрелках и служат для ограничения подъема контактного провода одной подвески относительно контактного провода другой.

Упругие струны (рис. 3.13, в) в своем составе имеют пружинящий механизм: рычаг или пружину, который позволяет значительно снизить жесткость подвески. Поэтому упругие струны преимущественно устанавливают в опорной зоне. Недостатком таких струн является их естественное удлинение с течением времени из-за ослабления упругих свойств и недостаточная стойкость к химическим и электрическим воздействиям.

Петлевые струны (на рис. 3.13 не показаны) предназначены для крепления контактного провода к вспомогательному проводу в двойных контактных подвесках. Петлевые струны выполняются в виде петли и обеспечивают как вертикальное перемещение контактного провода при прохождении токоприемника, так и продольное перемещение вдоль вспомогательного провода.

Как уже говорилось выше, струны во многих случаях выполняют роль электрических соединителей. Такие струны являются *проводящими* или *частично проводящими*. Однако на железных дорогах нашли применение и *изолированные* струны, которые не проводят электрический ток, а следовательно, защищены от электрокоррозии. Такие струны выполняются из полимерных материалов (например, капроновые тросы), что дает возможность их регулировки. Однако при их применении необходима более частая установка электрических соединителей. Это вызвано необходимостью снизить общее сопротивление контактной подвески.

Большинство струн, применяющихся в контактных подвесках, являются *вертикальными*, т.е. не имеют больших отклонений в поперечной плоскости. Однако в косых контактных подвесках на некоторых видах пересечений применяют *наклонные* струны, для которых используются специальные струновые зажимы (рычаги косой струны), которые предотвращают выворачивание контактного провода. Если угол наклона струн к вертикали превышает 30°, то в контактной подвеске используют *скользящие* струны (рис. 3.13, г).

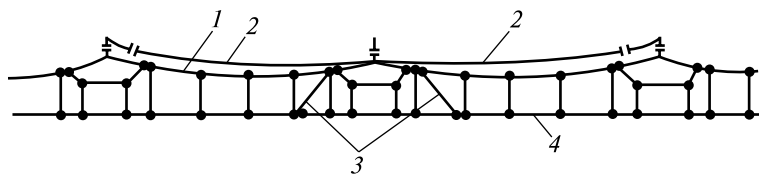


Рис. 3.14. Средняя анкеровка:

1 — несущий трос; 2 — вспомогательный провод; 3 — рессорная струна;
4 — контактный провод

При необходимости снижения конструктивной высоты подвески, а также для ограничения подъема контактных проводов при проходе токоприемника, например в искусственных сооружениях, применяют ограничительные кольца (рис. 3.13, д).

Электрические соединители. К ним относятся провода электрических соединений и шлейфы. Они не несут механической нагрузки и предназначены для создания электрического контакта между различными проводами контактной подвески (*электрические соединители*), а также для присоединения к ним разрядников, секционных разъединителей и других устройств (*шлейфы*). Этим определяется и выбор материала для таких проводов. Они выполняются из многопроволочных медных гибких проводов, обеспечивающих наилучшую электропроводность.

Особым видом электрического соединения является *средняя анкеровка* (рис. 3.14), которая предназначена для предотвращения одностороннего смещения контактного провода при воздействии на него токоприемников электроподвижного состава, а также для локализации места возможного обрыва контактного провода.

Средняя анкеровка выполняется в середине анкерного участка, тросы анкеруют жестко на смежных опорах, предотвращая возможное одностороннее смещение контактного провода.

3.2.2. Изоляторы и изолирующие элементы контактной сети

Изоляторы контактной сети. Они предназначены для изоляции токоведущих частей контактной сети, в отличие от изоляторов воздушных линий электропередачи, работают в специфических условиях эксплуатации. Поэтому их классификация отличается от классификации изоляторов воздушных линий электропередачи, в первую очередь, по назначению. Кроме подвесных и натяжных изоля-

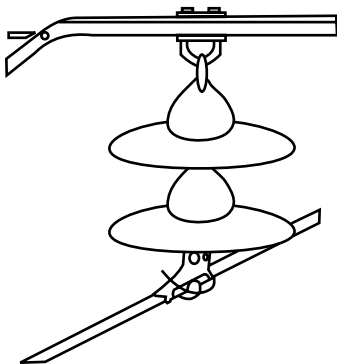


Рис. 3.15. Подвесные изоляторы контактной сети

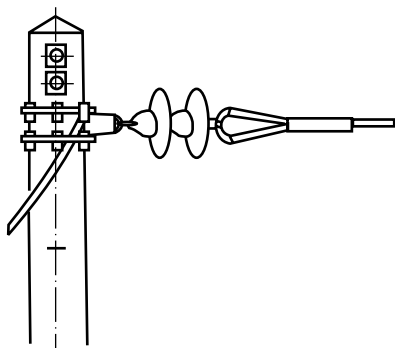


Рис. 3.16. Натяжные изоляторы тарельчатого типа

торов, на контактной сети применяются консольные, фиксаторные и секционные изоляторы, а также изолирующие вставки.

Подвесные изоляторы тарельчатого типа (рис. 3.15) на контактной сети постоянного тока, как правило, соединяют в гирлянды по 2 изолятора, а на дорогах переменного тока — по 3, 4 или 5 изоляторов в зависимости от уровня загрязнения воздуха в конкретном районе.

Натяжные изоляторы, воспринимающие еще и горизонтальную нагрузку, устанавливаются в несущих тросах в местах расположения секционных изоляторов, в тросах жестких и гибких поперечин, а также при анкеровке проводов. Натяжные изоляторы могут быть как тарельчатого (рис. 3.16), так и стержневого типа (рис. 3.17).

Консольные изоляторы предназначены для изоляции опор от частей контактной сети, находящихся под напряжением. Они устанавливаются в горизонтальные или наклонные стержни изолированных консолей, а также в тяги и подкосы консолей. Такие изоляторы должны обладать повышенной механической прочностью.

Консольные изоляторы выполняются стержневыми фарфоровыми (рис. 3.18) и полимерными (рис. 3.19).

Консольные изоляторы выполняются стержневыми фарфоровыми (рис. 3.18) и полимерными (рис. 3.19).

Фиксаторные изоляторы предназначены для изоляции фиксаторов контактного провода от заземленных конструкций. На железных дорогах постоянного тока применяют как тарельчатые, так и стержневые изоляторы, на дорогах переменного тока преимущественно стержневые.

Фиксаторные тарельчатые изоляторы типа ФТФ-3,3-3, ФТФ-120-25 имеют внутреннюю резьбу в металлической шапке для соединения с фиксатором контактного провода. Фиксаторные стержневые фарфоровые изоляторы изготавливаются из электротехнического фарфора с оконцевателями из высокопрочного чугуна ВЧ45 и литейной стали 35Л. Для предотвращения коррозии предусмотрено антикоррозионное покрытие. Фиксаторные полимерные изоляторы имеют высокие механические характеристики, обладают дугоустойчивостью и широко используются в контактной сети российских железных дорог. Их выполняют со стеклопластиковыми сердечниками и защитными трекинговыми ребрами из кремнийорганического эластомера.

Секционный изолятор (рис. 3.20) является особым видом изоляторов, применяемых на воздушных линиях, так как по нему проходит полз токоприемника. Он предназначен для разделения контактной сети на секции. Устанавливается в основном на станционных путях. При этом во время замыкания или размыкания ползком секций на секционном изоляторе может появиться электрическая дуга, поэтому он оборудован устройствами дугоотведения и дугогашения.

На железных дорогах постоянного тока преимущественное распространение получили изоляторы с изолирующими вставками из полимерных прямоугольных брусков, а на дорогах переменного тока —

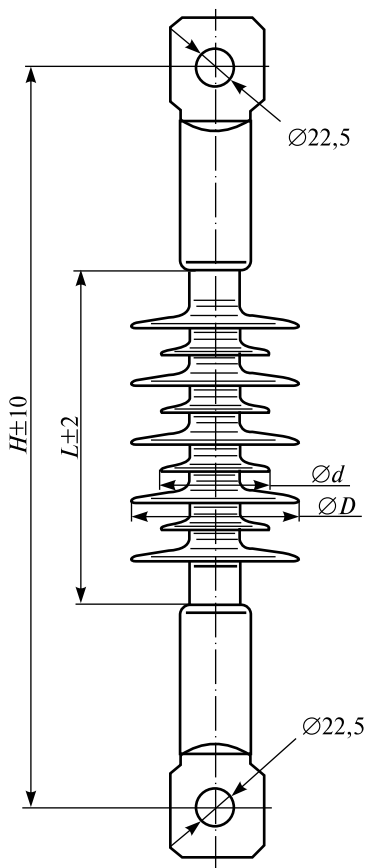


Рис. 3.17. Натяжной полимерный изолятор стержневого типа НСПКр 120-25:
 H , L , d , D — геометрические размеры изолятора

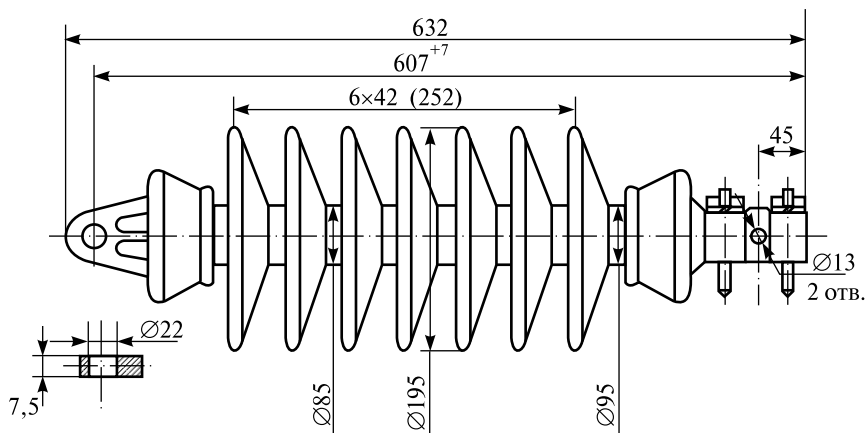
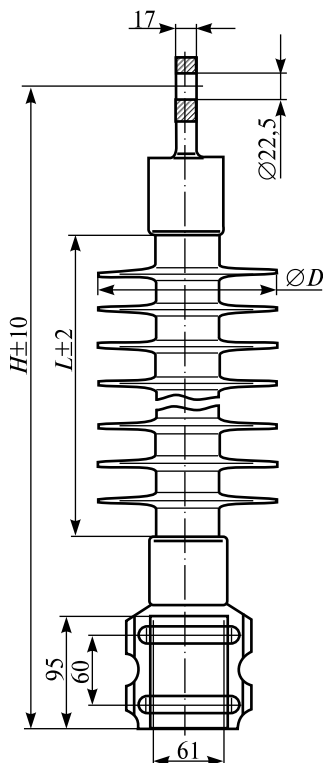


Рис. 3.18. Консольный стержневой фарфоровый изолятор КСФ-70-25



изоляторы с изолирующими вставками в виде круглых стержней с фторопластовыми чехлами.

Изолирующие элементы контактной сети. *Изолирующие вставки*, в отличие от изоляторов, являются составной частью какого-либо узла или устройства (например, секционного изолятора). Изолирующие вставки выполняют из полимерных материалов; в зависимости от назначения они могут быть брусковыми, стержневыми и вставками-скользунками.

Рис. 3.19. Консольный стержневой полимерный изолятор типа КСПКр 120-25:
 H , L , D — геометрические размеры изолятора

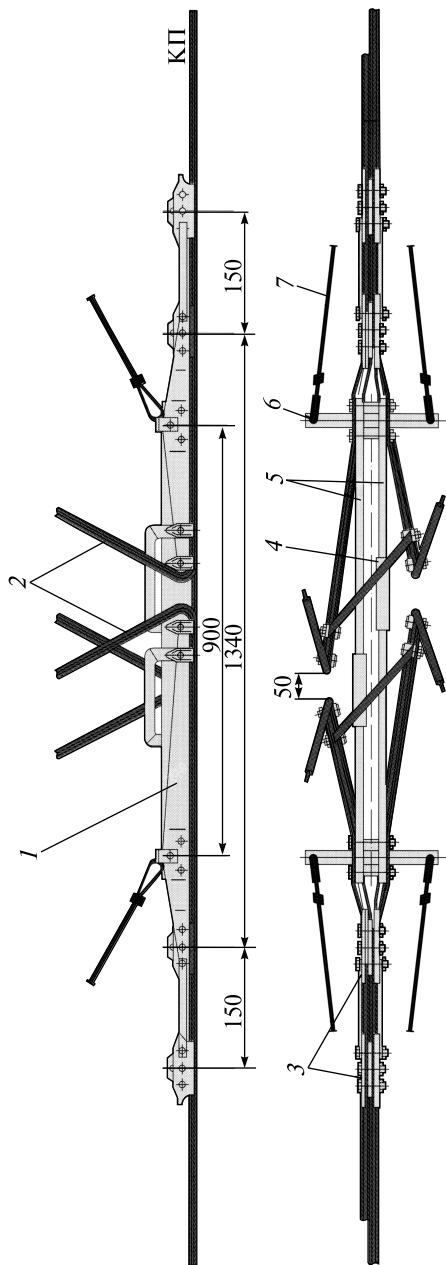


Рис. 3.20. Секционный изолятор:

1 — скользящий; 2 — дугогасящие рога; 3 — зажим средней анкеровки; 4 — регулировочные струны; 5 — полимерные вставки; 6 — скоба для подвески к несущему тросу; 7 — струны; КП — контактный провод

3.2.3. Поддерживающие устройства контактной сети

Поддерживающие устройства контактной сети представляют собой конструкции, предназначенные для закрепления в определенном положении относительно железнодорожного пути проводов контактной сети. К ним относятся консоли, кронштейны, жесткие и гибкие поперечины.

Консолью называется конструкция, состоящая из кронштейна, подкоса и тяги, шарнирно закрепленная на опоре. Консоли классифицируются:

- по количеству перекрываемых путей (однопутные, двухпутные, реже многопутные);
- форме (горизонтальные, наклонные, изогнутые);
- наличию изоляции от опоры (изолированные и неизолированные);
- наличию поворотного узла (поворотные и неповоротные).

Однопутные консоли (рис. 3.21, а) устанавливаются на одно- и двухпутных участках. На перегонах с большим количеством путей, а также на станциях допускается установка *двухпутных* консолей (рис. 3.21, б). Применение *многопутных* консолей должно быть вызвано крайней необходимостью в их установке при невозможности применения поперечин.

Горизонтальные консоли (рис. 3.22, а), кронштейны которых установлены под прямым углом к опорам контактной сети железной дороги, применяются в тех случаях, когда высота опоры достаточна для закрепления наклонной тяги.

Кронштейны *наклонных* консолей (рис. 3.22, б) выполняются из двух швеллеров, соединенных между собой соединительными планками, или из оцинкованных труб.

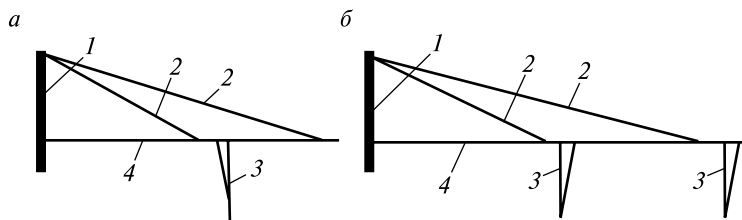


Рис. 3.21. Консоли контактной сети:

а — однопутная; б — двухпутная; 1 — опора; 2 — тяга; 3 — фиксаторная стойка; 4 — кронштейн

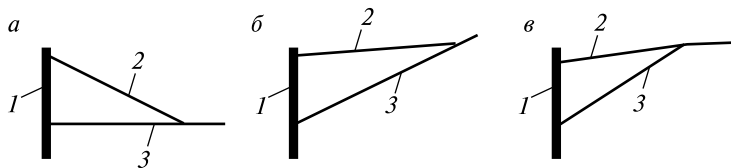


Рис. 3.22. Виды консолей:

а — горизонтальная; *б* — наклонная; *в* — изогнутая; 1 — опора; 2 — тяга; 3 — кронштейн

Изогнутые консоли (рис. 3.22, *в*) имеют фигурные кронштейны, состоящие из двух частей: наклонной под углом к опоре и горизонтальной. Кронштейны выполняются из швеллеров, крепятся к опоре с помощью пят и удерживаются растянутыми тягами из круглой стали.

Изолированные консоли находятся под одним потенциалом с контактной сетью и электрически изолированы от опор. Их крепят к опорным конструкциям через стержневые консольные изоляторы, размещаемые в тягах и кронштейнах (рис. 3.23). Достоинством таких консолей является возможность производить работы на несущем тросе рядом с ними без снятия напряжения.

Неизолированные консоли, напротив, электрически не изолированы от опор и находятся под одним потенциалом с землей. В таких консолях изоляторы располагаются между кронштейном и несущим тросом, а также в стержне фиксатора (рис. 3.24). Положение несущего троса при использовании неизолированных консолей более стабильно при механических воздействиях, что, в свою очередь, ведет к улучшению качества токосъема.

Как уже отмечалось, консоли крепятся к опорным конструкциям шарнирно с помощью пят, которые могут быть поворотными и неповоротными.

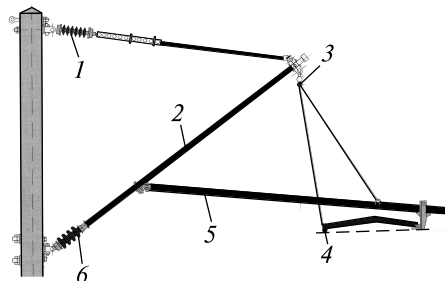


Рис. 3.23. Изолированная консоль:

1, 6 — изоляторы; 2 — кронштейн консоли; 3 — несущий трос; 4 — контактный провод; 5 — фиксатор

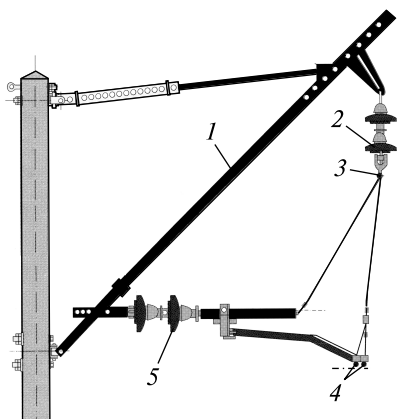


Рис. 3.24. Неизолированная консоль:

1 — кронштейн консоли; 2, 5 — изоляторы; 3 — несущий трос; 4 — контактные провода

Поворотные консоли имеют угол поворота вдоль оси пути на 90° , что позволяет обеспечить нормальную работу при температурных перемещениях несущего троса и предотвращает механическое повреждение деталей консолей при возможном его обрыве.

Кроме консолей, на опорах контактной сети также устанавливаются различные *кронштейны*, предназначенные для подвески усиливающих, питающих проводов контактной подвески, проводов линий продольного электропитания. Кронштейны бывают двух видов: обычные и удлиненные.

Фидерные кронштейны служат для крепления питающих и усиливающих проводов, кронштейны КФД предназначены для подвески проводов системы ДПР. Для проводов линий продольного электропитания 6—10 кВ используют деревянные или металлические кронштейны.

Как правило, все кронштейны устанавливаются горизонтально, за исключением кронштейнов КФД. Наклонное положение остальных кронштейнов допускается при невозможности выдержать нормативное расстояние от проводов контактной подвески до поверхности земли.

На многопутных участках и станциях с большим разветвлением путей установка большого количества опор с консолями нецелесообразна. Поэтому на таких участках предусмотрено применение жестких и гибких поперечин, перекрывающих большое количество путей.

Жесткие поперечины (рис. 3.25), состоящие из двух и более опор с закрепленными на них металлическими конструкциями (ригелями), предназначены для поддержания и фиксации проводов контактных подвесок нескольких электрифицированных путей.

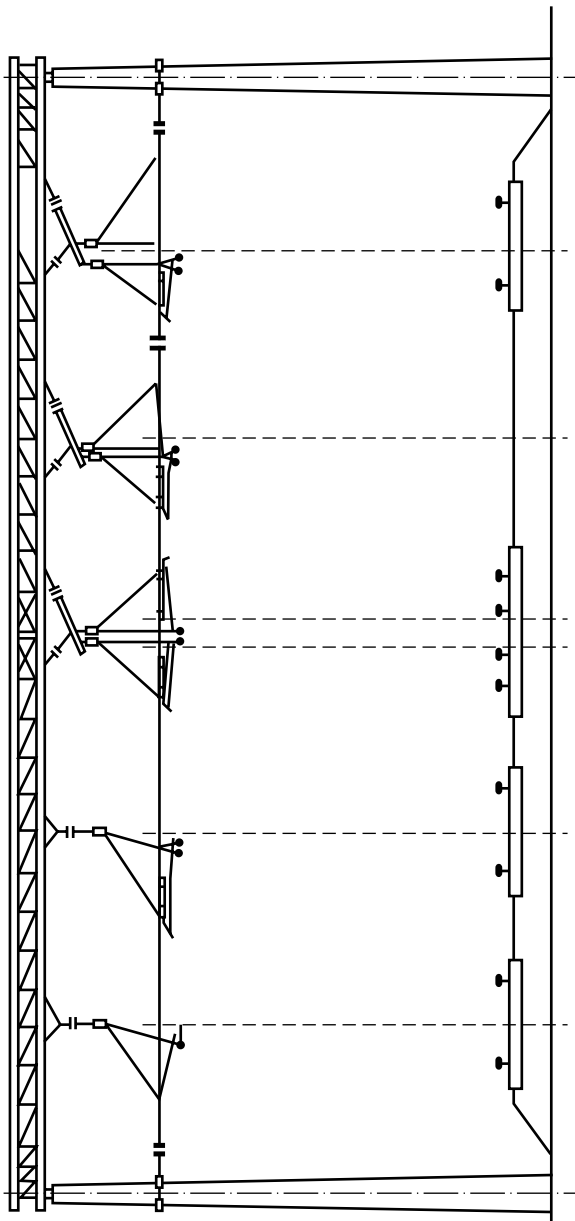


Рис. 3.25. Жесткая поперечина

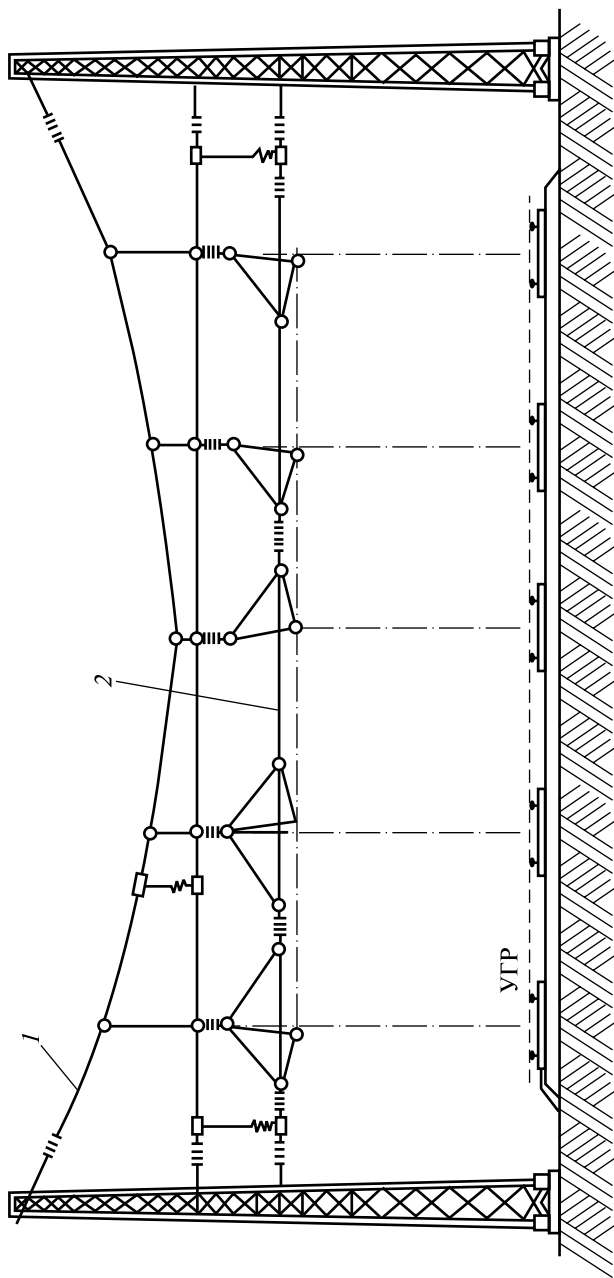


Рис. 3.26. Гибкая поперечина:
 1 — поперечный несущий трос; 2 — нижний фиксирующий трос; УГР — уровень головки рельсов

На жестких поперечинах очень удобно размещать осветительные приборы, поэтому их чаще всего устанавливают на станциях.

Несущий трос крепится к ригелю при помощи гирлянды изоляторов. Контактный провод закрепляется фиксаторами на фиксирующем тросе, натянутом между опорами жесткой поперечины.

Одновременно с помощью жесткой поперечины можно перекрыть от 3 до 8 путей. Основным недостатком жестких поперечин, как и любой металлической конструкции, является подверженность коррозии, а также невозможность проводить обслуживание без снятия напряжения.

Гибкие поперечины позволяют перекрывать еще большее количество путей — до 20. Гибкие поперечины (рис. 3.26) представляют собой конструкцию, состоящую из двух опор и системы тросов, натянутых над железнодорожными путями. Преимущественно гибкие поперечины выполняют изолированными, что позволяет производить профилактические осмотры, мелкий ремонт деталей контактной сети без снятия напряжения с контактной сети.

Система тросов, закрепленных между опорами, включает в себя поперечный несущий трос (ПНТ), верхний фиксирующий трос (ВФТ) и нижний фиксирующий трос (НФТ). Во все тросы врезаны изоляторы, обеспечивающие изоляцию токоведущих частей подвесок от опорных конструкций. Кроме этого, в нижний фиксаторный трос врезаются по два изолятора с каждой стороны с нейтральной вставкой между ними, которая с помощью электрических соединителей соединяется с верхним фиксирующим и поперечным несущим тросами. Такая конструкция позволяет выравнивать потенциалы и безопасно проводить все виды работ без снятия напряжения.

Поперечный несущий трос в такой конструкции воспринимает нагрузки не только от контактных подвесок, но и от собственного веса поперечины. Верхний фиксирующий трос фиксирует положение над осями пути несущих тросов подвесок, а нижний фиксирующий трос — положение контактных проводов.

3.2.4. Фиксирующие устройства контактной сети

Для обеспечения качественного токосъема полоз токоприемника электроподвижного состава должен иметь постоянный равномерный контакт с контактным проводом. Главными условиями для это-

го является постоянная высота подвеса контактного провода и возможность его стабильного отжатия токоприемником при любых климатических условиях на высоту до 250 мм. Кроме того, необходимо обеспечить его зигзагообразное подвешивание над осью пути. Для реализации этих условий в контактной сети предусмотрено использование специальных устройств, называемых фиксаторами.

Фиксатором контактного провода, согласно ГОСТ Р5368—2009, называется конструкция, предназначенная для закрепления положения контактного провода контактной подвески железной дороги в плане по отношению к оси железнодорожного пути и образования зигзага контактного провода контактной подвески.

Так как опорные или поддерживающие устройства, как правило, устанавливаются с одной стороны пути, то для создания зигзагов применяют прямые и обратные фиксаторы, которые могут быть сочлененными и несочлененными.

Сочлененные фиксаторы устанавливаются на главных путях станций и перегонов, а также на тех участках, где скорость движения электроподвижного состава превышает 50 км/ч.

Прямой сочлененный фиксатор (рис. 3.27) служит для создания минусового зигзага, направленного к опоре. Он состоит из трех частей: основного и дополнительного стержней, а также стойки. Фиксирующий зажим контактного провода крепится на конце дополнительного стержня.

Обратный сочлененный фиксатор (рис. 3.28) служит для создания плюсового зигзага, направленного от опоры. Он также состоит из трех частей, при этом длина его основного стержня больше, чем у прямого фиксатора.

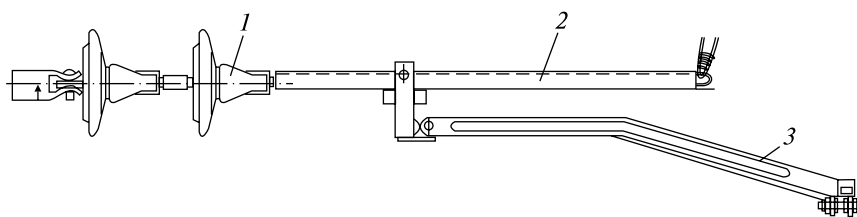


Рис. 3.27. Прямой сочлененный фиксатор:

- 1 — тарельчатый фиксаторный изолятор;
- 2 — основной стержень фиксатора;
- 3 — дополнительный стержень фиксатора

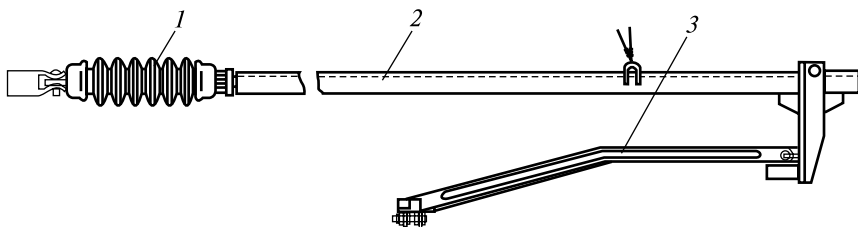


Рис. 3.28. Обратный сочлененный фиксатор:

1 — стержневой фиксаторный изолятор; 2 — основной стержень фиксатора;
3 — дополнительный стержень фиксатора

Кроме этого промышленностью выпускаются специальные *фиксаторы для воздушных стрелок*, представляющие собой основные стержни, на которых с помощью двух стоек закреплены два разнонаправленных дополнительных стержня.

Так же два дополнительных стержня устанавливают в контактных подвесках с двумя контактными проводами.

Несочлененные фиксаторы применяются на переходных опорах сопряжений анкерных участков для фиксации нерабочей анкеруемой ветви, при этом используется только основной стержень.

На гибких поперечинах для фиксации контактного провода на фиксирующем тросе используются так называемые *гибкие фиксаторы*, состоящие только из дополнительного стержня (рис. 3.29). Такие же гибкие фиксаторы монтируют на внешней стороне кривых малого радиуса.

На жестких поперечинах фиксаторы монтируют на специальных выносных стойках.

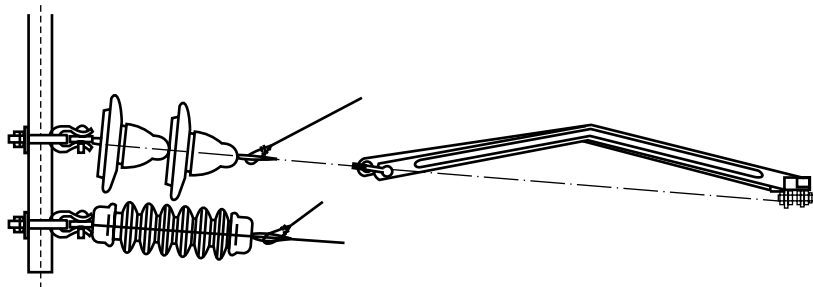


Рис. 3.29. Гибкий фиксатор

3.2.5. Опоры контактной сети

Опоры контактной сети, предназначенные для закрепления подерживающих и фиксирующих устройств контактной сети, принимают на себя также нагрузку от проводов контактной подвески. Классификация опор контактной сети отличается от классификации опор линий электропередачи в связи с особенностями их эксплуатации. Основное отличие заключается в виде используемых подерживающих устройств. По этому признаку опоры делятся на консольные, фидерные, стойки жестких поперечин, опоры гибких поперечин.

В свою очередь *консольные* опоры могут быть как однопутного, так и двухпутного исполнения. По назначению они делятся на промежуточные, переходные и анкерные.

Промежуточные консольные опоры служат для крепления одной контактной подвески.

Переходные консольные опоры устанавливаются на сопряжениях анкерных участков, на них закрепляются две контактных подвески анкеруемых участков.

Анкерные опоры воспринимают нагрузку от натяжения анкеруемых проводов, они устанавливаются с оттяжками.

Фидерные опоры предназначены для крепления питающих проводов, передающих электроэнергию от тяговых подстанций к контактной подвеске.

Стойки жестких поперечин отличаются от остальных опор дополнительной нагрузкой со стороны металлических ригелей, которые устанавливаются на них либо жестко с помощью подкосов, либо шарнирно.

Опоры гибких поперечин служат для крепления системы тросов, фиксирующих провода контактных подвесок перекрываемых путей.

Все вышеперечисленные типы опор на российских железных дорогах чаще всего выполняются железобетонными. На участках постоянного тока для защиты от электрокоррозии, вызываемой блуждающими токами, железобетонные опоры дополняют стержневой арматурой в фундаментной части.

Металлические опоры применяются лишь в тех случаях, когда есть необходимость в увеличении несущей способности, например в гибких поперечинах или на линиях с высокоскоростным движе-

нием. Их выполняют четырехгранными пирамидальной формы длиной 15 или 20 м.

Деревянные опоры в настоящее время используются только как временные.

3.2.6. Арматура контактной сети

К арматуре контактной сети относятся детали и зажимы, предназначенные для подвешивания, механического и электрического соединения проводов контактной подвески между собой, а также с опорными, поддерживающими и фиксирующими устройствами контактной сети.

Арматура контактной сети работает в сложных условиях, постоянно подвергаясь атмосферным воздействиям окружающей среды, химическим воздействиям при работе в местах с загрязненным от промышленных выбросов воздухом, вблизи морей, механическим воздействиям и вибрациям от электроподвижного состава. Поэтому к ней предъявляются серьезные требования по качеству изготовления и эксплуатации.

По назначению арматуру контактной сети можно разделить на: натяжную, петловую, фиксирующую и токопроводящую, механически малонагруженную.

К *натяжной* арматуре (рис. 3.30) относятся различные стыковые и концевые зажимы, предназначенные для натягивания проводов контактной подвески.

В состав *подвесной* арматуры (рис. 3.31) входят струновые зажимы, седла и другие детали, предназначенные для подвешивания проводов к поддерживающим устройствам или друг к другу.

Фиксирующая арматура (рис. 3.32) включает в себя фиксирующие зажимы, держатели, ушки и другие изделия, необходимые для фиксации проводов контактной подвески в заданном положении.

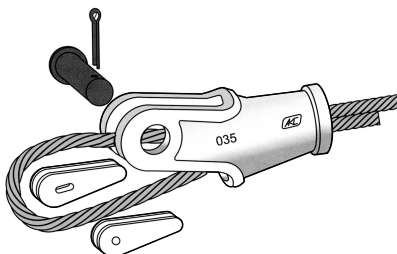


Рис. 3.30. Пример натяжной арматуры контактной сети концевой клиновидной зажим

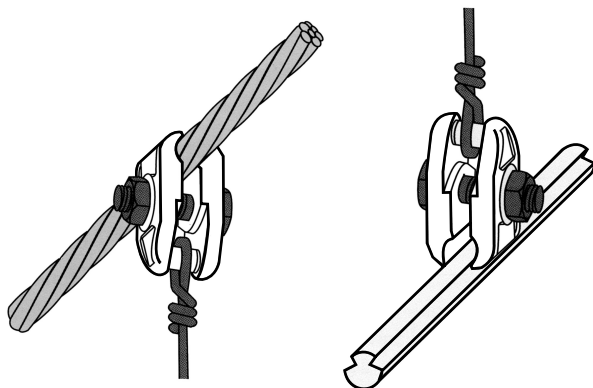


Рис. 3.31. Пример подвесной арматуры контактной сети струновые зажимы

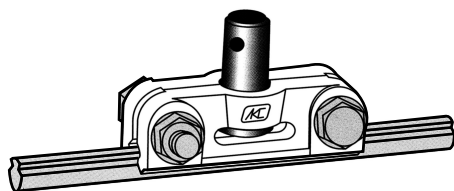


Рис. 3.32. Пример фиксирующей арматуры (зажим фиксирующий для контактного провода)

Токосоводящая механически малонагруженная арматура — это питающие и соединительные зажимы, переходные зажимы от медных к алюминиевым проводам. Их особенностью является небольшая механическая нагрузка.

В соответствии с ГОСТ 12393—77 «Арматура контак-

тной сети для электрифицированных железных дорог. Общие технические условия», арматура должна изготавливаться:

- из углеродистой стали;
- кремнистой латуни;
- алюминиевых сплавов;
- ковкого чугуна;
- серого чугуна;
- бронзы;
- меди.

Из *углеродистой стали* марки СтЗсп5 (спокойной) изготавливают все детали, которые имеют резьбу, кованые пестики и серьги, соединительные планки, а также все виды натяжных штанг. Из стали марки СтЗкп2 (кипящей) выполняются зажимы заземления, а

также штанги для грузов и другие малонагруженные детали, изготовление которых предусмотрено из кипящей стали. Остальные детали изготавливают из стали марки СтЗпс5 (полуспокойной).

Из *ковкого и серого чугуна* выполняются изделия, при помощи которых крепятся провода и изоляторы в узлах, не предусматривающих прохождение тока. Такую арматуру оцинковывают или покрывают другими влагозащитными покрытиями.

Из *медного, латунного и бронзового литья* изготавливают детали для крепления и стыкования контактных проводов и тросов в узлах, через которые предусматривается прохождение тока. Соответственно для алюминиевых и сталеалюминиевых проводов такие детали выполняют из *алюминиевых сплавов*.

Поверхность всех деталей арматуры должна быть чистой, не иметь отколотых частей, трещин и дефектов, которые снижают качество изделий арматуры.

3.2.7. Сопряжения анкерных участков и воздушные стрелки контактной сети

В соответствии с ГОСТ 2584—86 контактный провод имеет строительную длину в зависимости от сечения от 1400 до 2000 м. Для того чтобы обеспечить непрерывность прохождения токоприемника по контактным проводам, а также для установки устройств, которые поддерживают натяжение проводов цепной подвески при температурных колебаниях, контактную сеть делят на анкерные участки.

Анкерный участок — это участок контактной сети, ограниченный анкерными опорами, длина которого определяется скоростями движения по этому участку электроподвижного состава. На участках со скоростями движения менее 160 км/ч она не превышает 1600 м, а на участках со скоростным и высокоскоростным движением — 1400 км/ч. Также влияет на длину анкерных участков протяженность и радиус кривых.

Для плавного перехода токоприемника электроподвижного состава, движущегося с установленной скоростью, с одного анкерного участка на другой в контактной сети выполняются сопряжения анкерных участков.

Сопряжением анкерных участков называется комплекс устройств контактной сети, соединяющий два смежных анкерных участка,

обеспечивая при этом механическое разделение проводов контактной подвески. Плавность перехода токоприемника при этом достигается с помощью размещения контактных проводов обеих подвесок в одном пролете.

Сопряжения анкерных участков в зависимости от необходимости электрического разделения контактной подвески на отдельные секции бывают неизолирующими и изолирующими.

Если сопрягаемые анкерные участки входят в состав одной и той же секции, то для них выполняют *неизолирующее сопряжение*, выполняющее только механическое разделение проводов и обеспечивающее проход электроподвижного состава без перерыва в электроснабжении. Такие сопряжения чаще всего выполняют в трехпролетном, реже в двухпролетном исполнении, так как при монтаже сопряжения в двух пролетах образуется «жесткая точка» в месте соединения контактных проводов, что ухудшает качество токосъема.

В трехпролетном неизолирующем сопряжении (рис. 3.33) полз токоприемника сначала скользит по контактному проводу одной подвески (при этом второй контактный провод располагается в районе переходной опоры выше первого на 200 мм), затем в среднем пролете между двумя переходными опорами — по двум контактным проводам, расположенным в средней части пролета на одной высоте, а затем — по контактному проводу второй контактной подвески (провода первой контактной подвески поднимаются и анкеруются

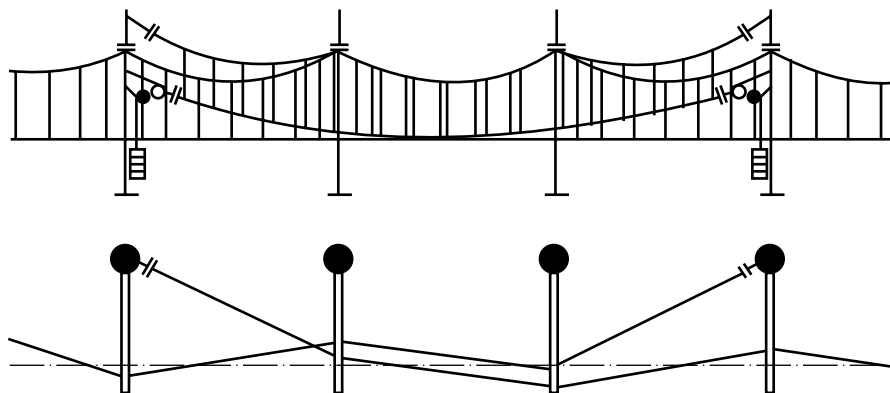


Рис. 3.33. Неизолирующее трехпролетное сопряжение

на анкерной опоре). Для надежного электрического соединения на таких сопряжениях устанавливаются электрические продольные соединители, которые имеют площадь сечения, эквивалентную площади сечения проводов контактной сети.

При необходимости обеспечить не только механическое разделение контактной сети, но и разделить ее на отдельные секции, выполняют *изолирующее сопряжение* анкерных участков, которое будет подробно рассмотрено в гл. 4.

При движении электроподвижного состава по стрелочным переходам также возникает необходимость плавного перехода полоза токоприемника с одной контактной подвески на другую. Для этой цели в контактной сети монтируют специальный узел, который называется *воздушной стрелкой*.

Воздушные стрелки монтируются на одной высоте над стрелочным переходом (рис. 3.34). Вид воздушной стрелки определяется типом стрелочного перехода.

Различают три вида воздушных стрелок: с пересечением двух подвесок на обыкновенном стрелочном переходе, с двойным ромбовидным пересечением контактных проводов на перекрестном стрелочном переходе и с сопряжением контактных подвесок на глухом пересечении путей.

Обе сопрягаемые контактные подвески соединяются между собой электрическими соединителями.

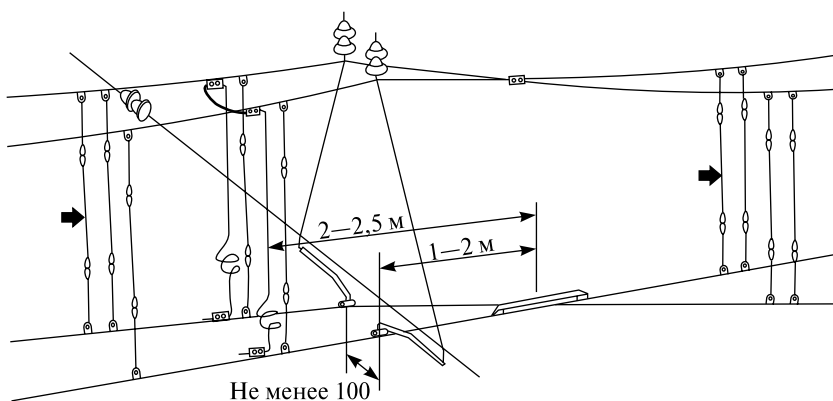


Рис. 3.34. Воздушная стрелка

Для того чтобы при прохождении токоприемника исключить возможность попадания контактного провода под полоз токоприемника, они фиксируются планкой, которая поднимает оба провода одновременно.

Воздушная стрелка, сооружаемая над обыкновенным стрелочным переводом, состоит из двух перекрестных контактных подвесок, фиксирующих устройств и электрических соединителей.

Воздушная стрелка на глухом пересечении (т.е. при отсутствии стрелочного перевода) включает в себя пересекающиеся контактные подвески, электрические соединители и ограничительную трубку. Место пересечения проводов контактных подвесок в таких стрелках располагается строго над центром пересечения.

Провода воздушной стрелки над перекрестным стрелочным переводом располагаются также по центру, причем контактные провода фиксируются таким образом, что образуют двойное ромбовидное пересечение. Над ними дважды соединяют несущие тросы.

3.2.8. Особенности конструкции контактной сети для питания высокоскоростного подвижного состава

Увеличение скоростей движения электроподвижного состава предъявляет повышенные требования к конструкции контактной сети. Самые уязвимые места контактной сети на высоких скоростях — это ее опорные узлы, сопряжения и воздушные стрелки.

В опорных узлах для повышения эластичности контактной подвески и снижения механических нагрузок применяются различные способы улучшения работы их отдельных элементов: консолей, фиксаторов, опор.

Кронштейны и тяги изолированных консолей на участках со скоростным и высокоскоростным движением выполняются полностью трубчатыми. В фиксаторах, применяемых на таких линиях, используют дополнительные стержни со значительно сниженным весом, выполненные из алюминиевых сплавов.

На линиях с высокоскоростным движением устанавливают металлические опоры, обладающие большой надежностью.

На высокоскоростных магистралях для увеличения плавности перехода полоза токоприемника и качества токосъема иногда монтируют не трех-, а четырех- и пятипролетные сопряжения анкерных участков.

Глава 4. ПИТАНИЕ И СЕКЦИОНИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

Надежность работы контактной сети во многом определяется тем, как организовано ее питание и как достигается безопасность при аварийных режимах. Выбор схемы питания контактной сети и ее эффективность определяются по технико-экономическим показателям, таким как напряжение на электроподвижном составе, потери активной мощности, длина участка, отключаемого при аварийных ситуациях. Для обеспечения безопасности на контактной сети применяется ее секционирование.

4.1. Схемы питания контактной сети

Схемы питания контактной сети могут быть разделены на две основные группы: схемы с односторонним питанием и схемы с двухсторонним питанием.

При *одностороннем* питании контактной сети электроподвижной состав, находящийся в межподстанционной зоне, получает питание только от одной тяговой подстанции. Такое питание еще называют консольным питанием. Различают два вида консольного питания: консольное питание контактной сети по всей длине межподстанционной зоны и встречно-консольное питание с отдельной работой смежных тяговых подстанций.

При *одностороннем консольном* питании электроподвижной состав, находящийся на перегоне, получает питание только от одной тяговой подстанции (рис. 4.1, *а*).

При *встречно-консольном* питании провода контактной подвески в середине межподстанционной зоны разделяются, как правило, нейтральной вставкой (рис. 4.1, *б*). В этом случае электроподвижной состав при движении получает питание сначала от одной из смежных подстанций, а затем — от другой.

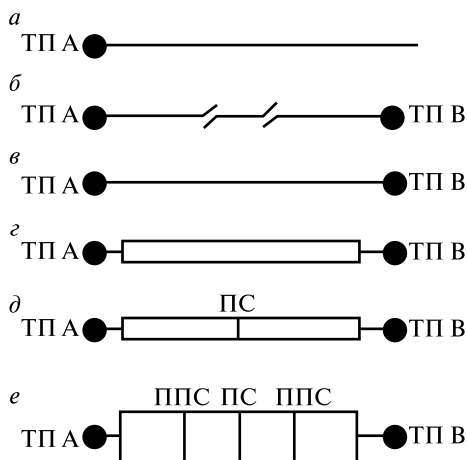


Рис. 4.1. Принципиальные схемы питания контактной сети:

a — с односторонним консольным питанием однопутного участка; *б* — с односторонним встречно-консольным питанием однопутного участка; *в* — с двухсторонним питанием однопутного участка; *г* — раздельная схема питания двухпутного участка; *д* — узловая схема питания; *е* — параллельная схема питания; ТП А, ТП В — тяговые подстанции; ПС — пост секционирования; ППС — пункт параллельного соединения

К достоинствам схем с односторонним питанием можно отнести то, что при коротком замыкании на них происходит отключение меньшей части участка и в такой системе отсутствуют уравнивающие токи. Кроме того, при одностороннем питании меньше ток короткого замыкания, что снижает вероятность пережога контактного провода. Однако в таких схемах существует большое количество недостатков: они менее надежны в случае повреждений на питающих фидерах или на подстанциях, нагрузка на тяговых подстанциях и в контактной сети неравномерна по времени, большая величина токов, протекающих по контактной подвеске, приводит к увеличению потерь активной мощности и снижению напряжения на токоприемниках электроподвижного

состава. Кроме того, во встречно-консольных схемах в месте разделения контактной сети может возникнуть большая разница напряжений на каждом участке, что усложняет и контактную подвеску, и работу локомотивной бригады при проследовании под нейтральной вставкой.

Двухстороннее питание характеризуется параллельной работой смежных тяговых подстанций, при этом электроподвижной состав получает питание одновременно от обеих подстанций (рис. 4.1, *в*).

Схемы двухстороннего питания для двухпутных участков подразделяются на раздельные, узловые и параллельные.

Раздельные схемы питания предполагают отдельное питание для каждого пути, при этом в межподстанционной зоне контактные подвески между собой электрически не соединяются (рис. 4.1, *г*).

При *узловой* схеме питания контактной сети в середине межподстанционной зоны устанавливается пост секционирования ПС (рис. 4.1, *д*), который не только обеспечивает электрическое соединение контактных подвесок в нормальном режиме, но и служит для разделения контактной сети на отдельные участки в аварийных ситуациях.

Параллельная схема питания контактной сети предусматривает установку между тяговыми подстанциями и постом секционирования пунктов параллельного соединения ППС, которые обеспечивают электрическое соединение контактных подвесок обоих путей (рис. 4.1, *е*). Такие схемы особенно эффективны в местах с интенсивной рекуперацией энергии, так как позволяют выравнять ток в контактных подвесках, облегчают передачу тока от рекуперирующего к тяговому электроподвижному составу.

Двухстороннее питание имеет ряд преимуществ перед односторонним, в первую очередь, из-за более равномерной загрузки тяговых подстанций и меньшего тока, протекающего по контактной подвеске. Это приводит к уменьшению нагрева проводов контактной подвески, снижению потерь активной мощности и потерь напряжения в контактной сети.

При этом в таких схемах неизбежно возникновение уравнильного тока из-за неравенства напряжений на шинах смежных подстанций, что приводит к дополнительным потерям электроэнергии. В некоторых случаях появление значительного уравнильного тока, например, в некоторых системах, электрифицированных на переменном токе, может полностью уничтожить преимущества перед односторонним. Подобные ситуации могут возникнуть при питании смежных тяговых подстанций от разных энергосистем, при большой неравномерности нагрузок плеч питания соседних подстанций, а также в случае питания межподстанционной зоны тяговыми подстанциями, которые получают питание по линиям электропередачи разного напряжения.

4.2. Секционирование контактной сети

4.2.1. Виды секционирования контактной сети

Секционированием контактной сети называется разделение контактных подвесок на отдельные участки (секции) с целью увеличения надежности работы контактной сети и улучшения ее обслужи-

вания. Секционирование делает возможным выполнять профилактические и ремонтные работы на одном участке, не прекращая движение поездов по другим, уменьшать зону повреждения при аварийных ситуациях, снижать потери напряжения и мощности.

Различают два вида секционирования: продольное и поперечное.

При *продольном* секционировании контактную сеть возле тяговых подстанций и постов секционирования, а также в местах при-
мыкания перегонов к станциям, делят на отдельные секции, электрически изолированные друг от друга. В отдельные секции выделяются перегоны, станции, обгонные пункты, разъезды, а также крупные искусственные сооружения.

Продольное секционирование осуществляется с помощью изолирующих сопряжений анкерных участков и нейтральных вставок.

Изолирующее сопряжение, так же как и неизолирующее, рассмотренное в п. 3.2.7, чаще всего выполняется в трехпролетном исполнении, но, в отличие от него, выполняет не только механическое, но и электрическое разделение контактной сети. Различают изолирующее сопряжение с нейтральной вставкой и без нее.

Изолирующее сопряжение без нейтральной вставки (рис. 4.2) конструктивно практически не отличается от неизолирующего сопряжения. Отличительной особенностью является отсутствие электрического соединения между подвесками, а также увеличенное расстояние между контактными проводами в переходном пролете. В неизолирующем сопряжении оно составляет 100 мм, а изолирующем — 550 мм, что является достаточным для образования воздушного промежутка, который вместе с изоляторами образует электрическую независимость двух анкерных участков.

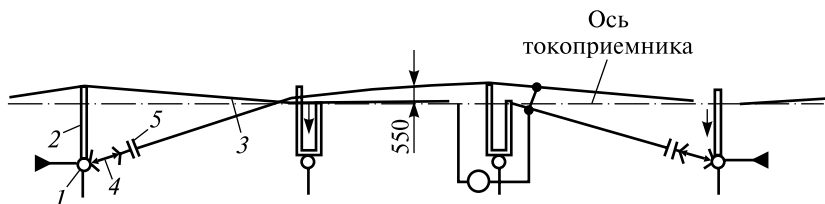


Рис. 4.2. Изолирующее сопряжение анкерных участков без нейтральной вставки:

1 — опора; 2 — консоль; 3 — питающее соединение; 4 — анкеровка; 5 — изоляторы

Процесс движения полоза токоприемника по изолирующему сопряжению происходит аналогично неизолирующему. При прохождении по переходному пролету полоза токоприемника воздушный промежуток на короткое время перекрывается и секции замыкаются между собой.

На дорогах переменного тока, на участках с разным напряжением контактной сети, а также в тех случаях, когда по условиям эксплуатации должно быть исключено даже кратковременное замыкание секций, монтируют *изолирующее сопряжение с нейтральной вставкой* (рис. 4.3).

Такое сопряжение состоит из двух последовательно соединенных изолирующих сопряжений, между которыми имеется участок контактной подвески, на котором отсутствует напряжение, так называемая нейтральная вставка. Ее длина определяется типом эксплуатируемого на данном участке электроподвижного состава и должна быть достаточной, чтобы исключить одновременное перекрытие воздушных промежутков двумя поднятыми токоприемниками.

Серьезной проблемой на участках с нейтральной вставкой является пережог контактного провода. Чтобы его исключить, прохождение изолирующего сопряжения с нейтральной вставкой электроподвижным составом необходимо осуществлять по инерции. Для этого за 50 м до нейтральной вставки и через 50 м (при электровозной тяге) или 200 м (при моторвагонной тяге) устанавливаются специальные предупредительные сигнальные знаки: «Отключить ток» и «Включить ток». На участках со скоростным и высокоскоростным движением на электроподвижном составе предусматривается установка автоматических устройств отключения тока.

При остановке состава под нейтральной вставкой его выведение осуществляется с помощью секционных разъединителей, которые

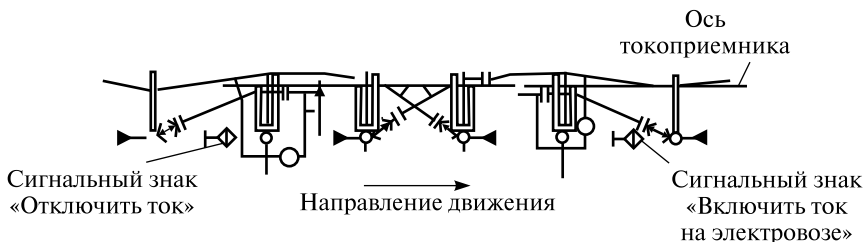


Рис. 4.3. Изолирующее сопряжение анкерных участков с нейтральной вставкой

кратковременно подают напряжение на контактную подвеску по ходу движения поезда.

Поперечное секционирование применяют для разделения контактной сети главных путей на двухпутных и многопутных участках. Такое секционирование осуществляют при помощи секционных изоляторов, которые должны обеспечивать проход по ним ползцов токоприемников электроподвижного состава с установленной скоростью. Их конструктивные особенности были рассмотрены в п. 3.2.2.

Для соединения секций контактной сети между собой и с питающими линиями, заземления отключаемой секции предназначены специальные устройства, называемые секционными разъединителями.

На дорогах постоянного тока устанавливаются, как правило, секционные разъединители вертикально-рубящего типа, на дорогах переменного тока — горизонтально-поворотного. По назначению секционные разъединители бывают продольными (буквы А, Б, В, Г и т.д. в обозначении), поперечными (П), фидерными (Ф), тупиковыми. Крепятся секционные разъединители на опорах на специальных консолях на высоте подвеса несущего троса. Приводятся в действие ручным приводом, а также дистанционно.

4.2.2. Схемы секционирования контактной сети

Для секционирования контактной сети используются типовые принципиальные схемы секционирования, которые учитывают многолетний опыт эксплуатации и технико-экономические расчеты при проектировании контактной сети. Основные типовые схемы секционирования выполняются совместно со схемами питания контактной сети.

На рис. 4.4 приведена типовая схема питания и секционирования, выполненная для однопутной линии, электрифицированной на переменном токе. Питание осуществляется через фидерные секционные разъединители Ф1, Ф2 и Ф3, обеспечивающие подачу электроэнергии на контактную сеть перегонов (Ф1, Ф2) и станции (Ф3). На изолирующих сопряжениях установлены продольные секционные разъединители А, Б. Поперечное секционирование осуществляется с помощью поперечного секционного разъединителя П.

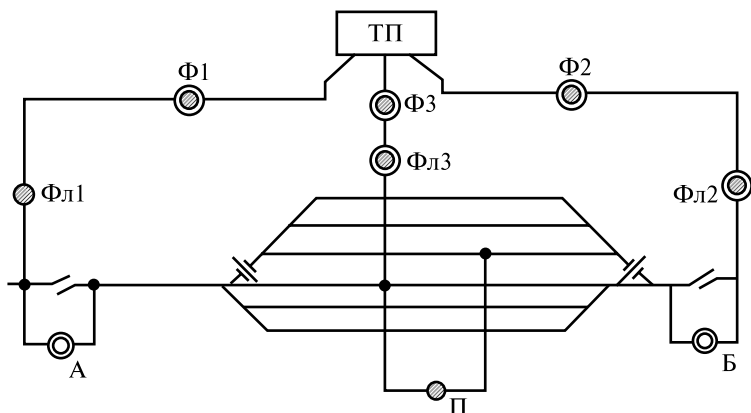


Рис. 4.4. Схема питания и секционирования на однопутной линии постоянного тока:

ТП — тяговая подстанция; Фл1—Фл3 — линейные фидеры

На рис. 4.5 представлена типовая схема питания и секционирования двухпутного участка станции и перегонов, получающих питание от одной тяговой подстанции переменного тока. Так как для равномерности нагрузки фазы на перегонах чередуются, то нейт-

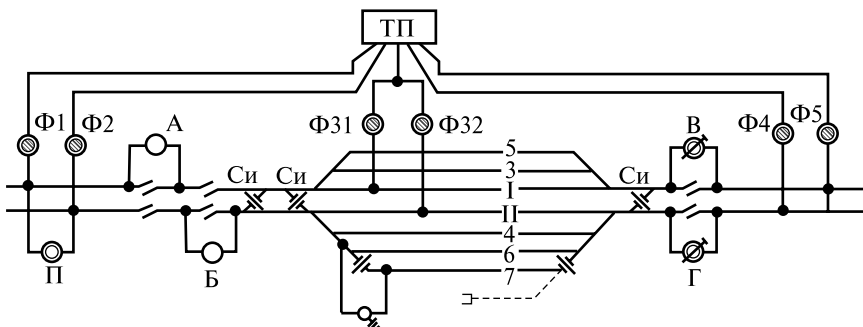


Рис. 4.5. Схема питания и секционирования двухпутного участка станции и перегонов на переменном токе:

ТП — тяговая подстанция; I, II — главные пути; 5, 3, 4, 6, 7 — путевое развитие станции; Ф31, Ф32 — фидерные разъединители главных путей; Си — секционный изолятор; В, Г — продольные разъемы; — разъединитель заземляющий с ручным приводом нормально отключенный; — разъединитель телеуправляемый нормально отключенный

ральная вставка монтируется с той стороны станции, где происходит смена фаз. Фидеры контактной сети соединяют с подвеской через фидерные разъединители Ф1—Ф5. Для резервирования каждого из двух фидеров, подключенных к одной и той же фазе, применяют поперечные разъединители П. Секционные разъединители А и Б, которые в нормальном режиме отключены, имеют ручной привод и предназначены для того, чтобы подать напряжение на нейтральную вставку в случае остановки под ней электроподвижного состава.

4.3. Стыкование участков постоянного и переменного тока

В связи с тем что в России применяется системы тягового электроснабжения двух родов тока: постоянного и переменного, на границе электрифицированных участков возникает необходимость в стыковании систем тяги.

Станции стыкования, которые наиболее распространены на российских железных дорогах, имеют секции постоянного и переменного тока и секции переключения (рис. 4.6). При этом на переключаемую секцию 14 предусматривается возможность подачи как постоянного, так и переменного напряжения. Секционирование осуществляется при помощи секционных изоляторов 11 и открытых воздушных промежутков (изолирующих сопряжений анкерных участков) 7. Со стороны участка, электрифицированного на переменном токе, предусмотрена нейтральная вставка 10. Рельсовая цепь имеет изолирующие стыки 13.

Напряжение подается на переключаемую секцию с помощью специальных переключателей, которые приводятся в действие дистанционными приводами, заблокированными с устройствами маршрутно-релейной централизации станции. При этом после отцепки электровоза и выхода его с переключаемой секции, напряжение на этой секции может быть изменено, даже несмотря на занятость пути несоаходным подвижным составом.

Секционные разъединители и переключатели объединяются в специальные блоки, называемые пунктами группировки 12. Каждый из них получает питание по двум фидерам: один постоянного тока от РУ-3,3 кВ (3), другой — переменного от РУ-27,5 кВ (9).

При въезде электровоза на территорию станции стыкования на переключаемую секцию подается такое же напряжение, как и на

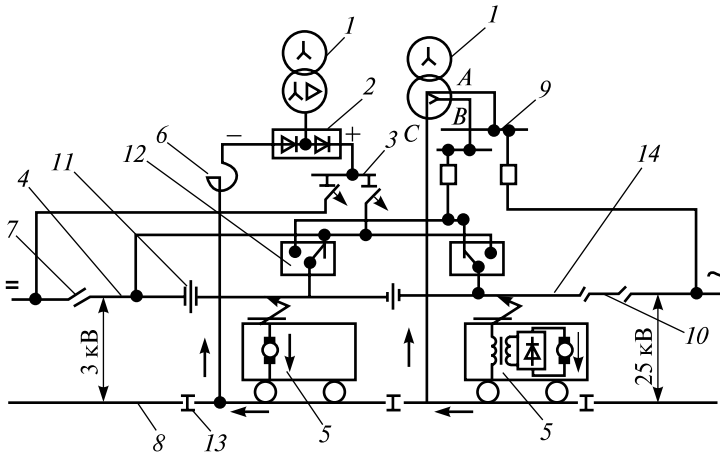


Рис. 4.6. Схема тягового электроснабжения станции стыкования постоянного и переменного тока:

1 — тяговый трансформатор; 2 — выпрямительный агрегат; 3 — РУ-3,3 кВ; 4 — контактная подвеска (непереключаемая секция); 5 — ЭПС; 6 — реактор; 7 — открытый воздушный промежуток (изолирующее сопряжение анкерных участков); 8 — тяговая рельсовая цепь; 9 — РУ-27,5 кВ; 10 — нейтральная вставка; 11 — секционный изолятор; 12 — пункт группировки; 13 — изолирующий стык рельсовой цепи; 14 — контактная подвеска (переключаемая секция); A, B, C — фазы

перегоне, с которого прибыл электроподвижной состав. После того как электровоз будет выведен с переключаемой секции, на нее подается напряжение другого рода тока и после сцепки электровоза другого питания с составом он выводится на следующий перегон.

Для безостановочного проследования электроподвижного состава двойного питания по станции стыкования необходимо одну из секций контактной сети обесточить, превратив ее на время в нейтральную вставку. При этом длина такой секции должна быть достаточной для того, чтобы все устройства на ЭПС успели при въезде на нее прийти в «нулевое состояние», а после выезда на участок с другим родом тока перевестись в рабочее состояние с нужной схемой питания.

Глава 5. ЗАЩИТА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

5.1. Основные способы защиты систем электроснабжения

Системы электроснабжения в процессе эксплуатации должны обеспечивать надежную работу всех элементов, которые участвуют в процессе передачи электроэнергии. При этом каждый такой элемент имеет свои особенности работы в нормальном и аварийном режиме, что требует особого подхода в организации защиты устройств электроснабжения.

Так как системы электроснабжения железных дорог являются сложными производственными системами, все элементы которых связаны между собой, то при возникновении повреждений аварийного характера, которые характеризуются быстротой развития, надежность функционирования напрямую зависит от быстродайствия защитных устройств. Это возможно только при автоматическом управлении ими. Поэтому в системах электроснабжения широко используются различные автоматические устройства, среди которых главное место занимает релейная защита и автоматика. Кроме того, для эффективной защиты контактной сети от всех видов перегрузки и возникновения коротких замыканий между тяговыми подстанциями устанавливаются посты секционирования.

5.1.1. Релейная защита

Релейная защита — это комплекс устройств автоматики, который предназначен для быстрого определения места повреждения и отделения его от остальной части системы электроснабжения с целью безопасного функционирования остальных устройств этой системы.

Нарушения в системах электроснабжения, как правило, возникают при следующих аварийных режимах: перегрузках, коротком замыкании, а также при коммутационных и атмосферных перенапряжениях.

Релейная защита работает по принципу непрерывного контроля над состоянием всех элементов системы электроснабжения. При возникновении аварийных ситуаций или ненормальных режимов работы, она воздействует на механизмы силовых выключателей, которые размыкают поврежденные цепи. На тяговых подстанциях переменного тока такими выключателями являются, как правило, масляные выключатели, на подстанциях постоянного тока — быстродействующие автоматические выключатели, принцип действия которых рассмотрен в гл. 2.

Защита всех устройств электроснабжения железных дорог построена таким образом, чтобы при возникновении любых ненормальных режимов работы в первую очередь срабатывала защита на тяговых подстанциях и постах секционирования. Это условие позволяет предотвратить возникновение повреждений электрического оборудования электроподвижного состава.

Релейная защита в устройствах тягового электроснабжения контролирует работу питающих линий и шин распределительных устройств подстанций, силовых и измерительных трансформаторов, преобразователей, фидеров контактной сети, линий СЦБ, постов секционирования и пунктов параллельного соединения.

К релейной защите систем электроснабжения предъявляются следующие требования:

- селективность;
- быстродействие;
- чувствительность;
- надежность.

Селективность — это способность релейной защиты отключать только поврежденный участок ближайшими к нему выключателями.

Быстрота отключения или *быстродействие* релейной защиты — время, которое затрачивается на выявление и отделение поврежденного участка. Основным показателем быстродействия является время срабатывания защиты.

Чувствительностью называется способность релейной защиты выявлять повреждения, на которые она рассчитана, в любом режиме работы системы электроснабжения.

Надежность релейной защиты заключается в ее способности срабатывать только при аварийных и ненормальных режимах работы системы и нормально функционировать в остальных режимах ра-

боты. Основными показателями надежности являются безотказность работы и интенсивность отказов (количество отказов за определенный промежуток времени).

Основным элементом релейной защиты является реле — устройство, которое срабатывает при достижении входного параметра определенного, заранее заданного уровня, так называемой уставки срабатывания. Уставку выбирают таким образом, чтобы защита срабатывала быстрее, чем в защищаемой цепи начнутся серьезные повреждения.

По *выполняемым функциям* реле подразделяются на измерительные, промежуточные и исполнительные.

Измерительные реле контролируют работу элементов и по значениям контролируемых параметров выявляют нарушение нормального режима работы.

Промежуточные реле сигнализируют о наличии повреждения, размножают этот сигнал, при необходимости изменяют его знак, а также для обеспечения селективности в некоторых случаях задерживают его на определенный промежуток времени.

Исполнительные реле усиливают сигнал до величины, достаточной для обеспечения срабатывания коммутационных аппаратов.

По принципу действия реле бывают электромагнитными, электродинамическими, индукционными, полупроводниковыми.

Основными видами релейной защиты в устройствах тягового электроснабжения являются: токовые защиты, дифференциальная защита, дистанционная защита, газовая защита, защита от минимального напряжения, дифференциально-фазная защита.

Наиболее точно определяемым признаком возникновения в системе короткого замыкания, а также большинства ненормальных режимов, является резкое увеличение тока. Именно на этом основывается действие *токовых защит*.

Токовые защиты выполняются ненаправленными и направленными. К *ненаправленным* защитам относятся максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка (ТО). Также применяется максимальная токовая *направленная* защита, срабатывание которой происходит только при определенном направлении мощности в поврежденной цепи.

Токовая отсечка подключается к защищаемой цепи через трансформатор тока ТА. Токовое реле, настроенное на определенный ток

срабатывания, в нормальном режиме не функционирует, и защита бездействует. При появлении в цепи токов, превышающих значение уставки, в реле тока под действием электромагнитных сил замыкаются контакты, подающие сигнал на отключение выключателя защищаемого объекта.

Однако увеличение тока в каком-либо элементе цепи не всегда является следствием его повреждения. Например, в электрической сети, которая состоит из трех секций ток короткого замыкания проходит от источника питания к точке к.з. как по поврежденному участку, так и по неповрежденным участкам. Если не установить дополнительных устройств, то защита отключит все участки, что недопустимо по условиям селективности.

Защита, которая имеет в своем составе такие дополнительные устройства, называется *максимальной токовой защитой*. Она обеспечивает большую селективность по сравнению с токовой отсечкой за счет введения в нее замедляющего элемента, который дает сигнал на отключение с выдержкой времени. Таким элементом является реле времени, которое имеет различное время срабатывания, зависящее от расстояния до источника питания защищаемого элемента. В рассматриваемом случае наибольшую выдержку времени будет иметь максимальная токовая защита секции, ближайшей к источнику питания, наименьшую — самая удаленная от него секция.

Принцип действия максимальной токовой защиты аналогичен принципу действия токовой отсечки. При превышении величины тока уставки срабатывания и соответствующей выдержки времени сигнал подается на отключение выключателя.

Максимальная токовая защита является наиболее распространенной и зачастую объединяется с токовой отсечкой для обеспечения большей надежности защиты (рис. 5.1). При таком совмещенном виде защиты реле тока КА1 и КА2 имеют значение уставки больше, чем у реле тока КА3 и КА4, что приводит к увеличению селективности срабатывания. Контакты токовых реле КА1 и КА2 через промежуточное реле КЛ соединены с электромотажной катушкой отключения УАТ, что позволяет при критических значениях токов отключать защищаемый объект без выдержки времени. В то же время контакты токовых реле КА3 и КА4 в случае превышения своей уставки срабатывания замыкаются и подают сигнал на контакты реле

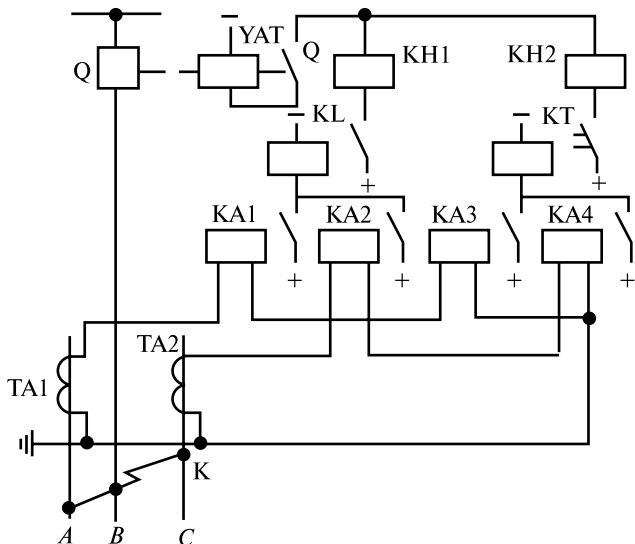


Рис. 5.1. Максимальная токовая защита и токовая отсечка:

TA1—TA2 — трансформатор тока; Q — высоковольтный выключатель; KA1—KA4 — реле тока; KH1—KH2 — реле указательное; KL — реле промежуточное; KT — реле времени; YAT — электромагнит отключения; К — точка к.з.; A, B, C — фазы

времени KT, обеспечивая выдержку времени. Защита также включает в себя указательные реле KH, которые показывают срабатывание защиты.

Максимальная токовая направленная защита (МТНЗ) устанавливается на высоковольтных линиях 6, 10, 35 кВ, питающих тяговые подстанции и в отличие от максимальной токовой защиты реагирует не только на значение тока, но и на направление мощности в поврежденном элементе. МТНЗ состоит из пусковых реле тока и реле направления мощности, которые срабатывают только при направлении мощности от шин в электрическую сеть.

Дистанционная защита (рис. 5.2) — это более сложный вид защиты, выдержка времени которой может автоматически изменяться в зависимости от расстояния между местом установки защиты и местом возникновения короткого замыкания. Удаленность от места установки до места короткого замыкания определяется с помощью реле сопротивления KZ, которое сравнивает остаточное на-

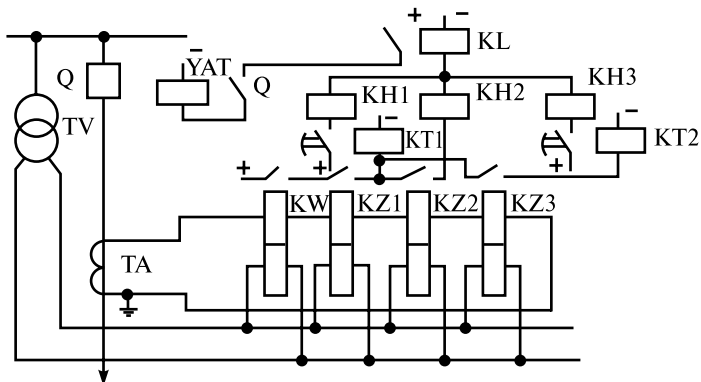


Рис. 5.2. Дистанционная защита:

ТА — трансформатор тока; TV — трансформатор напряжения; Q — высоковольтный выключатель; KH1—KH3 — реле указательное; KL — реле промежуточное; KT1—KT2 — реле времени; KW — реле направления мощности; KZ1—KZ3 — реле сопротивления; YAT — электромагнит отключения

пряжение на шинах с установленной защитой и величину тока короткого замыкания. Реле направления мощности KW предназначено для увеличения селективности и срабатывает, как уже говорилось выше, только при определенном направлении мощности.

Дифференциальная защита — это защита, обладающая абсолютной селективностью. Она является быстродействующей и не содержит устройств замедления срабатывания. Принцип действия дифференциальной защиты основан на сравнении токов. Различают продольную и поперечную дифференциальные защиты.

Продольная дифференциальная защита (рис. 5.3) сравнивает между собой значение тока в начале и в конце защищаемой линии или до и после установки защищаемого объекта. При нормальном режиме токи, протекающие через токовое реле КА от вторичных обмоток трансформаторов тока ТА1 и ТА2, противоположны друг другу по направлению и взаимно компенсируют друг друга. При возникновении аварийного режима токи становятся однонаправленными и, проходя через токовое реле, вызывают его срабатывание. Такие защиты наиболее часто устанавливают для защиты трансформаторов и автотрансформаторов.

Поперечная дифференциальная защита (рис. 5.4) также сравнивает значения токов, но не на концах защищаемого участка, а на разных линиях, получающих питание от одного и того же источника питания. На внешнее короткое замыкание такая защита не отреа-

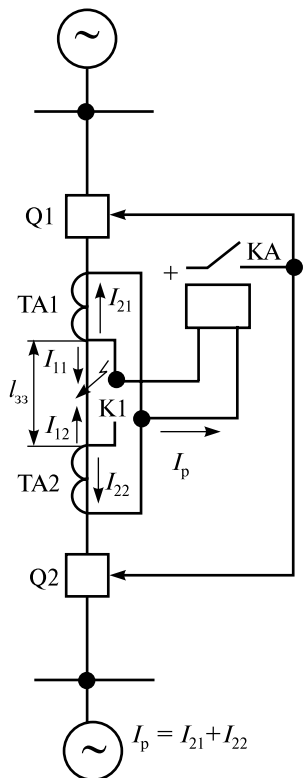


Рис. 5.3. Продольная дифференциальная защита:

TA1—TA2 — трансформатор тока; Q1—Q2 — высоковольтный выключатель; KA — реле тока; K1 — точка короткого замыкания; I_{11} , I_{12} — токи линии; I_{21} , I_{22} — токи, проходящие через трансформатор тока; I_p — ток, проходящий через катушку токового реле; l_{33} — длина защищаемой зоны

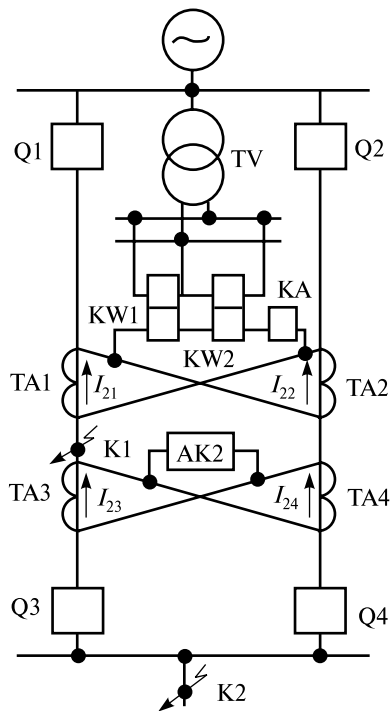


Рис. 5.4. Поперечная дифференциальная защита:

TA1—TA2 — трансформатор тока; Q1—Q4 — высоковольтный выключатель; K1, K2 — точки короткого замыкания; TV — трансформатор напряжения; KA — реле тока; KW1—KW2 — реле направления мощности; AK2 — второй комплект защиты; I_{21} , I_{22} , I_{23} , I_{24} — токи, проходящие через трансформаторы тока

гирует, так как разница токов будет практически минимальной. При возникновении же аварийного режима на одной из защищаемых линий разница токов окажется существенной и достаточной для срабатывания защиты.

Главным недостатком поперечной дифференциальной защиты является необходимость в выведении из эксплуатации обеих линий при повреждении на одной из них. Чаще всего такая защита устанавливается для защиты кабельных линий в тех случаях, когда нет возможности установить токовую отсечку.

Газовая защита (рис. 5.5) применяется для защиты трансформаторов, автотрансформаторов и иных аппаратов, которые находятся в маслонаполненных баках с расширителями.

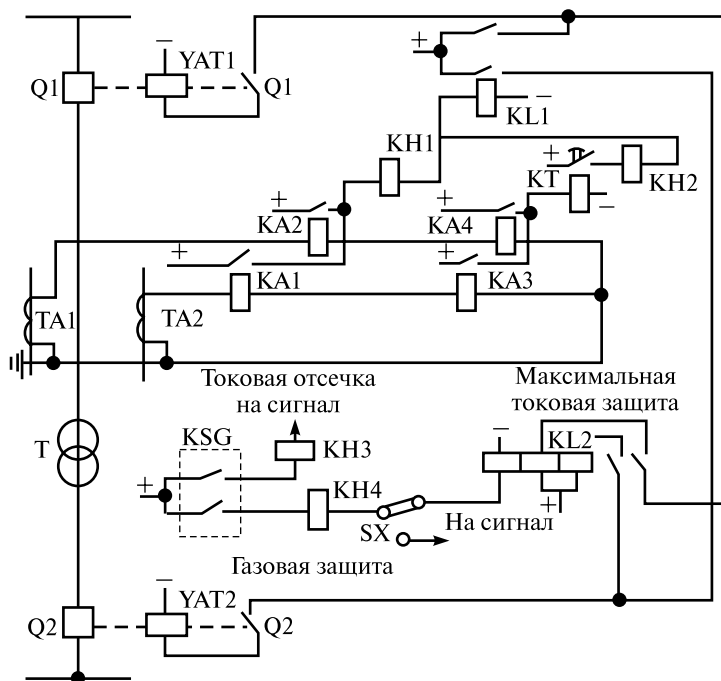


Рис. 5.5. Газовая защита:

TA1—TA2 — трансформатор тока; Q1—Q2 — высоковольтный выключатель; KA1—KA4 — реле тока; KN1—KN4 — реле указательное; KL1—KL2 — реле промежуточное; KT — реле времени; KSG — газовое реле; SX — накладка; YAT1—YAT2 — электромагнит отключения

При ряде повреждений, например, межвитковых коротких замыканиях в обмотках или при пожаре в стали магнитопровода, в таких аппаратах вышеперечисленные виды защит не срабатывают. Однако все эти виды повреждений сопровождаются значительным повышением температуры, в результате чего происходит перегрев, а также разложение трансформаторного масла и изоляционных материалов с образованием значительного количества газов.

Принцип работы газовой защиты заключается в том, что образовавшиеся газы устремляются по трубопроводу в расширитель через газовое реле KSG, которое контролирует снижение уровня масла.

Газовое реле имеет два элемента: сигнальный и отключающий, причем каждый из них имеет свои контакты. В нормальном режиме оба элемента плавают в масле и их контакты разомкнуты.

При определенном снижении уровня масла верхний сигнальный элемент опускается и замыкает свои контакты, посылая сигнал об уменьшении уровня масла, которое может быть связано как с недоливом масла при профилактических работах, так и с незначительными повреждениями в трансформаторе.

Если уровень масла продолжает снижаться, то замыкаются контакты отключающего элемента, который отправляет сигнал на отключающую катушку выключателя УАТ. Также контакты отключающего элемента замыкаются и при резком броске масла или его смеси с газом в расширитель.

5.1.2. Посты секционирования и пункты параллельного соединения

Пост секционирования — это комплекс устройств, предназначенных для защиты контактной сети от к.з. Посты секционирования устанавливаются на однопутных, двухпутных и многопутных участках, а также, по возможности, вблизи остановочных пунктов. Как правило, посты секционирования устанавливаются совместно с установкой пунктов параллельного соединения.

Пункты параллельного соединения предназначены для создания электрического соединения между контактными подвесками двух путей и обеспечения избирательности работы защиты фидеров контактной сети.

Посты секционирования и пункты параллельного соединения обеспечивают не только максимальную токовую защиту фидеров контактной сети, но и автоматическое повторное включение выключателей, дистанционное и телеуправление выключателями и разъединителями, а также безопасную работу при проведении ремонтных и профилактических работ.

Конструктивно посты секционирования и пункты параллельного соединения выполняются в виде модулей и имеют два основных отсека: высоковольтный и отсек управления. К контактной сети они подключаются через проходные изоляторы.

В высоковольтном отсеке устанавливаются выключатели (автоматические быстродействующие на постоянном токе и вакуумные или масляные — на переменном токе), которые отключают токи, превышающие уставку, при соблюдении условия протекания тока в определенном направлении.

Рассмотрим работу поста секционирования при постоянном токе (рис. 5.6). Все секции контактной сети подключаются к общей секции через нормально замкнутые разъединители С1—С4. Это позволяет выполнить электрическое соединение двух секций. При возникновении короткого замыкания на одной из секций направление тока через выключатель этой секции изменится, он станет равным сумме трех токов, проходящих через остальные выключатели, что приведет к его отключению и, следовательно, к отключению только поврежденного участка.

При восстановлении нормального режима выключатель включится либо автоматически, либо по телеуправлению.

Пункты параллельного соединения подключаются между постами секционирования и тяговыми подстанциями и конструктивно состоят из двух выключателей, двух нор-

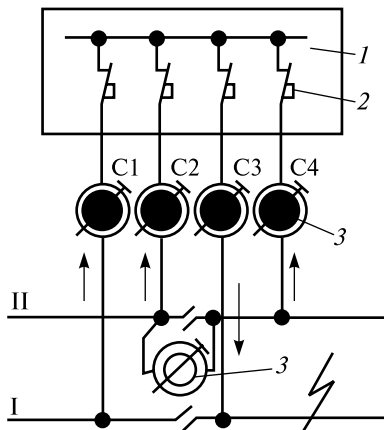


Рис. 5.6. Пост секционирования: 1 — сборные шины поста секционирования; 2 — быстродействующие выключатели; 3 — секционные разъединители; I, II — главные пути

мально замкнутых разъединителей и реле напряжения, которые срабатывают в случае короткого замыкания на одной из секций и отключают поврежденный участок. После восстановления напряжения выключатель вновь включается.

5.2. Защита фидеров контактной сети

Электрифицированные железные дороги относятся к потребителям первой категории, нарушение электроснабжения которых может привести к значительному ущербу, поэтому к схемам питания, а также к защите устройств электроснабжения предъявляются повышенные требования к надежности и бесперебойности электроснабжения.

Фидеры контактной сети, осуществляющие непосредственную передачу электроэнергии на контактные подвески, должны быть надежно защищены от коротких замыканий и перенапряжений.

Защита фидеров от грозовых перенапряжений может быть выполнена с помощью роговых разрядников, а защита от перегрузок и токов короткого замыкания — селективными защитами.

Электроподвижной состав, движущийся вдоль контактной сети, является приемником электроэнергии с переменной нагрузкой. Это связано с изменением режимов работы электроподвижного состава, величины потребляемого им тока, а также различными режимами работы самой системы тягового электроснабжения. В связи с этим настройка и работа релейной защиты в таких условиях значительно затруднена. Необходимо обеспечить не только уменьшение ложных отключений тяговых сетей, но и при перестройке схем питания безусловное отключение поврежденных участков, а также быстрое действие защит. Если учесть, что контактный провод может быть пережжен электрической дугой, имеющей ток около 2000 А, всего 0,15—0,17 с, то защита должна срабатывать за более короткий промежуток времени. Все это привело к созданию новых видов электронных защит, которые в настоящее время широко используются на российских дорогах.

5.2.1. Защита фидеров контактной сети постоянного тока

Защита фидеров контактной сети постоянного тока осуществляется при помощи устройства цифровой защиты и автоматики ЦЗАФ-3,3, которое осуществляет функции релейной защиты, конт-

роля и сигнализации, а также управления выключателями и разъединителями фидеров контактной сети тяговых подстанций, пунктов параллельного соединения и постов секционирования.

Устройство ЦЗАФ-3,3 является микропроцессорным и позволяет быстро обрабатывать поступающую информацию, осуществляя весь комплекс защит, автоматики, управления и сигнализации. Оно состоит из двух основных частей: блока защиты и автоматики и блока управления, соединенных между собой интерфейсным кабелем.

Сигналы от датчиков тока и напряжения поступают в модуль контроллера защит, находящийся в блоке защиты и автоматики, который выполняет их измерение, а также вычисление производных от тока и напряжения (например, сопротивления). Результаты передаются в контроллер автоматики, который передает их далее в блок управления для вывода на дисплей устройства. Контроллер защит выполняет обработку поступивших сигналов, а затем, используя алгоритмы защит, принимает решение об отключении выключателя.

5.2.2. Защита фидеров контактной сети переменного тока

Особенностью режимов работы фидеров контактной сети переменного тока, в отличие от фидеров контактной сети постоянного тока, является соизмеримость максимальных токов нагрузок и минимальных токов короткого замыкания, возникающих в тяговых сетях.

В связи с этим использование в сети переменного тока максимальной токовой защиты оказывается неэффективным, так как не может обеспечить необходимую селективность ее действия. Поэтому для защиты фидеров контактной сети переменного тока применяются дистанционные электронные защиты, которые могут дополняться устройствами телеблокировки. К таким устройствам относится устройство УЭЗФМ (устройство электронной защиты фидеров модернизированное) и УЭЗФП (устройство электронной защиты фидеров для поста секционирования).

УЭЗФМ представляет собой двухступенчатую дистанционную защиту, дополненную токовой отсечкой и устройством телеблокировки. Оно устанавливается на тяговых подстанциях переменного тока.

Первая ступень защиты представляет собой ненаправленную дистанционную защиту без выдержки времени. Она выполняется

на измерительных органах полного сопротивления (датчик сопротивления) и тока, а также на логическом элементе И-НЕ.

Вторая ступень защиты — направленная дистанционная защита с выдержкой времени. Выполняется на датчике полного сопротивления, фазовом органе на логическом органе И-НЕ и реле времени.

Токовая отсечка выполняется на реле тока и логическом элементе И-НЕ.

Устройство электронной защиты фидеров для поста секционирования УЭЗФП также является двухступенчатой дистанционной защитой с токовой отсечкой.

Первая ступень защиты — направленная дистанционная защита без выдержки времени, отключающая пост секционирования, находящийся в пределах 80—85 % зоны от тяговой подстанции. При телеблокировке это расстояние сокращается до 50 %. Ступень включает в себя датчик полного сопротивления с фазовым органом, обеспечивающим направленность действия защиты, а также ускоренную токовую отсечку.

Вторая ступень защиты — ненаправленная дистанционная защита с датчиком сопротивления ДС2 с выдержкой времени, которая отключает короткое замыкание в зоне, где не работает первая ступень защиты.

5.2.3. Телеблокировка устройств электроснабжения железных дорог

Телеблокировка — это устройство, которое связывает между собой выключатели питающих фидеров на смежных тяговых подстанциях или на тяговой подстанции и посту секционирования. Телеблокировка предназначена для отключения выключателя, если другой по какой-либо причине был отключен. Использование телеблокировки повышает надежность защиты контактной сети, резервирует защиту первых ступеней дистанционных защит, а также ускоряет отключение в зоне действия второй ступени. Кроме этого, аппаратура телеблокировки защищает контактную сеть при выводе из работы постов секционирования.

Телеблокировка, как правило, выполняется совместно с использованием дистанционных защит, успешно дополняя их и повышая надежность защиты контактной сети.

Принцип действия телеблокировки заключается в том, что при аварийном отключении выключателя на одной из подстанций аппаратура телеблокировки передает сигнал на отключение соответствующего выключателя на посту секционирования, локализуя тем самым место повреждения. Если первым аварийно отключился выключатель, установленный на посту секционирования, то телеблокировка направит сигнал на отключение выключателя на тяговой подстанции.

Если по каким-либо причинам телеблокировка не отключила выключатель, через некоторое время сработает вторая ступень дистанционной защиты, которая контролирует всю межподстанционную зону и отключит выключатель с выдержкой времени.

Глава 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УСТРОЙСТВАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

6.1. Взаимодействие контактной сети и токоприемника электроподвижного состава

Система «контактная подвеска—токоприемник» предназначена для передачи электроэнергии на электроподвижной состав через электрический и механический контакты. Таким образом, взаимодействие токоприемника с контактным проводом также можно разделить на электрическое и механическое.

Электрический контакт между движущимся токоприемником и неподвижным контактным проводом является скользящим, следовательно, для него характерно наличие непрерывного трения и повышенный износ контактных поверхностей. При этом в скользящем контакте один из материалов должен быть более мягким и иметь повышенную пластичность, поэтому в качестве контактных вставок используют материалы на основе углерода, который имеет самое большое по сравнению с другими проводниковыми материалами напряжение дугообразования. Переходное сопротивление контакта не должно быть большим, так как при этом уменьшается проводимость в точках соприкосновения, а так как оно обратно пропорционально контактному усилию, то было бы логично увеличивать силу нажатия с целью уменьшения переходного сопротивления. Однако такое увеличение будет приводить к залипанию скользящего контакта и к увеличению износа контактных поверхностей. Поэтому выбирается наиболее оптимальный вариант, позволяющий решить обе эти задачи.

Механическое взаимодействие токоприемника и контактного провода является одним из ключевых в работе этой системы и определяет такие параметры, как максимальная скорость движения и затраты, связанные с износом поверхностей.

При движении на токоприемник действуют различные механические силы, такие как контактная сила нажатия, аэродинамическая подъемная сила полоза, а также сила реакции кузова на основание токоприемника, сила сухого трения контактного элемента и каретки, сила вязкого трения в системе подвижных рам.

Контактную силу нажатия можно разложить на статическую силу нажатия токоприемника и динамическую инерционную силу нажатия.

Статическая сила нажатия представляет собой нажатие неподвижного токоприемника на контактный провод и создается подъемными пружинами.

Динамическая инерционная сила нажатия зависит от приведенной массы токоприемника, высоты его полоза и характеризует способность токоприемника реагировать на изменение высоты контактного провода.

Аэродинамическая подъемная сила зависит от скорости движения электроподвижного состава, направления и скорости ветра, конструкции токоприемника, обтекаемости крыши и передней части локомотива. Наибольшее воздействие аэродинамической подъемной силы испытывает первый по ходу движения токоприемник.

Кроме того, контактная подвеска подвержена различным колебаниям (пляскам проводов), связанным с распространением, отражением и преломлением механических волн. Токоприемники также подвержены колебаниям в вертикальной и боковой плоскостях. При скоростях электроподвижного состава, сопоставимых со скоростью распространения волны, в системе возможно появление резонансных явлений. Также резонанс возможен при одновременной работе двух токоприемников, так как второй по ходу токоприемник будет работать в условиях сложения амплитуд колебаний контактной подвески и колебаний, вызванных взаимодействием с контактным проводом первого токоприемника.

Рассмотрим основные моменты взаимодействия токоприемника с контактной подвеской: момент поднятия токоприемника, момент трогания, момент опускания и работу контакта при движении электроподвижного состава.

Поднятие токоприемника должно производиться при отключенных силовых и вспомогательных цепях электроподвижного состава. Это связано с тем, что при контакте полоз токоприемника под-

ходит к контактному проводу с определенной скоростью. При их соударении в контактных поверхностях происходит ударная деформация. Это приводит к отбросу полоза токоприемника на сотые или десятые доли миллиметра. Затем под действием пружин контакт вновь замыкается. Такой процесс вызывает вибрацию и электро-взрывную эрозию (искрение) контактных поверхностей в связи с пробоем воздушного промежутка и появлением электрических дуг.

Процесс трогания подвижного состава, ввиду его большой инерционности, сопровождается значительным увеличением токов, проходящих через электрический контакт. При этом увеличение тока должно происходить постепенно, чтобы не допустить обрыва поезда. Это связано с тем, что последние вагоны подвижного состава приходят в движение позже всех и резкое увеличение тягового тока приведет к их отрыву от состава. В местах трогания подвижного состава наблюдается повышенный износ контактного провода. Это связано с тем, что перенос тока происходит не по всей поверхности контакта, а в отдельных его точках. Увеличение тока приводит к значительному нагреву и в некоторых случаях может привести даже к пережогу контактного провода. В то же время в зонах трогания из-за невысокой скорости движения редки случаи отрывов токоприемника.

Отусканье токоприемника связано с разрывом электрической цепи, поэтому скорость отрыва токоприемника от контактного провода должна быть высокой. В противном случае возникающая при этом дуга станет устойчивой и может повредить оборудование и привести к серьезным последствиям.

При *движении электроподвижного состава* в системе «токоприемник—контактная подвеска» основными проблемными зонами являются так называемые «жесткие» точки (например, места крепления контактного провода к фиксаторам).

При прохождении токоприемника через жесткие точки может произойти его отрыв от контактного провода, а затем удар о его поверхность. Отрыв происходит в тех случаях, когда подвижная система токоприемника не успевает среагировать на увеличение подвеса контактного провода. При отрыве между токоприемником и контактным проводом образуется электрическая дуга, которая вызывает оплавление обеих контактных поверхностей, что значительно ухудшает последующий токосъем как в точке отрыва, так и по пути следования электроподвижного состава, усиливает электричес-

кий износ, приводит к появлению электромагнитных полей, вызывающих помехи в радиосвязи, нарушает работу тягового оборудования электроподвижного состава.

После отрыва токоприемника от контактного провода при последующем понижении высоты подвеса происходит удар полоза, который приводит к образованию на поверхности контактного провода и контактных пластин трещин, выбоин, сколов и других механических повреждений.

6.2. Конструкция токоприемников

Токоприемник — это устройство, предназначенное для обеспечения электрического контакта между токопроводящей контактной сетью и электрическими аппаратами силовых цепей электроподвижного состава.

Токоприемники принято классифицировать по конструктивному исполнению на пантографные, штанговые и дуговые. На железных дорогах России применяются только пантографные токоприемники. Конструкция токоприемника определяется следующими параметрами: токовой нагрузкой, скоростью подвижного состава, типом контактной подвески, условиями эксплуатации.

Пантографные токоприемники имеют шарнирный многосвязный подъемный механизм, позволяющий обеспечить вертикальное перемещение полоза. Скорость поднятия и опускания токоприемника регулируется скоростью подачи сжатого воздуха в пневматическое устройство. При этом отрыв токоприемника от контактного провода должен выполняться максимально быстро с целью предотвращения возникновения устойчивой дуги в месте разрыва цепи, а дальнейшее движение подвижных рам до соприкосновения с амортизаторами должно быть плавным. При поднятии токоприемника плавное медленное перемещение полоза позволяет избежать жестких ударов о контактный провод.

Как правило, на электровозах устанавливают по два токоприемника (исключение составляют электровозы ЧС6 и ЧС200, на которых установлено четыре токоприемника), один из которых находится в рабочем состоянии (чаще всего задний по ходу движения). Второй токоприемник задействуют при необходимости уменьшения искрения и предотвращения пережогов контактного провода во время трогания из-за повышенного энергопотребления, а также в

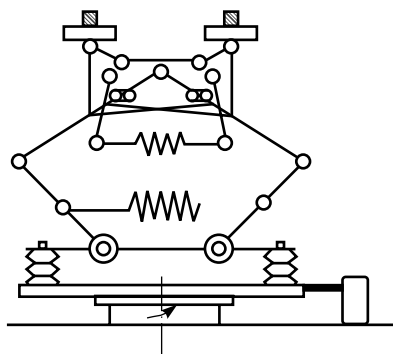


Рис. 6.1. Пантографный токоприемник

сложных метеорологических условиях при гололеде. На моторных вагонах электропоездов устанавливают один токоприемник, который при параллельной работе имеет электрическую связь с токоприемниками других вагонов.

Токоприемник пантографного типа (рис. 6.1) состоит из контактной и подвижной систем, а также основания, которое крепится через опорные изоляторы на крыше локомотива или моторного вагона, и механизма подъема-опускания токоприемника.

К *контактной системе* токоприемника, состоящей из одного или двух *полосов с контактными вставками и каретки*, ввиду особенностей скользящего контакта, предъявляются особые требования. В настоящее время контактные токосъемные вставки выполняют на основе углерода без металла (угольные), на основе углерода с содержанием металла (порошковые пластины на металлической основе, так называемые металлокерамические), а также на углеродной основе с пропиткой металлом после обжига (композитные, металлоуглеродные)

Основные сравнительные характеристики контактных вставок приведены в Приложении 2 (табл. П2.6).

Угольные вставки устанавливают на полосах токоприемников электроподвижного состава переменного тока, что позволяет существенно снизить износ контактного провода и улучшить качество скользящего контакта ввиду разнородности контактных поверхностей.

Металлокерамические вставки имеют высокие характеристики электрического контакта, поэтому их применяют в токоприемниках электроподвижного состава постоянного тока, где необходимо обеспечить качественный токосъем больших токов (от 1500 до 2800 А).

Металлоуглеродные вставки имеют высокие показатели по износоустойчивости, позволяя существенно (на 20—30 %) снизить износ контактного провода, а также повысить надежность токосъема при неблагоприятных климатических условиях.

Полосы токоприемников выполняют из листовой оцинкованной стали толщиной 1,5 мм с длиной рабочей зоны 1270 мм. Концы полоза закругляют и загибают вниз для предотвращения захлестывания полоза за контактный провод при прохождении крестовин контактной сети, а также воздушных стрелок.

Каретки токоприемников являются упругими элементами, соединяющими полосы токоприемника с подвижными рамами. Они принимают на себя инерционную нагрузку от подвижных рам при проходе токоприемника через жесткие точки контактной сети и неровности контактного провода, позволяя снизить влияние массы токоприемника на контактное нажатие.

Каретки (рис. 6.2) состоят из рычагов 4, шарнирно связанных между собой, пневматического цилиндра 3 и пружин 1, 2, выполняющих роль амортизаторов.

Подвижная система, состоящая из шарнирно соединенных между собой и с основанием *верхней и нижней подвижных рам*, предназначена для того, чтобы при изменении высоты контактного провода в регламентированных пределах (от 5500 до 6900 мм) обеспечивать надежный токосъем путем изменения рабочей высоты в диапазоне от 400 до 1900 мм.

Все шарнирные соединения снабжаются токоотводящими проводами, предназначенными для пропускания токов в обход сочленений. Это необходимо для предотвращения появления электрической дуги и связанных с ней подгаров, оплавлений, электрохимической коррозии и разрушения смазки.

Токоприемники пантографного типа по схеме системы подвижных рам делятся на ромбические пантографные, симметричные и асимметричные полупантографы.

В России преимущественное распространение получили ромбические пантографы, хорошо зарекомендовавшие себя в результате длительной эксплуатации. Симметричные полупантографы значительно увеличивают нагрузку на шарнирное соединение подвижных рам, но снижают металло-

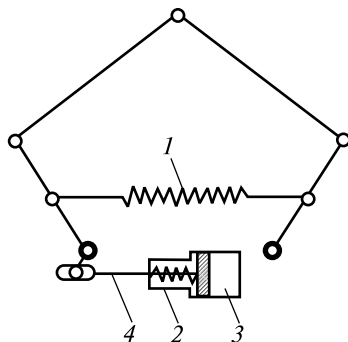


Рис. 6.2. Каретка токоприемника

емкость и габариты основания токоприемника. Еще больше уменьшить массу и габариты позволяет использование асимметричных полупантографов, однако требования к качеству материалов, технологии изготовления и к условиям эксплуатации гораздо более жесткие, чем у пантографов других модификаций.

Подъемно-опускающий механизм токоприемника должен обеспечивать дистанционное управление, заданное нажатие на контактный провод, подъем и опускание токоприемника без повреждений контактной системы и контактной сети, величину удерживающей силы для предотвращения самопроизвольного подъема токоприемника, заданную скорость подъема и опускания токоприемника.

По виду энергии, приводящей в движение механизм подъема-опускания, приводы делятся на пневматические, электрические и гидравлические.

Наибольшее распространение получили пневматические приводы, имеющие один или два цилиндра с поршнями. Принцип работы такого привода основан на том, что при подаче сжатого воздуха в цилиндр его поршень сдвигает шток, который перемещает в том же направлении рычаг. В результате этого рабочая пружина сжимается, нарушая равновесие наружных пружин, которые, стремясь сжаться, поворачивают валы, поднимая тем самым подвижные рамы.

Опускание токоприемника осуществляется путем выпуска сжатого воздуха из цилиндра. Все токоприемники для предотвращения самопроизвольного подъема снабжаются также пневматическими замками.

Основание токоприемника представляет собой сварную конструкцию, выполненную, как правило, из прямоугольных труб или стальных швеллеров. Основание крепится на крыше электровоза или моторного вагона с помощью опорных изоляторов, которые несут как изолирующую, так и механическую нагрузку.

6.3. Токосъем и его основные характеристики

6.3.1. Показатели качества токосъема

Токосъем — это процесс, при котором электроэнергия, поступающая по каналам ее передачи, передается потребителю через токоснимающие устройства. Различают контактный, бесконтактный, квазиконтактный типы токосъемов. На железнодорожном транспор-

те применяется контактный тип токосъема, основные параметры которого описаны в п. 6.1.

Качественный токосъем характеризуется надежностью, экономичностью и экологичностью. Кроме того, при токосъеме необходимо учитывать возможность энергосбережения.

Надежность токосъема связана с безопасностью движения и предполагает отсутствие повреждений контактной сети и токоприемников, приводящих к остановкам и задержкам поездов.

Экономичность токосъема может быть достигнута путем внедрения новых ресурсосберегающих технологий, которые приведут к снижению износа контактных поверхностей и позволят уменьшить расход дорогостоящих материалов.

Экологичность токосъема определяется, в первую очередь, по уровню помех, создаваемых электромагнитными полями, возникающими при некачественном токосъеме, а также по уровню шума.

Энергосбережение характеризуется экономией электроэнергии при тяге и может быть достигнуто путем снижения сопротивления подвижного состава аэродинамическим нагрузкам, а также путем обучения поездных бригад основам энергосберегающего ведения поезда.

Основными критериями, определяющими качество токосъема, являются эластичность контактной подвески и конструктивные особенности токоприемников, позволяющие сохранять контакт при изменении высоты подвеса контактного провода, проходе через «жесткие» точки и т.д.

Под *эластичностью контактной подвески* понимают величину, обратную жесткости, т.е. величину, характеризующую значение отжата токоприемником контактного провода.

Равномерная эластичность контактной подвески может быть достигнута в том случае, если высота подвеса контактного провода над уровнем головки рельса будет одинакова.

Однако в применяемых на железных дорогах цепных подвесках высота контактного провода в пролетах не является постоянной величиной. Это связано с тем, что при натяжении проводов не удастся полностью избавиться от провисания контактного провода, так как при этом увеличивается вероятность его обрыва из-за механического усилия. Частично провесы компенсируются, как уже говорилось ранее, струнами, позволяющими создать в средней части

пролета практически равномерную эластичность. Наименьшая эластичность контактной подвески наблюдается в опорной зоне пролета и в зоне крепления первой простой струны.

Для выравнивания эластичности применяются рессорные контактные подвески, в которых большое значение играют длина и натяжение рессорного провода, располагающегося в опорной зоне.

Уменьшение эластичности может также наблюдаться при использовании полукompенсированной подвески, при которой несущий трос жестко анкеруется к опоре. При температурных изменениях его удлинение не компенсируется и приводит к увеличению стрел провеса контактного провода.

На величину отжатия контактного провода, помимо эластичности подвески, влияют также и технические характеристики токоприемников. Так как по перегонам проходят разные виды электроподвижного состава с токоприемниками различных модификаций, техническое состояние которых отличается друг от друга, то и нажатие на контактный провод будет непостоянным. На него будет влиять и скорость движения электроподвижного состава, и аэродинамическая составляющая, и приведенная масса токоприемника.

Итак, причины нарушения токосъема можно разделить на три основные группы:

- связанные с контактной подвеской;
- связанные с токоприемником;
- связанные с климатическими условиями эксплуатации.

При рассмотрении этих нарушений следует помнить, что их появление может носить как системный характер, связанный с конструктивным выполнением взаимодействующих элементов, так и случайный характер.

6.3.2. Влияние технического состояния и конструктивных особенностей контактных элементов на качество токосъема

Как уже говорилось выше, качество токосъема напрямую зависит от технического состояния контактной подвески, а также от некоторых конструктивных особенностей. Применение рессорных цепных подвесок позволяет повысить эластичность контактной подвески в местах прохождения сосредоточенных масс («жестких точек»).

К основным причинам снижения качества токосъема из-за контактной сети можно отнести следующие:

- наличие большого количества «жестких точек»;
- наличие различных дефектов контактных проводов;
- низкое качество монтажных работ при сооружении контактной сети и ремонтных операциях;
- низкое качество работ, связанных с профилактическими работами, в частности, с регулировкой контактной подвески и ее отдельных элементов.

Самым опасным режимом работы в контактной системе из вышеперечисленных является, безусловно, работа при наличии повреждений на контактной сети. Такие повреждения приводят к интенсивному дугообразованию, искрению и, в конечном итоге, к износу контактных поверхностей, поломкам токоприемников и устройств электроснабжения. Поэтому локомотивные бригады, визуально зафиксировавшие по пути следования нарушения токосъема по причине повреждений контактной подвески, должны незамедлительно сообщать об этом в диспетчерскую службу.

Основными причинами снижения качества токосъема, связанными с токоприемниками, являются ухудшение их динамических свойств, увеличение износа контактных вставок, что приводит к нарушениям скользящего контакта.

6.3.3. Влияние климатических условий эксплуатации на качество токосъема

Климатические условия эксплуатации серьезно осложняют работу системы «контактная сеть—токоприемник». Как уже говорилось выше, линейное изменение длины проводов контактной подвески из-за температурных колебаний компенсируется не во всех типах подвески, кроме этого, такое изменение неравномерно из-за использования в них различных материалов (например, контактный провод — медный, а несущий трос — сталемедный, имеющий другой коэффициент линейного расширения).

Аэродинамическая характеристика токоприемника, зависящая от скорости воздушного потока, также может серьезно повлиять на качество токосъема. Особенно опасно влияние бокового ветра, который не только ухудшает динамические свойства токоприемника, добавляя горизонтальные перемещения полоза, но и раскачивает

контактную подвеску, создавая угрозу попадания контактного провода под полоз.

Самое неблагоприятное климатическое воздействие на контактную систему оказывает, безусловно, образование на контактном проводе или токоприемнике гололеда.

Форма гололедных образований на контактном проводе может существенно отличаться: от изморози, налипания мокрого снега до стекловидных отложений, в том числе в виде сосулек.

На токоприемнике возможно образование гололеда на контактных пластинах, лыжах, в шарнирных соединениях. При этом отложение льда на подвижных рамах и полозе токоприемника увеличивает его массу, снижает давление на контактный провод, а гололед на шарнирах приводит к тому, что эти соединения становятся неподвижными.

Образование гололедной стенки приводит к существенному снижению проводимости и к возникновению электрических дуг, которые могут привести к значительным повреждениям как контактного провода, так и контактных пластин, каркасов полозов токоприемников. Можно выделить несколько основных типов повреждений из-за гололеда:

- пережоги и поджоги контактного провода при трогании;
- повреждения контактных вставок и полозов токоприемников;
- повреждения рам, шарнирных соединений;
- нарушения работы пневматической системы токоприемников.

При трогании состава с места возникающая при гололедных образованиях дуга приводит к образованию поджога контактного провода и образованию на его поверхности кратера, который в дальнейшем может стать причиной в этом месте пережога контактного провода с полным нарушением электроснабжения.

При длительном токосъеме через гололедные отложения в контактной системе начинают происходить процессы переноса меди с контактного провода на контактные пластины, что приводит к их интенсивному изнашиванию. На поверхности контактных вставок могут образовываться пропилы, увеличивающиеся при движении по перегону. Интенсивность дугообразования в некоторых случаях может приводить к оплавлению каркасов токоприемников.

Для предотвращения таких повреждений в условиях гололеда применяется несколько видов профилактических мероприятий:

- электрическая плавка гололеда;

- нанесение на контактный провод в зоне трогания антигололедной смазки (например, ЦНИИ КЗ);
- механическая очистка контактного провода при помощи локомотивов с вибропантографами или с использованием автомотрис с гололедоочистительными барабанами;
- «обкатка» токоприемником контактного провода до ближайшего стрелочного перевода перед выходом на перегон;
- трогание с двумя поднятыми токоприемниками;
- ручная механическая очистка контактного провода линейными бригадами электромонтеров контактной сети.

Электрическая плавка гололеда выполняется на железных дорогах в штатном режиме при толщине льда более 4 мм. Основным недостатком этого метода является перерыв в электроснабжении и, следовательно, остановка движения поездов. В то же время это наиболее эффективная мера борьбы с гололедом, позволяющая удалять с поверхности контактных проводов все виды гололедных образований.

Принцип электрической плавки гололеда заключается в том, что на тяговой подстанции создается кратковременное искусственное короткое замыкание, которое характеризуется резким увеличением тока и приводит, как следствие, к выделению большого количества тепловой энергии, которой достаточно для плавления льда, скопившегося на проводах контактных подвесок.

Помимо электрического воздействия, гололед серьезно влияет на работу механической и пневматической систем токоприемников. Как уже говорилось выше, при отложении льда на шарнирных соединениях нарушается их подвижность, токоприемник перестает следовать изменениям высоты контактного провода, что приводит к интенсивному дугообразованию. Гололедные образования на пружинах приводят к потере ими упругих свойств, а ухудшение качества применяемых смазок в цилиндрах пневмоприводов из-за низких температур могут привести к неподниманию или неопусканию токоприемника.

Основной мерой борьбы с такими воздействиями служит использование высококачественных антиобледенительных смазок, наносимых на все подвижные части. Кроме этого, при длительной стоянке локомотивная бригада должна с периодичностью в 5—10 минут поднимать и опускать при отключенных силовых и

вспомогательных цепях электроподвижного состава токоприемники, предотвращая таким образом нарастание гололедных отложений. Пневматические цилиндры должны быть тщательно подготовлены к работе в зимних условиях, резиновые манжеты должны быть выполнены из маслостойкой резины и выдерживать низкие температуры, кожаные манжеты должны быть пропитаны прожировочным составом.

6.4. Особенности взаимодействия токоприемника с контактной сетью при высокоскоростном движении

Рассмотренные в предыдущих пунктах вопросы токосъема относятся ко всем скоростям движения, однако при увеличении скорости до 200—250 км/ч появляются новые особенности взаимодействия в контактной системе. Это связано с изменением режима работы как токоприемника, так и контактной подвески.

Контактное нажатие в точке соприкосновения элементов контактной системы, как известно, состоит из трех основных составляющих: статического нажатия, динамической и аэродинамической сил, действующей на токоприемник. Последние две составляющие зависят от скорости движения электроподвижного состава, причем квадратично. Следовательно, увеличение скорости приводит к их резкому возрастанию, что на некоторых участках провоцирует ухудшение качества токосъема, вплоть до отрывов полоза токоприемника.

Увеличение скорости движения предъявляет, как уже говорилось в главе 3, определенные требования к контактным подвескам. Однако, помимо конструктивных особенностей, особое внимание на участках с высокоскоростным движением необходимо уделять качеству монтажных работ при сооружении новых линий или модернизации уже существующих, а также качеству работ, выполняемых в процессе эксплуатации. Неправильная регулировка контактной подвески может привести к ухудшению эластичности и снижению качества токосъема.

6.5. Влияние изменения напряжения на работу электроподвижного состава

Для нормального функционирования электроподвижного состава необходимо поддерживать определенный уровень напряжения в

системах тягового электроснабжения (СТЭ) и на токоприемниках ЭПС. В табл. 6.1 приведены принятые уровни напряжения.

Таблица 6.1

Уровни напряжения в СТЭ и на токоприемниках ЭПС

Режим напряжения	СТЭ постоянного тока	СТЭ переменного тока
Номинальное напряжение на шинах подстанции, В	3300	27 500
Номинальное напряжение в тяговой сети, В	3000	25 000
Максимальный уровень напряжения в тяговой сети (на токоприемнике ЭПС), В	3850	29 000
Минимально допустимый уровень напряжения в тяговой сети (на токоприемнике ЭПС), В	2700	21 000
Минимальный уровень напряжения в тяговой сети (на токоприемнике ЭПС), обеспечивающий работу вспомогательных машин, В	—	19 000

При прохождении поезда по межподстанционной зоне на пантографе электроподвижного состава происходит изменение уровня напряжения, которое будет существенно влиять на работу всего электрического оборудования ЭПС, в первую очередь на работу тягового двигателя.

При номинальном напряжении в контактной сети электроподвижной состав будет двигаться с установленной скоростью, потребляя при этом определенный ток и создавая прямо пропорциональную ему силу тяги.

При уменьшении напряжения скорость одномоментно не изменится из-за влияния инерции, однако потребляемый ток и сила тяги уменьшатся. Так как сила тяги определяется вращающим моментом его тяговых двигателей, то при понижении напряжения скорость движения поезда будет снижаться до тех пор, пока не наступит равновесие между изменившимся сопротивлением движению поезда и силой тяги. Это приведет к замедлению поезда и снижению коэффициента полезного действия тяговых двигателей. Дальнейшее снижение скорости приведет к увеличению времени хода по участку. Для сохранения графика движения локомотивная бригада должна будет сократить время выбега или перейти на более интенсивный режим ведения поезда, что приведет, в свою очередь,

к увеличению потребляемого тока и времени его потребления. При таком режиме работе неизбежно увеличится нагрев двигателя.

На электровозах переменного тока негативный эффект от длительного понижения напряжения в контактной сети можно снизить, регулируя напряжение на тяговых двигателях за счет изменения числа витков вторичной обмотки тягового трансформатора.

При увеличении напряжения скорость также не изменится скачком, однако при этом резко увеличится ток двигателя, что приведет к увеличению силы тяги. Если этот режим продлится достаточно долго, то сила тяги уменьшится, а скорость увеличится.

Следует отметить, что вышеперечисленное влияние изменения напряжения на время движения поезда относится только к режиму движения поезда с установленной скоростью. Время пуска и разгона не зависит от уровня напряжения, так как запаздывание изменения скорости происходит и при увеличении напряжения, и при его снижении, что приводит к их практически полной компенсации.

Приложение 1

Выписка из ГОСТ Р 53685-2009

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
53685-
2009

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Термины и определения



Москва
Стандартинформ
2010

Сведения о стандарте

1. РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН ОАО «ВНИИЖТ» (Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта).
2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2009 г. № 1074-ст.

3. Термины и определения

Общие понятия

1. **Электроснабжение железной дороги** — обеспечение электрической энергией железнодорожного электроподвижного состава и тяговых потребителей железной дороги.

2. **Электрификация железной дороги** — оснащение действующих или вновь сооружаемых участков железной дороги системой тягового электроснабжения.

3. **Скоростной электрифицированный участок железной дороги** — электрифицированный участок железной дороги, на котором обращается железнодорожный электроподвижной состав со скоростями от 141 до 200 км/ч включительно.

4. **Высокоскоростной электрифицированный участок железной дороги** — электрифицированный участок железной дороги, на котором обращается железнодорожный электроподвижной состав со скоростями свыше 200 км/ч.

5. **Станция стыкования** — железнодорожная станция на границе электрифицированных участков железной дороги с различными системами тягового электроснабжения, на которой производится смена локомотивов, и контактная сеть железнодорожной станции имеет одну и несколько переключаемых секций контактной сети железной дороги.

6. **Вибропантограф** — пневматический вибратор, предназначенный для механической очистки контактных проводов контактной подвески железной дороги от гололеда и устанавливаемый на локомотиве.

7. **Система электроснабжения железной дороги** — совокупность электроустановок, предназначенная для преобразования, распределения и передачи электрической энергии ко всем потребителям электрической энергии железной дороги.

8. **Нетяговый потребитель (железной дороги)** — железнодорожный потребитель электрической энергии, не использующий для эксплуатации тяговое электрооборудование.

9. **Железнодорожный волновод** — одно- или двухпроводная линия, подвешиваемая вдоль железной дороги, предназначенная для передачи высокочастотных сигналов поездной радиосвязи.

10. **Тяговый трансформатор** — трансформатор, предназначенный для установки и работы на электрическом или теплоэлектрическом подвижном составе.

11. **Блуждающий ток системы тягового электроснабжения (железной дороги)** — доля электрического тока железнодорожного электроподвижного состава, протекающая в земле и в подземных сооружениях при использовании рельсов железнодорожного пути в качестве второго провода.

12. **Уравнительный ток тяговой сети (железной дороги)** — электрический ток в тяговой сети железной дороги, вызываемый разностью напряжений на шинах электрических распределительных устройств смежных тяговых подстанций железной дороги при их параллельной работе.

13. **Наведенное напряжение (на металлических сооружениях и коммуникациях)** — напряжение на металлических сооружениях и коммуникациях, возникающее вследствие электромагнитного влияния тока контактной сети железной дороги и воздушной линии электропередачи продольного электроснабжения.

Системы тягового электроснабжения

14. **Система тягового электроснабжения (железной дороги)** — совокупность электроустановок, предназначенная для преобразования, распределения и передачи электрической энергии к железнодорожному электроподвижному составу.

15. **Система тягового электроснабжения (железной дороги) постоянного тока** — система тягового электроснабжения железной дороги с номинальным напряжением тяговой сети 3 кВ постоянного тока.

16. **Система тягового электроснабжения (железной дороги) постоянного тока с дополнительным проводом** — система тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, в которой напряжение 3 кВ подается в контактную сеть железной дороги непосредственно от тяговых подстанций и от пунктов преобразования напряжения, расположенных на межподстанционной зоне и получающих питание от тяговых подстанций по дополнительному проводу.

17. **Система тягового электроснабжения (железной дороги) переменного тока** — система тягового электроснабжения железной дороги с номинальным напряжением тяговой сети 25 кВ переменного тока.

18. **Система (тягового электроснабжения железной дороги переменного тока) 25 кВ** — система тягового электроснабжения железной дороги переменного тока, в которой напряжение 25 кВ подается в контактную сеть железной дороги непосредственно от вторичных

обмоток понижающих трансформаторов тяговых подстанций железной дороги.

19. **Система (тягового электроснабжения железной дороги переменного тока) 2×25 кВ** — система тягового электроснабжения железной дороги переменного тока, в которой напряжение 25 кВ подается в контактную сеть железной дороги непосредственно от вторичных обмоток понижающих трансформаторов тяговых подстанций железной дороги и от автотрансформаторных пунктов, расположенных в межподстанционной зоне и подключенных к проводам контактной сети и питающему проводу с напряжением между ними 50 кВ.

20. **Система (тягового электроснабжения железной дороги переменного тока) с экранирующим и усиливающим проводами** — система тягового электроснабжения железной дороги переменного тока, в которой усиливающий провод соединен с контактной сетью железной дороги, а экранирующий провод — с рельсовой сетью или со специальными заземлителями.

21. **Система (тягового электроснабжения железной дороги переменного тока) 94 кВ** — система тягового электроснабжения железной дороги переменного тока, в которой напряжение 25 кВ подается в контактную сеть железной дороги непосредственно от вторичных обмоток понижающих трансформаторов головных тяговых подстанций железной дороги и от трансформаторов, расположенных в межподстанционной зоне и подключенных к проводам с напряжением 94 кВ, которые получают питание от головных тяговых подстанций.

22. **Межподстанционная зона (железной дороги)** — часть железной дороги между двумя смежными тяговыми подстанциями железной дороги.

Тяговая сеть железной дороги

23. **Тяговая сеть (железной дороги)** — часть системы тягового электроснабжения железной дороги, предназначенная для передачи электрической энергии от одной или нескольких тяговых подстанций железной дороги к железнодорожному электроподвижному составу, состоящая из питающих линий контактной сети железной дороги, шунтирующих линий контактной сети железной дороги, контактной сети железной дороги, тяговой рельсовой сети железной дороги и отсасывающих линий тяговой сети железной дороги.

24. **Питающая линия контактной сети (железной дороги)** — линия электропередачи, соединяющая распределительное устройство тя-

говой подстанции железной дороги, поста секционирования контактной сети, автотрансформаторного пункта, пункта преобразования напряжения, пункта группировки станции стыкования с контактной сетью железной дороги.

25. Отсасывающая линия тяговой сети (железной дороги) — линия электропередачи, соединяющая заземленную фазу или заземленный полюс тяговой подстанции железной дороги, автотрансформаторного пункта, пункта преобразования напряжения с тяговой рельсовой сетью железной дороги.

26. Шунтирующая линия контактной сети (железной дороги) — дополнительная линия электропередачи, прокладываемая параллельно секции контактной сети железной дороги с уменьшенным сечением проводов и увеличивающая сечение этой секции до сечения соседних секций.

27. Питающий провод (системы тягового электроснабжения переменного тока 2×25 кВ) — линия электропередачи, предназначенная для соединения вторичных обмоток понижающих трансформаторов тяговых подстанций железной дороги с автотрансформаторами автотрансформаторных пунктов.

Контактная сеть железной дороги

28. Контактная сеть (железной дороги) — часть тяговой сети железной дороги, предназначенная для обеспечения токосъема и состоящая из контактной подвески железной дороги, экранирующих и усиливающих проводов контактной сети железной дороги, опор контактной сети железной дороги, поддерживающих устройств контактной подвески и фиксирующих конструкций железной дороги.

29. Развернутая длина контактной сети (железной дороги) — суммарная протяженность всех электрифицированных железнодорожных путей перегонов и станций в пределах предприятия железной дороги в целом или его отдельного структурного подразделения.

30. Токосъем (токоприемником железнодорожного электроподвижного состава) — передача электрической энергии от контактного(ых) провода(ов) контактной подвески железной дороги к токоприемнику железнодорожного электроподвижного состава через скользящий контакт.

31. Качество токосъема (токоприемником железнодорожного электроподвижного состава) — наличие или отсутствие искрения, ударов и отрывов токоприемника железнодорожного электроподвиж-

ного состава от контактного провода контактной подвески железной дороги при взаимодействии токоприемника с контактным проводом.

32. Секционирование контактной сети (железной дороги) [линии электропередачи продольного электроснабжения] — преднамеренное разделение контактной сети железной дороги [линии электропередачи продольного электроснабжения] на секции.

33. Секция контактной сети (железной дороги) [линии электропередачи продольного электроснабжения] — часть контактной сети железной дороги [линии электропередачи продольного электроснабжения], неразрывная в электрическом отношении и ограниченная одним или несколькими изолирующими сопряжениями анкерных участков контактной подвески железной дороги, секционирующими изоляторами или секционными разъединителями контактной сети железной дороги [одним или несколькими секционирующими изоляторами или секционными разъединителями линии электропередачи].

34. Переключаемая секция контактной сети (железной дороги) — секция контактной сети железной дороги, на которую с целью обеспечения работы станции стыкования может подаваться напряжение различного рода тока.

35. Переключатель станции стыкования — устройство, предназначенное для подачи напряжения различного рода тока в переключаемую секцию контактной сети станции стыкования.

36. Участок контактной сети (железной дороги) — часть секции контактной сети железной дороги, имеющая одну и ту же марку проводов, одинаковое число и сечение проводов и их расположение на опорах контактной сети железной дороги.

37. Нейтральная вставка контактной сети (железной дороги) — секция контактной сети железной дороги, на которой отсутствует рабочее напряжение, выполненная таким образом, чтобы при проходе железнодорожного электроподвижного состава с поднятыми токоприемниками не возникало электрического контакта между секциями контактной сети железной дороги, находящимися с обеих сторон от нее.

38. Гибкая поперечина контактной сети (железной дороги) — конструкция, состоящая из двух опор, между которыми смонтирована система, включающая поперечнонесущие и фиксирующие тросы

гибкой поперечины для поддерживания и фиксации контактных подвесок железной дороги нескольких железнодорожных путей.

39. **Жесткая поперечина контактной сети (железной дороги)** — конструкция контактной сети железной дороги, состоящая из двух и более опор и закрепленного на них горизонтального ригеля контактной сети.

40. **Ригель контактной сети** — металлическая ферма, предназначенная для поддерживания и фиксации проводов контактной подвески железной дороги нескольких железнодорожных путей.

41. **Роговой разрядник** — устройство для снижения перенапряжения на проводах контактной сети железной дороги, имеющее электроды с воздушными промежутками между ними, перекрываемые перенапряжением, и рога для гашения сопровождающей электрической дуги.

42. **Искровой промежуток** — однополюсный коммутационный аппарат в устройствах контактной сети и подстанций железной дороги, автоматически срабатывающий при нарушении изоляции их токоведущих частей.

43. **Балльная оценка состояния контактной сети железной дороги** — показатель содержания контактной сети железной дороги, выраженный в штрафных баллах за отступление от установленных параметров регулировки контактной подвески железной дороги.

44. **Дежурный пункт (контактной сети железной дороги)** — специально оборудованное место, в котором размещается оперативный персонал, средства механизации и запас материальных ресурсов, предназначенные для устранения повреждений контактной сети железной дороги и (или) линий электропередачи продольного электропитания.

45. **Электрорепеллентная защита** — устройство, предназначенное для отпугивания птиц и препятствующее их гнездованию на ригелях контактной сети.

46. **Изолирующая съёмная вышка** — съёмная вышка с лестницами из изолирующего материала, предназначенная для выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту контактной сети железной дороги под напряжением с железнодорожного пути.

47. **Контактная подвеска (железной дороги)** — система проводов контактной сети железной дороги и конструкций, обеспечивающая токосъём токоприемниками железнодорожного электроподвижного состава.

48. **Простая контактная подвеска (железной дороги)** — контактная подвеска железной дороги, состоящая из контактного провода, закрепленного в точках подвеса.

49. **Цепная контактная подвеска (железной дороги)** — контактная подвеска железной дороги, состоящая из несущего(их) троса(ов) и контактного(ых) провода(ов), подвешенного(ых) к нему на поддерживающих струнах.

50. **Ромбовидная контактная подвеска** — цепная контактная подвеска железной дороги, контактные провода которой в плане расположены у опор контактной сети железной дороги в виде ромба, а в средней части пролета контактной подвески — параллельно оси железнодорожного пути.

51. **Компенсированная цепная контактная подвеска (железной дороги)** — цепная контактная подвеска железной дороги, несущий трос(ы) и контактный(е) провод(а) которой закреплены на анкерных опорах контактной сети железной дороги с одной или двух сторон анкерного участка отдельными компенсаторами контактной подвески железной дороги для каждого провода или общими для несущего троса и контактного провода.

52. **Полукомпенсированная цепная контактная подвеска (железной дороги)** — цепная контактная подвеска железной дороги, несущий трос которой закреплен с двух сторон анкерного участка на анкерных опорах контактной сети без компенсаторов, а контактный(е) провод(а) — компенсатором(ами) контактной подвески хотя бы с одной стороны.

53. **Некомпенсированная цепная контактная подвеска (железной дороги)** — цепная контактная подвеска железной дороги, несущий трос(ы) и контактный(е) провод(а) которой закреплены на анкерных опорах контактной сети без компенсаторов контактной подвески.

54. **Жесткая контактная подвеска** — контактная подвеска в искусственных сооружениях железной дороги, контактный провод которой расположен жестко в токопроводящей шине, закрепленной на изоляторах к искусственному сооружению.

55. **Пролет контактной подвески (железной дороги)** — часть контактной подвески железной дороги между точками закрепления ее на смежных опорах контактной сети железной дороги.

56. **Длина пролета контактной подвески** — расстояние между осями двух смежных опор контактной сети железной дороги, на кото-

рых закреплен несущий трос или контактный провод контактной подвески.

Примечание. Имеются ввиду любые опоры контактной сети, кроме фиксирующих.

57. Эквивалентный пролет цепной контактной подвески (железной дороги) — пролет цепной контактной подвески железной дороги, в котором натяжение проводов контактной подвески железной дороги изменяется так же, как и в анкерном участке при действительно имеющихся пролетах различной длины.

58. Оптимальные параметры контактной подвески (железной дороги) — геометрические размеры контактной подвески железной дороги, которые при заданных натяжении проводов контактной подвески, скорости движения и типе токоприемника электроподвижного состава обеспечивают возможно лучшее качество токосъема.

59. Автоколебание проводов контактной сети железной дороги (воздушной линии электропередачи продольного электроснабжения) — длительное устойчивое колебание проводов контактной сети железной дороги [воздушной линии электропередачи продольного электроснабжения], происходящее с частотой до 2,0 Гц и с амплитудами до 1,5 м, вызываемое гололедом и(или) сильным ветром.

60. Ветроустойчивость контактной подвески (железной дороги) — способность контактной подвески железной дороги обеспечивать токосъем при ветре расчетной интенсивности.

61. Конструктивная высота контактной подвески (железной дороги) — расстояние между несущим тросом контактной сети железной дороги в месте его закрепления и контактным проводом контактной подвески при его беспровесном положении.

62. Эластичность контактной подвески (железной дороги) — физическая характеристика контактной подвески железной дороги, определяемая как отношение высоты подъема контактного провода к силе нажатия токоприемника железнодорожного электроподвижного состава, вызвавшей подъем контактного провода.

63. Контактный провод контактной подвески (железной дороги) — провод контактной подвески железной дороги, предназначенный для передачи и съема с него электрического тока токоприемником железнодорожного электроподвижного состава.

64. Двойной контактный провод контактной подвески (железной дороги) — совокупность двух контактных проводов контактной под-

вески железной дороги, соприкасающихся одновременно с токоприемниками железнодорожного электроподвижного состава, имеющих одинаковый электрический потенциал и полярность.

65. Зигзаг контактного провода контактной подвески (железной дороги) — смещение контактного провода контактной подвески железной дороги у опоры контактной сети железной дороги относительно оси токоприемника железнодорожного электроподвижного состава.

66. Вынос контактного провода (контактной подвески железной дороги) — преднамеренное смещение контактного провода контактной подвески железной дороги в середине пролета контактной подвески относительно оси токоприемника железнодорожного электроподвижного состава.

67. Уклон контактного провода (контактной подвески железной дороги) — разность высот подвешивания контактного провода контактной подвески железной дороги у смежных опор контактной сети пролета контактной подвески железной дороги, отнесенная к длине пролета контактной подвески.

68. Пережог провода контактной подвески (железной дороги) — разрыв провода контактной подвески железной дороги в результате термического воздействия электрического тока, сопровождающегося возникновением электрической дуги в зоне взаимодействия с любым другим устройством.

69. Поджог контактного провода (контактной подвески железной дороги) — возникновение каверн и наплывов на поверхности контактного провода контактной подвески железной дороги при воздействии электрической дуги, вызывающих уменьшение его механической прочности без разрыва.

70. Отжатие контактного провода (контактной подвески железной дороги) — подъем контактного провода контактной подвески железной дороги, фиксатора и элементов конструкции воздушной стрелки контактного провода контактной подвески под действием вертикальной составляющей нажатия токоприемника железнодорожного электроподвижного состава.

71. Ветровое отклонение контактного(ых) провода(ов) (контактной подвески железной дороги) — перемещение контактного(ных) провода(ов) контактной подвески железной дороги в горизонтальной плоскости под действием ветра.

72. Температура беспровесного положения контактного провода (контактной подвески железной дороги) — температура окружающего воздуха, при которой контактный провод цепной контактной подвески железной дороги в точках крепления поддерживающих струн контактной подвески находится по всей длине пролета контактной подвески на одной высоте от уровня головки рельса.

73. Высота подвеса контактного провода (контактной подвески железной дороги) — минимальное расстояние между контактным проводом контактной подвески железной дороги и плоскостью, соединяющей поверхности катания рельсов железнодорожного пути.

74. Износ контактного провода (контактной подвески железной дороги) — уменьшение сечения контактного провода контактной подвески железной дороги под воздействием электрического и механического износов.

75. Электрический износ контактного провода (контактной подвески железной дороги) — износ контактного провода контактной подвески железной дороги, вызываемый испарением и выбросом металла под воздействием искровых и дуговых процессов при токо съеме токоприемником железнодорожного электроподвижного состава.

76. Механический износ контактного провода (контактной подвески железной дороги) — износ контактного провода контактной подвески железной дороги, вызываемый трением токоприемника железнодорожного электроподвижного состава о контактный провод.

77. Местный износ контактного провода (контактной подвески железной дороги) — износ контактного провода на отдельном участке провода длиной до 700 мм.

78. Волнообразный износ контактного провода (контактной подвески железной дороги) — чередование с определенным интервалом участков местного износа контактного провода контактной подвески железной дороги.

79. Удельный износ контактного провода (контактной подвески железной дороги) — износ контактного провода контактной подвески железной дороги, выраженный в квадратных миллиметрах и отнесенный к 10 000 проходов токоприемников железнодорожного электроподвижного состава.

80. Высота оставшегося сечения контактного провода (контактной подвески железной дороги) — физическая величина, характеризующая степень износа контактного провода контактной подвески же-

лезной дороги, определяемая как размер контактного провода, измеренный от его контактной поверхности перпендикулярно до верхней точки его сечения.

81. Стрела провеса контактного провода (контактной подвески) [усиливающего провода контактной сети железной дороги, несущего троса цепной контактной подвески] — расстояние по вертикали от низшей точки контактного провода контактной подвески железной дороги [усиливающего провода контактной сети железной дороги, несущего троса цепной контактной подвески] в пролете контактной подвески железной дороги до прямой, соединяющей соседние точки их подвеса.

82. Несущий трос (цепной контактной подвески) — провод цепной контактной подвески железной дороги, предназначенный для передачи электрического тока и подвешивания к нему на поддерживающих струнах контактной подвески железной дороги контактного(ых) провода(ов) контактной подвески.

83. Усиливающий провод контактной сети (железной дороги) — провод, электрически соединенный с проводами контактной подвески железной дороги и предназначенный для увеличения электрической проводимости контактной сети железной дороги.

84. Экранирующий провод контактной сети (железной дороги) — провод, расположенный на опорах контактной сети железной дороги и имеющий соединения с тяговой рельсовой сетью или со специальными заземлителями и предназначенный для снижения магнитного влияния тяговой сети железной дороги на линии связи и снижения потерь напряжения в тяговой сети.

85. Рессорный трос — трос, предназначенный для увеличения эластичности цепной контактной подвески железной дороги, смонтированный в месте закрепления цепной контактной подвески на опоре контактной сети железной дороги, концы которого закреплены на несущем тросе цепной контактной подвески на одинаковых расстояниях от оси опоры контактной сети, и имеющий поддерживающие струны контактной подвески железной дороги, которые прикреплены к нему и к контактному проводу контактной подвески.

86. Консольный изолятор контактной сети (железной дороги) — стержневой изолятор, включаемый в горизонтальный или наклонный стержень изолированной консоли контактной подвески железной дороги или установленный в подкосо или тяге этой консоли.

87. **Подвесной изолятор** — линейный изолятор, предназначенный для подвижного крепления токоведущих элементов к несущим конструкциям или объектам.

88. **Фиксаторный изолятор контактной сети (железной дороги)** — изолятор, предназначенный для изоляции фиксатора контактного провода контактной подвески железной дороги от заземленной конструкции.

89. **Секционирующий изолятор проводов линии электропередачи продольного электроснабжения [контактной сети (железной дороги)]** — изолятор, предназначенный для секционирования проводов линии электропередачи продольного электроснабжения [проводов контактной сети железной дороги, кроме контактного провода].

90. **Секционный изолятор контактной сети (железной дороги)** — изолятор, включаемый в контактный провод контактной подвески железной дороги, предназначенный для секционирования контактной сети железной дороги, обеспечивающий беспрепятственный проход токоприемников железнодорожного электроподвижного состава с одной секции контактной сети железной дороги на другую и электрическую изоляцию этих секций в отсутствие токоприемника железнодорожного электроподвижного состава.

91. **Поддерживающая струна контактной подвески (железной дороги)** — элемент цепной контактной подвески железной дороги, предназначенный для подвешивания контактного(ых) провода(ов) к несущему(им) тросу(ам) цепной контактной подвески или ресорному тросу.

92. **Эластичная струна контактной подвески (железной дороги)** — поддерживающая струна контактной подвески железной дороги, изготовленная из гибкого медного или бронзового провода.

93. **Струновой пролет контактной подвески (железной дороги)** — часть цепной контактной подвески железной дороги между соседними поддерживающими струнами этой подвески.

94. **Длина струнового пролета контактной подвески (железной дороги)** — расстояние между точками закрепления соседних поддерживающих струн цепной контактной подвески железной дороги на ее контактном проводе.

95. **Электропроводящая струна контактной подвески (железной дороги)** — поддерживающая струна контактной подвески железной дороги, обеспечивающая передачу электрического тока между не-

сущим(и) тросом(ами) и контактнм(и) проводом(ами) цепной контактной подвески железной дороги.

96. Страховая струна контактной подвески (железной дороги) — элемент контактной подвески железной дороги, поддерживающий основной стержень обратного фиксатора контактного провода контактной подвески железной дороги для предотвращения разрушения его изолятора, а также для избежания перемещения фиксатора контактного провода в габарит железнодорожного подвижного состава при разрушении фиксаторного изолятора.

97. Струновой зажим (цепной контактной подвески железной дороги) — устройство цепной контактной подвески железной дороги, предназначенное для крепления поддерживающей струны контактной подвески к контактному проводу контактной подвески или несущему тросу цепной контактной подвески.

98. Стыковой зажим контактного провода (контактной подвески железной дороги) — устройство контактной подвески железной дороги, предназначенное для механического и электрического соединения двух последовательных отрезков контактного провода контактной подвески, обеспечивающее проход токоприемников железнодорожного электроподвижного состава.

99. Стыковой зажим несущего троса (цепной контактной подвески) — устройство цепной контактной подвески железной дороги, предназначенное для механического и электрического соединения двух последовательных отрезков несущего троса цепной контактной подвески.

100. Воздушная стрелка (контактного провода контактной подвески железной дороги) — конструкция, образованная пересечением двух контактных подвесок железной дороги, предназначенная для обеспечения перехода токоприемника железнодорожного электроподвижного состава с контактного(ых) провода(ов) одного железнодорожного пути на контактный(е) провод(а) другого пути при движении железнодорожного электроподвижного состава по стрелочному переводу железнодорожного пути.

101. Зона подхвата контактного провода полозом токоприемника (железнодорожного электроподвижного состава) — зона на воздушной стрелке контактного провода контактной подвески железной дороги, в пределах которой происходит соприкосновение полоза то-

коприемника железнодорожного электроподвижного состава с проводом примыкающего или пересекающего железнодорожного пути.

102. **Анкерный участок (контактной подвески железной дороги)** — участок контактной подвески железной дороги между анкерными опорами контактной сети железной дороги.

103. **Сопряжение анкерных участков (контактной подвески железной дороги)** — соединение двух смежных анкерных участков контактной подвески железной дороги.

104. **Изолирующее сопряжение анкерных участков (контактной подвески железной дороги)** — соединение смежных анкерных участков контактной подвески железной дороги, относящихся к разным секциям контактной сети железной дороги, предусматривающее их электрическую независимость.

105. **Неизолирующее сопряжение анкерных участков (контактной подвески железной дороги)** — соединение смежных анкерных участков контактной подвески железной дороги, входящих в одну и ту же секцию контактной сети железной дороги, предусматривающее их электрическое соединение и обеспечивающее проход токоприемников железнодорожного электроподвижного состава без перерыва в его электроснабжении.

106. **Электрический соединитель проводов (контактной подвески железной дороги)** — элемент контактной подвески железной дороги, предназначенный для глухого электрического соединения между собой проводов контактной подвески одного пути или контактных подвесок разных железнодорожных путей.

107. **Поперечный электрический соединитель проводов (контактной подвески железной дороги)** — электрический соединитель проводов контактной подвески железной дороги, предназначенный для глухого параллельного соединения между собой проводов одной или нескольких контактных подвесок.

108. **Продольный электрический соединитель проводов (контактной подвески железной дороги)** — электрический соединитель проводов контактной подвески железной дороги, предназначенный для глухого электрического соединения проводов контактных подвесок смежных анкерных участков контактной подвески железной дороги.

109. **Анкеровка контактной подвески (железной дороги)** — закрепление проводов контактной подвески железной дороги на анкерной опоре контактной сети с передачей натяжения проводов анкеру контактной подвески железной дороги.

110. **Компенсированная анкеровка контактной подвески (железной дороги)** — анкеровка контактной подвески железной дороги, выполненная с помощью компенсатора контактной подвески железной дороги.

111. **Компенсатор контактной подвески (железной дороги)** — устройство, предназначенное для автоматического поддержания установленного натяжения проводов контактной подвески железной дороги при изменении температуры и механических воздействий на провода.

112. **Средняя анкеровка контактной подвески (железной дороги)** — закрепление контактного провода контактной подвески железной дороги к несущему тросу цепной контактной подвески железной дороги в середине анкерного участка с целью устранения перемещения компенсированных проводов в сторону одного из компенсаторов контактной подвески.

113. **Трос средней анкеровки контактной подвески (железной дороги)** — трос, предназначенный для соединения несущего троса цепной контактной подвески и контактного провода контактной подвески железной дороги и восприятия натяжения контактного провода при его перемещении в сторону одного из компенсаторов контактной подвески железной дороги.

114. **Зажим средней анкеровки контактной подвески (железной дороги)** — устройство контактной подвески железной дороги, предназначенное для соединения троса средней анкеровки контактной подвески железной дороги с несущим тросом цепной контактной подвески.

115. **Зажим эластичной струны контактной подвески (железной дороги)** — устройство контактной подвески железной дороги, предназначенное для соединения эластичной струны контактной подвески железной дороги с контактным проводом контактной подвески железной дороги.

116. **Поддерживающее устройство контактной подвески (железной дороги)** — устройство контактной подвески железной дороги, предназначенное для закрепления проводов контактной подвески железной дороги в определенном положении относительно железно-дорожного пути.

117. **Консоль (контактной сети железной дороги)** — конструкция, предназначенная для закрепления и фиксации в определенном по-

ложении в пространстве проводов контактной сети железной дороги одного или нескольких железнодорожных путей.

118. Горизонтальная консоль (контактной сети железной дороги) — консоль контактной сети железной дороги, кронштейн которой установлен под прямым углом к консольной опоре контактной сети железной дороги.

119. Наклонная консоль (контактной сети железной дороги) — консоль контактной сети железной дороги, кронштейн которой установлен под углом к консольной опоре контактной сети железной дороги.

120. Изогнутая консоль (контактной сети железной дороги) — консоль контактной сети железной дороги, кронштейн которой состоит из двух частей: наклонной под углом к консольной опоре контактной сети железной дороги и горизонтальной под прямым углом к консольной опоре контактной сети железной дороги.

121. Изолированная консоль (контактной сети железной дороги) — консоль контактной сети железной дороги, электрически изолированная от консольной опоры контактной сети железной дороги и находящаяся под потенциалом тяговой сети железной дороги.

122. Неизолированная консоль (контактной сети железной дороги) — консоль контактной сети железной дороги, электрически не изолированная от консольной опоры контактной сети железной дороги и находящаяся под потенциалом земли.

123. Подкос консоли (контактной сети железной дороги) — элемент консоли контактной сети железной дороги или кронштейна консоли, предназначенный для усиления жесткости конструкции консоли.

124. Тяга консоли (контактной сети железной дороги) — элемент консоли контактной сети железной дороги, соединяющий кронштейн консоли с опорой контактной сети железной дороги.

125. Фиксатор контактного провода (контактной подвески железной дороги) — конструкция, предназначенная для закрепления положения контактного провода контактной подвески железной дороги в плане по отношению к оси железнодорожного пути и образования зигзага контактного провода контактной подвески.

126. Гибкий фиксатор контактного провода (контактной подвески железной дороги) — фиксатор контактного провода контактной подвески железной дороги, предназначенный для закрепления поло-

жения контактного провода на внешней стороне кривых железнодорожного пути и соединяющийся с контактным проводом с помощью гибкого троса без основного стержня фиксатора контактного провода.

127. **Обратный фиксатор контактного провода (контактной подвески железной дороги)** — фиксатор контактного провода контактной подвески железной дороги, предназначенный для образования зигзага контактного провода контактной подвески по направлению от опоры контактной сети железной дороги.

128. **Прямой фиксатор контактного провода (контактной подвески железной дороги)** — фиксатор контактного провода контактной подвески железной дороги, предназначенный для образования зигзага контактного провода по направлению к опоре контактной сети железной дороги.

129. **Фиксаторный кронштейн** — конструкция, предназначенная для закрепления на ней фиксатора контактного провода контактной подвески железной дороги.

130. **Фиксаторная стойка** — жесткая составная часть поддерживающего устройства, к нижнему концу которой крепится фиксатор контактного провода контактной подвески железной дороги.

131. **Основной стержень фиксатора контактного провода (контактной подвески железной дороги)** — стержень фиксатора контактного провода контактной подвески железной дороги, непосредственно присоединяемый через фиксаторный изолятор контактной сети железной дороги к фиксаторному кронштейну или подвешиваемый на струнах к несущему тросу цепной контактной подвески и предназначенный для размещения на нем дополнительного стержня фиксатора контактного провода контактной подвески железной дороги.

132. **Дополнительный стержень фиксатора контактного провода (контактной подвески железной дороги)** — стержень фиксатора контактного провода контактной подвески железной дороги, присоединяемый к основному стержню фиксатора контактного провода и к контактному проводу контактной подвески железной дороги.

133. **Фиксирующий трос гибкой поперечины (контактной сети железной дороги)** — трос гибкой поперечины контактной сети железной дороги, предназначенный для размещения фиксаторов контактных проводов контактной подвески железной дороги.

134. **Опора контактной сети (железной дороги)** — конструкция, на которой расположены провода контактной сети, установленная в грунт или на фундаменте или закрепленная на искусственном сооружении железной дороги.

135. **Фундамент опоры контактной сети (железной дороги)** — конструкция, заглубляемая в грунт и предназначенная для установки на ней опоры контактной сети железной дороги.

136. **Нераздельная опора контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, установленная в грунт без фундамента.

137. **Раздельная опора контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, установленная на фундаменте.

138. **Консольная опора контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, предназначенная для установки консоли контактной сети железной дороги.

139. **Переходная опора контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги в месте сопряжения анкерных участков контактных подвесок железной дороги, на которой расположены провода контактных подвесок двух смежных анкерных участков.

140. **Промежуточная опора контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, воспринимающая вертикальные и горизонтальные нагрузки от проводов расположенной на ней контактной подвески железной дороги.

141. **Фиксирующая опора контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, предназначенная для размещения фиксатора контактного провода контактной подвески железной дороги.

142. **Опора гибкой поперечины контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, предназначенная для закрепления на ней системы тросов, образующих гибкую поперечину контактной сети железной дороги.

143. **Опора жесткой поперечины контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, предназначенная для установки на ней ригеля контактной сети железной дороги.

144. **Анкерная опора контактной сети (железной дороги)** — опора контактной сети железной дороги, предназначенная для закрепления проводов контактной подвески железной дороги и воспринимающая их натяжение.

145. **Анкер контактной подвески (железной дороги)** — неподвижная конструкция в грунте, обеспечивающая восприятие полного натяжения проводов контактной подвески железной дороги.

146. **Заземление опоры контактной сети (железной дороги)** — соединение опоры контактной сети железной дороги с железнодорожным рельсом или средней точкой дроссель-трансформатора тяговой рельсовой сети железной дороги.

147. **Индивидуальное заземление опор контактной сети (железной дороги)** — заземление опор контактной сети железной дороги, при котором каждая опора в отдельности присоединяется к железнодорожному рельсу или средней точке дроссель-трансформатора тяговой рельсовой сети.

148. **Групповое заземление опор контактной сети (железной дороги)** — заземление опор контактной сети железной дороги, при котором несколько опор контактной сети железной дороги объединены общим заземляющим тросом, присоединяемым к железнодорожному рельсу в одной точке или к средней точке дроссель-трансформатора тяговой рельсовой сети.

149. **Диодно-искровой заземлитель опоры контактной сети (железной дороги)** — устройство, предназначенное для заземления опоры контактной сети железной дороги в системе тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, состоящее из диода и искрового промежутка и устанавливаемое в катодных зонах для предотвращения протекания тока по направлению от железнодорожных рельсов к опорам контактной сети.

150. **Диодный заземлитель опоры контактной сети (железной дороги)** — устройство, предназначенное для заземления опоры контактной сети железной дороги в системе тягового электроснабжения постоянного тока, содержащее диод, включаемый в провод группового заземления, предотвращающее протекание тягового тока по направлению от железнодорожных рельсов к опорам контактной сети железных дорог.

Тяговая рельсовая сеть железной дороги

151. **Тяговая рельсовая сеть (железной дороги)** — часть тяговой сети железной дороги, представляющая систему рельсов железнодорожного пути, используемых для протекания тяговых токов.

152. **Дроссель-трансформатор (тяговой рельсовой сети)** — устройство тяговой рельсовой сети железной дороги, предназначенное для

одновременного пропуска тягового тока в обход изолирующих стыков и сигнальных токов автоблокировки.

153. **Изолирующий стык (железнодорожного пути)** — стыковое соединение рельсов железнодорожного пути, электрически изолирующее их друг от друга.

154. **Тяговый рельсовый соединитель железнодорожного пути** — провод, соединяющий рельсовые нити железнодорожного пути у неизолирующих стыков для обеспечения прохода тягового тока по одной нити в обход стыка.

155. **Перемычка тяговой рельсовой сети (железнодорожной)** — провод, соединяющий рельсы одного железнодорожного пути с рельсами другого пути или разные рельсовые нити одного пути.

156. **Анодная зона тяговой рельсовой сети (железнодорожной)** — участок тяговой рельсовой сети системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, на котором потенциал рельсов железнодорожного пути по отношению к земле имеет положительное значение и ток нагрузки стекает с рельсов в землю.

157. **Катодная зона тяговой рельсовой сети (железнодорожной)** — участок тяговой рельсовой сети системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, на котором потенциал рельсов железнодорожного пути по отношению к земле имеет отрицательное значение и ток нагрузки притекает из земли в рельсы.

158. **Знакопеременная зона тяговой рельсовой сети (железнодорожной)** — участок тяговой рельсовой сети системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, на котором потенциал рельсов железнодорожного пути по отношению к земле принимает поочередно положительные и отрицательные значения.

Линии электропередачи продольного электроснабжения

159. **Линия электропередачи продольного электроснабжения; ЛЭП ПЭ** — трехфазная линия электропередачи напряжением свыше 1000 В, проложенная вдоль железной дороги и предназначенная для электроснабжения нетяговых потребителей железной дороги.

160. **Линия электропередачи автоблокировки; ЛЭП АБ** — трехфазная линия электропередачи напряжением свыше 1000 В, проложенная вдоль железной дороги и предназначенная для электроснабжения технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики.

161. **Линия электропередачи «провод—рельсы»; ЛЭП ПР** — однофазная линия электропередачи напряжением 25 кВ, проложен-

ная вдоль железной дороги и предназначенная для электроснабжения технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики.

162. **Линия электропередачи «два провода—рельсы»; ЛЭП ДПР** — линия электропередачи, проложенная вдоль железной дороги на опорах контактной сети железной дороги, два провода которой и рельсы образуют трехфазную систему, предназначенная для электроснабжения нетяговых потребителей железной дороги.

163. **Участок линии электропередачи продольного электроснабжения [питающей линии контактной сети железной дороги, шунтирующей линии контактной сети железной дороги, отсасывающей линии тяговой сети железной дороги]** — часть линии электропередачи продольного электроснабжения [питающей линии контактной сети железной дороги, шунтирующей линии контактной сети железной дороги, отсасывающей линии тяговой сети железной дороги], имеющая одно и то же конструктивное исполнение, количество фаз, марку, количество, расположение и сечение проводов.

164. **Концевая опора линии электропередачи продольного электроснабжения** — опора линии электропередачи продольного электроснабжения, воспринимающая натяжение закрепленных на ней проводов линии электропередачи.

165. **Оттяжка концевой опоры линии электропередачи продольного электроснабжения** — конструкция, монтируемая между концевой опорой линии электропередачи продольного электроснабжения и анкером концевой опоры, предназначенная для передачи нагрузки от натяжения закрепленных на ней проводов линии электропередачи продольного электроснабжения.

166. **Линейная арматура; арматура** — устройство, выполняющее одну или несколько функций: подвешивание и прикрепление проводов, молниезащитных тросов и подвесок к опорам воздушных линий электропередачи и распределительным устройствам; соединение, натяжение, поддерживание и фиксация проводов на заданном расстоянии; гашение колебаний проводов и тросов; составление подвесок; защита гирлянд изоляторов от действия электрической дуги и снижение радиопомех; установка штыревых изоляторов и крепление на них проводов; армирование подвесных изоляторов.

Примечание. Термин «линейная арматура» применяется также к совокупности устройств, выполняющих указанные в определении функции.

Линейные устройства тягового электроснабжения

167. Линейное устройство системы тягового электроснабжения (железной дороги) — электроустановка, предназначенная для передачи, преобразования или распределения электрической энергии железнодорожного электроподвижного состава, расположенная на межстанционной зоне.

168. Автотрансформаторный пункт; АТП — линейное устройство системы тягового электроснабжения железной дороги переменного тока 2×25 кВ, содержащее автотрансформаторы, коммутационные аппараты и вспомогательное оборудование, предназначенное для снижения напряжения питающего провода до напряжения контактной сети железной дороги.

169. Пост секционирования контактной сети железной дороги; ПС контактной сети железной дороги — линейное устройство системы тягового электроснабжения железной дороги, предназначенное для электрического соединения секций контактной сети железной дороги с целью снижения потерь электрической энергии железнодорожного электроподвижного состава в нормальном режиме, для селективного отключения одной из секций контактной сети железной дороги при повреждении на ней или для решения указанных задач одновременно.

170. Пункт параллельного соединения контактной сети железной дороги; ППС контактной сети железной дороги — линейное устройство системы тягового электроснабжения, предназначенное для электрического соединения секций контактной сети железной дороги главных путей двухпутного участка железной дороги с целью снижения потерь напряжения и электрической энергии железнодорожного электроподвижного состава.

171. Пункт подготовки к рейсу пассажирских вагонов — линейное устройство системы тягового электроснабжения железной дороги, предназначенное для подключения к тяговой сети железной дороги цепей электрического отопления пассажирских железнодорожных вагонов, находящихся на путях отстоя.

172. Пункт преобразования напряжения; ППН — линейное устройство системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока с дополнительным проводом, предназначенное для преобразования напряжения дополнительного провода в напряжение контактной сети железной дороги.

173. **Пункт группировки станции стыкования** — линейное устройство системы тягового электроснабжения железной дороги, предназначенное для поочередной подачи рабочего напряжения различного значения и рода тока в переключаемые секции контактной сети станции стыкования.

Подстанция

174. **Тяговая подстанция (железной дороги)** — электрическая подстанция, предназначенная для обеспечения электрической энергией железнодорожного электроподвижного состава через тяговую сеть железной дороги и нетяговых потребителей железной дороги.

175. **Стыковая подстанция** — тяговая подстанция системы тягового электроснабжения железной дороги, предназначенная для обеспечения электрической энергией одновременно участков систем тягового электроснабжения железной дороги постоянного и переменного тока.

176. **Головная тяговая подстанция системы тягового электроснабжения переменного тока 94 кВ** — тяговая подстанция системы тягового электроснабжения переменного тока 94 кВ, предназначенная для обеспечения электрической энергией трансформаторов, расположенных в межподстанционной зоне.

177. **Трансформаторная подстанция; ТП** — электрическая подстанция, предназначенная для преобразования электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения с помощью трансформаторов.

178. **Распределительное (электрическое) устройство; РУ** — электроустановка, предназначенная для приема и распределения электрической энергии на одном напряжении и содержащая коммутационные аппараты и соединяющие их сборные шины [секции шин], устройства управления и защиты.

Примечание. К устройствам управления относятся аппараты и связывающие их элементы, обеспечивающие контроль, измерение, сигнализацию и выполнение команд.

179. **Тяговый преобразователь системы тягового электроснабжения железной дороги** — электротехническое устройство системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный ток и снабжения электрической энергией железнодорожного электроподвижного состава.

180. Выпрямительно-инверторный преобразователь системы тягового электроснабжения железной дороги — электротехническое устройство системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, предназначенное для преобразования переменного тока в постоянный ток и снабжения электрической энергией железнодорожного электроподвижного состава, а также приема электрической энергии режима рекуперативного торможения и преобразования ее в переменный ток.

181. Сглаживающее устройство (системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока) — устройство системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, предназначенное для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения.

182. Фильтрующее устройство — часть сглаживающего устройства системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, состоящая из резонансных контуров, настраиваемых на частоты гармонических составляющих тока железнодорожного электроподвижного состава.

183. Фильтрокомпенсирующее устройство; ФКУ — устройство поперечной компенсации реактивной энергии в системе тягового электроснабжения железных дорог переменного тока, которое компенсирует реактивную энергию и осуществляет фильтрацию высших гармонических составляющих тока железнодорожного электроподвижного состава.

184. Внутренний контур заземления тяговой подстанции [линейного устройства] системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока — изолированный от земли проводник, прокладываемый внутри тяговой подстанции [линейного устройства] системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, к которому подключаются заземляющие проводники электрооборудования напряжением свыше 1000 В постоянного тока тяговой подстанции [линейного устройства], и имеющий связь с внешним контуром заземления через реле заземления.

185. Внешний контур заземления тяговой подстанции [линейного устройства] системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока — система неизолированных проводников, погруженных в землю на тяговой подстанции [линейного устройства] системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного

тока, к которой подключаются заземляющие проводники электрооборудования до и свыше 1000 В переменного тока тяговой подстанции [линейного устройства].

186. Реле заземления тяговой подстанции [линейного устройства] системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока — реле защиты тяговой подстанции [линейного устройства] системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, реагирующее на электрический ток в проводнике, соединяющем внутренний и внешний контур заземления тяговой подстанции [линейного устройства].

187. Симметрирующий трансформатор — трансформатор тяговой подстанции системы тягового электроснабжения железной дороги переменного тока, предназначенный для снабжения электрической энергией железнодорожного электроподвижного состава со специальной схемой соединения его обмоток, осуществляющий снижение несимметрии токов железнодорожного электроподвижного состава на стороне напряжения, приложенного к первичной обмотке трансформатора.

188. Испытатель коротких замыканий тяговой подстанции железной дороги — устройство тяговой подстанции железной дороги, предназначенное для блокирования автоматического повторного включения выключателя питающей линии контактной сети железной дороги в зависимости от значения сопротивления контактной сети, определяемого после автоматического или вызванного действием защит отключения выключателя.

189. Разрядное устройство тяговой подстанции железной дороги — устройство, облегчающее работу быстродействующего выключателя тяговой подстанции системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока путем шунтирования реакторов сглаживающего устройства системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока при коротком замыкании в контактной сети железной дороги.

190. Короткозамыкатель отсасывающей линии тяговой сети (железной дороги) — коммутационный аппарат тяговой подстанции системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока, соединяющий отсасывающую линию тяговой сети железной дороги с внешним контуром заземления тяговой подстанции системы тягового электроснабжения железной дороги постоянного тока

при коротком замыкании в распределительном устройстве постоянного тока тяговой подстанции.

Телеуправление устройствами системы электроснабжения железной дороги

191. Телеуправление (устройствами системы электроснабжения железной дороги) — дистанционное управление коммутационным оборудованием тяговых подстанций железной дороги, трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения, контактной сети железной дороги и линий электропередачи продольного электроснабжения, осуществляемое энергодиспетчером.

192. Энергодиспетчерский пункт (железной дороги) — помещение, из которого осуществляется телеуправление устройствами системы электроснабжения железной дороги.

193. Телеблокировка (устройств системы электроснабжения железной дороги) — устройство, связывающее между собой схемы управления двумя выключателями питающих линий контактной сети железной дороги, расположенных на смежных тяговых подстанциях железной дороги или на тяговой подстанции и посту секционирования контактной сети железной дороги, предназначенное для отключения одного из связанных выключателей при автоматическом или не вызванном действием защит отключении другого выключателя.

194. Телесигнализация (устройств системы электроснабжения железной дороги) — получение информации о состоянии контролируемых и управляемых устройств системы электроснабжения железной дороги методами и средствами телемеханики.

195. Телеизмерение (устройств системы электроснабжения железной дороги) — получение информации о значениях измеряемых параметров контролируемых и управляемых устройств системы электроснабжения железной дороги методами и средствами телемеханики.

Режимы работы системы тягового электроснабжения

196. Вынужденный режим работы системы тягового электроснабжения (железной дороги) — режим работы системы тягового электроснабжения железной дороги при отключении элемента(ов) этой системы, обеспечивающийся за счет заложенного в ней резерва, допускающий временное ограничение размеров движения железно-

дорожного электроподвижного состава и ухудшение основных показателей, характеризующих работу системы тягового электроснабжения железной дороги, без выхода этих показателей за предельно допускаемые значения по нормам.

197. Нормальный режим работы системы тягового электроснабжения (железной дороги) — режим работы системы тягового электроснабжения железной дороги, при котором параметры всех элементов этой системы не выходят за пределы допустимых по нормам значений и система обеспечивает снабжение электрической энергией железнодорожного электроподвижного состава при расчетных размерах движения поездов.

198. Профилактический подогрев проводов тяговой сети (железной дороги) — мероприятие, направленное на предотвращение явления гололеда на проводах тяговой сети железной дороги, заключающееся в преднамеренном увеличении протекающего по ним уравнительного тока тяговой сети железной дороги.

Приложение 2

Таблица П2.1

Нормативные значения уровней напряжения в контактной сети электрифицированных железных дорог

Система электрификации	Постоянный ток	Переменный ток
Номинальное напряжение, В	3000	25 000
Минимальное кратковременное (≤ 10 мин) напряжение, В	—	17 500
Минимальное продолжительное напряжение, В	2000	19 000
Максимальное продолжительное напряжение, В	3600	27 500
Максимальное кратковременное (≤ 5 мин) напряжение, В	3900	29 000

Таблица П2.2

Параметры трехфазных трансформаторов для стационарных тяговых подстанций переменного тока

Тип трансформатора	Номинальная мощность, кВ·А	Номинальное напряжение, кВ			Напряжение к.з., %		
		ВН	СН	НН	ВС	ВН	СН
ТДТНЖ-25000/110	25 000	115	38,5	27,5	17	10,5	6
		115	27,5	11	10,5	17	6
ТДТНЖ-40000/110	40 000	115	38,5	27,5	17	10,5	6
		115	27,5	11	10,5	17	6
ТДТНЖ-40000/220	40 000	230	38,5	27,5	22	12,5	9,5
		230	27,5	11	12,5	22	9,5

Таблица П2.3

**Параметры однофазных трансформаторов
для тяговых подстанций переменного тока**

Тип трансформатора	Номинальная мощность обмоток, МВ·А		Напряжение обмоток, кВ		Напряжение к.з., %	Схема и группа соединения обмоток
	ВН	НН	ВН	НН		
ОРДНЖ-16000/220	16	8-8	230	27,5—27,5	12,5	1/1-1-00
ОРДНЖ-16000/110	16	8-8	115	27,5—27,5	10,5	1/1-1-0-0

Таблица П2.4

**Характеристики трансформаторов собственных нужд
тяговых подстанций переменного тока**

Серия трансформатора	ТМ
Регион производства	Россия
Виды системы охлаждения	Масляный
Номинальное напряжение (ВН, первичное), кВ	27,5
Номинальное напряжение (НН, вторичное), кВ	0,23, 0,4
Номинальная мощность, кВ·А	250, 400, 630, 1000

Таблица П2.5

Параметры преобразовательных трансформаторов тяговых подстанций постоянного тока

Серия, тип	Выпрямленный ток, А	Выпрямленное напряжение, В	Номинальная мощность сетевой обмотки, кВ·А	Номинальное напряжение, кВ
Трансформаторы для преобразователей по мостовой 6-фазной схеме выпрямления (ПВВ ±5 %) для электрифицированных железных дорог				
ТМПУ-16000/10ЖУ1	3150	3300	11 840	6, 10
Трансформаторы с расщепленными обмотками по мостовой 12-фазной схеме выпрямления (ПВВ ±5 %) для электрифицированного железнодорожного транспорта (с последовательным соединением преобразовательных секций)				
ТРМП-6300/10ПЖУ1	1600	3300	5700	10, 0
ТРДП-12500/10ЖУ1	3150	3300	11 400	6; 6,3; 10; 10,5
ТРДП-16000/10ЖУ1	3150	3300*/3800	11 400*/13 430	10,5

* В числителе указаны параметры в выпрямительном режиме. В комплексе с управляемым реактором глубина плавного регулирования 20 %.

** П — для подвижного железнодорожного транспорта.

Характеристики токосъемных элементов

Свойства токосъемных элементов	Виды токосъемных элементов				
	Угольные вставки		Металлокерамические вставки		
	Серийные угольные вставки марки А	Серийные угольные вставки марки Б	Серийные порошковые пластины марки ВЖЗП	Биметаллические порошковые рошковые пластины	Металлоуглеродные вставки
Нагрузочная способность однополюсного токоприемника, А:					
на стоянке (летом/зимой)	73/95	100/160	300/450	320/450	195/295
в движении	900	1100	2400	2500	1900—2100
Удельное электросопротивление, Ом·мм ² /м	30	15	0,3	0,28	5—8
Теплопроводность, Вт/(м·К)	25	30	56	58	38—40
Переходное сопротивление в месте контакта с проводом, мОм	5,8	3,8	1,8	1,6	2,45
Падение напряжения в контакте, В	4,64	3,04	0,44	0,45	1,84—2,2
Потеря мощности в контакте, Вт	3710	2430	350	360	1440
Тепловая энергия, выделяемая в контакте, ккал	890	584	83	85,4	345
Удельный износ, мм/10 ³ км (летом/зимой)	0,8/5	0,95/3,5	0,3/1,0	0,25/0,9	0,21/0,6
Нагрев токосъемного элемента за 1 с на расстоянии 3 мм от поверхности контакта при сьеме тока 800 А, °С	560	520	35	30	220
Перепад температур от контактной поверхности в сечении контактного провода при сьеме в течение 1 с тока 800—850 А, °С	280—120	220—110	60—40	70—50	130—60
Прочность на изгиб, кгс/мм ²	2,04	1,53	23	80	11,3

Алфавитный указатель

Автоколебание проводов воздушной линии электропередачи продольного электроснабжения	153
Автоколебание проводов контактной сети	153
Анкер контактной подвески железной дороги	164
Анкеровка воздушной линии электропередачи Продольного электроснабжения железной дороги	159
Анкеровка контактной подвески	159
Анкеровка контактной подвески компенсированная	160
Анкеровка контактной подвески средняя	160
Арматура линейная	166
Ветроустойчивость контактной подвески	153
Вибропантограф	146
Волновод железнодорожный	146
Вставка контактной сети нейтральная	150
Вынос контактного провода контактной подвески	154
Высота контактной подвески конструктивная	153
Высота оставшегося сечения контактного провода	155
Высота подвеса контактного провода	155
Вышка изолирующая съёмная	151
Длина контактной сети развернутая	149
Длина пролета контактной подвески	152
Длина струнового пролета контактной подвески	157
Дроссель-трансформатор тяговой рельсовой сети	164
Зажим контактного провода стыковой	158
Зажим несущего троса цепной стыковой	158
Зажим средней анкеровки	160
Зажим цепной контактной подвески струновой	158
Зажим эластичной струны контактной подвески	160
Заземление опор контактной сети групповое	164
Заземление опор контактной сети индивидуальное	164
Заземление опоры контактной сети	164
Заземлитель опоры контактной сети диодно-искровой	164

Заземлитель опоры контактной сети диодный	164
Защита электрорепеллентная	151
Зигзаг контактного провода контактной подвески	154
Зона железной дороги межподстанционная	148
Зона подхвата контактного провода полозом токоприемника железнодорожного ЭПС	158
Зона тяговой рельсовой сети анодная	165
Зона тяговой рельсовой сети знакопеременная	165
Зона тяговой рельсовой сети катодная	165
Износ контактного провода волнообразный	155
Износ контактного провода местный	155
Износ контактного провода механический	155
Износ контактного провода удельный	155
Износ контактного провода электрический	155
Изолятор контактной сети консольный	156
Изолятор контактной сети секционирующий	157
Изолятор контактной сети секционный	157
Изолятор контактной сети фиксаторный	157
Изолятор подвесной	157
Изолятор проводов линии электропередачи продольного электроснабжения секционирующий	157
Испытатель коротких замыканий тяговой подстанции качество токосъема токоприемником	170
Железнодорожного электроподвижного состава	149
Компенсатор контактной подвески	160
Консоль контактной сети железной дороги	160
Консоль контактной сети горизонтальная	161
Консоль контактной сети изогнутая	161
Консоль контактной сети изолированная	161
Консоль контактной сети наклонная	161
Консоль контактной сети неизолированная	161
Контур заземления линейного устройства системы тягового электроснабжения постоянного тока внешний	169
Контур заземления линейного устройства системы тягового электроснабжения постоянного тока внутренний	169
Короткозамыкатель отсасывающей линии тяговой сети	170

Кронштейн фиксаторный	162
Линия контактной сети питающая	148
Линия контактной сети шунтирующая	149
Линия тяговой сети отсасывающая	149
Линия электропередачи автоблокировки	165
Линия электропередачи «два провода—рельсы»	166
Линия электропередачи «провод—рельсы»	165
Линия электропередачи продольного электроснабжения	165
Напряжение наведенное на металлических сооружениях и коммуникациях	147
Опора гибкой поперечины контактной сети	163
Опора жесткой поперечины контактной сети	163
Опора контактной сети	163
Опора контактной сети анкерная	163
Опора контактной сети консольная	163
Опора контактной сети нераздельная	163
Опора контактной сети переходная	163
Опора контактной сети промежуточная	163
Опора контактной сети раздельная	163
Опора контактной сети фиксирующая	163
Опора линии электропередачи продольного электроснабжения концевая	166
Отжатиe контактного провода контактной подвески	154
Отклонение контактного(ых) провода(ов) контактной подвески ветровое	154
Оттяжка концевой опоры линии электропередачи продольного электроснабжения	166
Оценка состояния контактной сети балльная	151
Параметры контактной подвески оптимальные	153
Пережог провода контактной подвески	154
Переключатель станции стыкования	150
Перемычка тяговой рельсовой сети	165
Подвеска контактная	151
Подвеска контактная простая	152
Подвеска контактная цепная	152
Подвеска контактная цепная компенсированная	152
Подвеска контактная цепная некомпенсированная	152
Подвеска контактная цепная полукомпенсированная	152

Подвеска контактная жесткая	152
Подвеска контактная ромбовидная	152
Поджог контактного провода контактной подвески	154
Подкос консоли контактной сети	161
Подогрев проводов тяговой сети профилактический	172
Подстанция тяговая	168
Подстанция стыковая	168
Подстанция трансформаторная	168
Поперечина контактной сети гибкая	150
Поперечина контактной сети жесткая	151
Пост секционирования контактной сети	167
Потребитель железной дороги нетяговый	146
Преобразователь системы тягового электроснабжения выпрямительно-инверторный	169
Преобразователь системы тягового электроснабжения тяговый	168
Провод контактной подвески контактный	153
Провод контактной подвески контактный двойной	153
Провод контактной сети усиливающий	156
Провод контактной сети экранирующий	156
Провод питающий	149
Провод системы тягового электроснабжения переменного тока 2×25 кВ питающий	149
Пролет контактной подвески	152
Пролет контактной подвески струновой	157
Пролет цепной контактной подвески эквивалентный	153
Промежуток искровой	151
Пункт автотрансформаторный	167
Пункт группировки станции стыкования	168
Пункт энергодиспетчерский	171
Пункт контактной сети дежурный	151
Пункт параллельного соединения контактной сети	167
Пункт подготовки к рейсу пассажирских вагонов	167
Пункт преобразования напряжения	167
Разрядник роговой	151
Режим работы системы тягового электроснабжения железной дороги вынужденный	171

Режим работы системы тягового электроснабжения	
железной дороги нормальный	172
Ригель контактной сети	151
Секционирование контактной сети	150
Секционирование линии электропередачи продольного электроснабжения	150
Секция контактной сети	150
Секция контактной сети переключаемая	150
Секция линии электропередачи продольного электроснабжения	150
Сеть контактная	149
Сеть тяговая	148
Сеть железной дороги тяговая рельсовая	164
Система тягового электроснабжения железной дороги	147
Система тягового электроснабжения переменного тока	147
Система тягового электроснабжения переменного тока 25 кВ	147
Система тягового электроснабжения переменного тока 2×25 кВ	148
Система тягового электроснабжения переменного тока 94 кВ	148
Система тягового электроснабжения переменного тока с экранирующим и усиливающим проводами	148
Система тягового электроснабжения постоянного тока	147
Система тягового электроснабжения постоянного тока с дополнительным проводом	147
Система электроснабжения железной дороги	146
Соединитель железнодорожного пути рельсовый тяговый	165
Соединитель проводов электрический	159
Соединитель проводов электрический поперечный	159
Соединитель проводов электрический продольный	159
Соединитель железнодорожного пути рельсовый тяговый	165
Сопряжение анкерных участков	159
Сопряжение анкерных участков контактной подвески	159
Сопряжение анкерных участков изолирующее	159
Сопряжение анкерных участков неизолирующее	159
Станция стыкования	146
Стержень фиксатора контактного провода дополнительный	162
Стержень фиксатора контактного провода основной	162
Стойка фиксаторная	162

Стрела провеса контактного провода	156
Стрела провеса несущего троса цепной подвески	156
Стрела провеса усиливающего провода	156
Стрелка контактного провода воздушная	158
Струна контактной подвески поддерживающая	157
Струна контактной подвески страхующая	158
Струна контактной подвески эластичная	157
Струна контактной подвески электропроводящая	157
Стык железнодорожного пути изолирующий	165
Телеблокировка устройств системы электроснабжения	171
Телеизмерение устройств системы электроснабжения	171
Телесигнализация устройств системы электроснабжения	171
Телеуправление устройствами системы электроснабжения	171
Температура беспровесного положения контактного провода	155
Токоъем токоприемником железнодорожного ЭПС	149
Ток системы тягового электроснабжения блуждающий	147
Ток тяговой сети уравнивательный	147
Трансформатор симметрирующий	170
Трансформатор тяговый	146
Трос гибкой поперечины контактной сети фиксирующий	162
Трос рессорный	156
Трос средней анкеровки контактной подвески	160
Трос цепной контактной подвески несущий	156
Тяга консоли контактной сети	161
Уклон контактного провода контактной подвески	154
Устройство контактной подвески поддерживающее	160
Устройство распределительное электрическое	168
Устройство системы тягового электроснабжения линейное	167
Устройство системы тягового электроснабжения постоянного тока сглаживающее	169
Устройство тяговой подстанции разрядное	170
Устройство фильтрокомпенсирующее	169
Участок железной дороги электрифицированный высокоскоростной	146
Участок железной дороги электрифицированный скоростной	146
Участок контактной подвески анкерный	159
Участок контактной сети железной дороги	150

Участок линии электропередачи продольного электроснабжения	166
Фиксатор контактного провода контактной подвески	161
Фиксатор контактного провода гибкий	161
Фиксатор контактного провода обратный	162
Фиксатор контактного провода прямой	162
Фильтрующее устройство сглаживающего устройства	169
Фундамент опоры контактной сети железной дороги	163
Эластичность контактной подвески железной дороги	153
Электрификация железной дороги	146

Рекомендуемая литература

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. ЦРБ-756 от 26.05.2000 г.
2. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. ЦЭ-868. — М.: Трансиздат, 2002.
3. Правила устройства электроустановок. — 7-е изд. — М.: НЦ ЭНАС, 2007.
4. Силовое оборудование тяговых подстанций железных дорог: сборник справочных материалов. — М.: Трансиздат, 2004.
5. *Бондарев Н.А., Чекулаев В.Е.* Контактная сеть. — М.: Маршрут, 2006.
6. *Ерохин Е.А.* Устройство, эксплуатация и техническое обслуживание контактной сети и воздушных линий. — М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2007.
7. *Конюхова Е.А.* Электроснабжение объектов: учебное пособие для среднего профессионального образования. — М.: Академия, 2011.
8. *Москаленко А.В.* Электрические сети и системы. — М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2007.
9. *Ополева Г.Н.* Схемы и подстанции электроснабжения: справочник. — М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2006.
10. *Почаевец В.С.* Электрические подстанции. — М.: ФГБОУ «УМЦ ЖДТ», 2012.
11. *Рожкова Л.Д.* Электрооборудование электрических станций и подстанций. — М.: Академия, 2008.
12. *Сибикин М.Ю., Сибикин Ю.Д.* Электроснабжение. — М.: Радио-Софт, 2009.
13. *Чайкина Л.П.* Техника высоких напряжений. — М.: Маршрут, 2005.
14. Электроснабжение нетяговых потребителей железнодорожного транспорта. Устройство, обслуживание, ремонт / Под ред. В.М. Долдина. — М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2010.

Оглавление

Введение	3
Глава 1. СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА ..	5
1.1. Системы внешнего электроснабжения	5
1.2. Системы тягового электроснабжения	22
Глава 2. ТЯГОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ	33
2.1. Классификация тяговых подстанций	33
2.2. Распределительные устройства тяговых подстанций	35
2.3. Оборудование тяговых подстанций	43
Глава 3. КОНТАКТНАЯ СЕТЬ	72
3.1. Контактные подвески	74
3.2. Конструктивное исполнение контактной сети	81
Глава 4. ПИТАНИЕ И СЕКЦИОНИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ СЕТИ	107
4.1. Схемы питания контактной сети	107
4.2. Секционирование контактной сети	109
4.3. Стыкование участков постоянного и переменного тока	114
Глава 5. ЗАЩИТА СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	116
5.1. Основные способы защиты систем электроснабжения	116
5.2. Защита фидеров контактной сети	126
Глава 6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УСТРОЙСТВАМИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ	130
6.1. Взаимодействие контактной сети и токоприемника электроподвижного состава	130
6.2. Конструкция токоприемников	133
6.3. Токосъем и его основные характеристики	136
6.4. Особенности взаимодействия токоприемника с контактной сетью при высокоскоростном движении	142
6.5. Влияние изменения напряжения на работу электроподвижного состава	142
<i>Приложение 1</i>	145
<i>Приложение 2</i>	173
Алфавитный указатель терминов	177
Рекомендуемая литература	184