

Введение

Применение электрической тяги является одним из основных средств усиления технического оснащения железнодорожного транспорта, комплексно решающим основные вопросы развития железных дорог, повышения их производительности, надёжности работы и экономичности.

Введение электрической тяги повышает пропускную и провозную способность железнодорожных линий. (*Пропускная способность* – метрическая характеристика, показывающая соотношение проходящих единиц транспорта в единицу времени через канал, систему, узел. *Провозная способность* – метрическая характеристика, показывающая способность определённого вида транспорта перевезти определённое количество пассажиров или грузов по одной полосе движения в единицу времени.)

Потребность топлива и эксплуатационные расходы при электрической тяге уменьшаются в связи с уменьшением локомотивных бригад и персонала по экипировке и ремонту локомотивов. Уменьшаются простои подвижного состава в ремонте и под экипировкой. Скорости движения поездов увеличиваются и на отдельных участках достигают 200 км/ч.

Предпосылки к использованию электрической энергии для тяги поездов были созданы в конце XIX века открытиями и изобретениями русских учёных в области электротехники. В 1838 году академик Якоби Б.С. изобрёл первый в мире электродвигатель, который в дальнейшем был применён для электротяги. Русские инженеры Яблочков П.Н., Доливо-Добровольский М.О. работали над вопросами передачи электроэнергии на расстояние, были изобретены трансформатор и асинхронный двигатель.

Началом электрификации железных дорог бывшего СССР является ввод в эксплуатацию в 1926 году электрифицированного участка постоянного тока Баку – Сабунчи – Сураханы. В 1929 году вступил в эксплуатацию пригородный электрифицированный участок Московского узла: Москва – Мытищи постоянного тока напряжением 1650 В.

В 1932 году на электрическую тягу 3300 В постоянного тока было переведено грузовое и пассажирское движение на Сурамском перевале Закавказской железной дороги на участке Хашури – Зестафони, имеющем тяжёлый горный профиль с большим числом кривых малого радиуса.

Перед началом Великой Отечественной войны на 1 января 1941 года общая протяжённость электрифицированных железных дорог составляла 1880 км.

К 1956 году в Советском Союзе протяжённость электрифицированных железных дорог составляла 5361 км.

На 1 января 1982 года протяжённость электрифицированных железных дорог составляла 44,7 тыс. км.

К 2010 году протяжённость электрифицированных железных дорог России (ОАО «РЖД») составила 44,5 тыс. км., что составило примерно половину протяжённости всей сети железных дорог России.

С 1956 года началось применение системы однофазного переменного тока напряжением 25 кВ для электрификации железных дорог, а с 1979 года – система 2×25 кВ.

Преимущества электрической тяги:

1) высокая надёжность в эксплуатации в любых климатических зонах и особенно в условиях суровой зимы, что имеет особенно важное значение для дорог Севера, Урала и Сибири;

2) возможность сосредоточить большую мощность в одном электровозе, что затруднительно осуществить на автономном локомотиве, благодаря большой мощности электровозы способны водить поезда большой массы и имеют высокие скорости на подъёмах (скорость часового режима) порядка 50...65 км/ч для грузовых и 100...150 км/ч для пассажирских, что даёт поезду возможность проходить затяжные и крутые подъёмы более быстро, нежели тепловозам (это свойство электрической тяги способствует повышению пропускной и провозной способности железнодорожных линий);

3) при электрической тяге снижаются эксплуатационные и ремонтные расходы, поскольку не требуется сложных экипировочных операций, а ремонт электровозов дешевле и проще в сравнении с ремонтом тепловозов.

4) Грузонапряжённость электрифицированных линий в 3...4 раза выше тепловозных ходов.

5) Расход условного топлива на электрифицированных линиях в 1,8 раза ниже, чем при тепловозной тяге. А вес поезда и скорость выше на 20...30%.

Тема: Общие понятия об электроустановках

Электроустановка – комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для производства или преобразования, передачи, распределения или потребления электрической энергии. Различают электроустановки напряжением до 1000 В и выше 1000 В.

Электростанция – электроустановка, на которой вырабатывается электрическая или электрическая и тепловая энергия.

Электрическая подстанция – электрическая установка, предназначенная для преобразования электроэнергии по напряжению, частоте или роду тока.

Электрическое распределительное устройство (РУ) – электроустановка, предназначенная для приёма и распределения электрической энергии на одном напряжении.

Электрическая сеть – совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их линий электропередачи (ЛЭП), предназначенная для передачи и распределения электроэнергии на определённой территории.

Энергетическая система – совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью режима в непрерывном процессе производства, преобразования и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

Фидер – питающая линия.

**Тема: Системы внешнего и тягового электроснабжения
электрифицированных железных дорог.**

Система электроснабжения железной дороги включает в себя обеспечение электроэнергией как тягового подвижного состава, так и различных предприятий, необходимых для полноценного функционирования отрасли.

Основным тяговым потребителем электроэнергии является ЭПС. Структура схемы электроснабжения электрифицированных дорог имеет структуру включающую в себя *систему внешнего электроснабжения* и *систему тягового электроснабжения*.

Электрическая энергия, необходимая для электроподвижного состава, вырабатывается на тепловых, гидравлических, атомных и других электростанциях, объединённых в общую энергетическую систему.

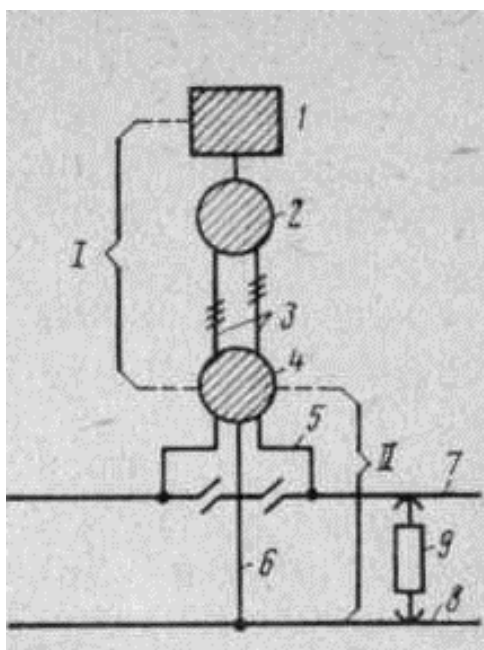


Рисунок 1 – Принципиальная схема питания электрифицированного участка железной дороги

I – система внешнего электроснабжения

II – система тягового электроснабжения

1 – генерирующая электростанция

2 – повышающая трансформаторная подстанция

- 3 – воздушные линии электропередачи (ВЛ) высокого напряжения
- 4 – тяговая подстанция
- 5 – питающие фидеры
- 6 – отсасывающая линия
- 7 – контактная сеть
- 8 – рельсовая сеть
- 9 – электроподвижной состав

От электрических станций через районные трансформаторные подстанции по трёхфазным линиям электропередачи высокого напряжения (ЛЭП) электрическая энергия передаётся к преобразовательным подстанциям электрифицированных железных дорог. Эти подстанции называют **тяговыми**.

В ряде случаев для этих целей сооружают специальные ЛЭП, которые называют **линиями продольного электроснабжения**, поскольку они идут вдоль (параллельно) железнодорожных линий.

Линии электропередачи разделяются на **воздушные** и **кабельные**. Для электроснабжения электрифицированных железных дорог применяются, как правило, воздушные ЛЭП трёхфазного тока напряжением 110 и 220 кВ.

Кабельные высоковольтные линии электропередачи прокладывают в городах или при пересечении водных поверхностей, где невозможна подвеска воздушных линий.

Электрические станции, подстанции и ВЛ до тяговых подстанций называют **системой первичного электроснабжения** или **системой внешнего электроснабжения**.

К **системам тягового (внутреннего) электроснабжения** относятся тяговые подстанции и электротяговая сеть, включающая в себя контактную и рельсовую сети, питающие фидеры и отсасывающие линии.

На тяговых подстанциях трёхфазный переменный ток преобразуется в ток соответствующего рода и напряжения для питания устройств электрической тяги

и *районных потребителей* (не железнодорожных), находящихся в зоне электрифицируемой линии, если там нет других источников питания.

Питание электроподвижного состава осуществляется от контактной сети через токоприёмники. Рельсовая сеть является вторым проводом тяговой сети.

На электрических станциях вырабатывается трёхфазный переменный ток частотой 50 Гц и напряжением 6,3; 10,5; 21 кВ. Электроэнергия поступает на расположенную рядом трансформаторную подстанцию, где напряжение повышается до 35; 110; 220; 330; 500 или 750 кВ, при этом значении напряжения электроэнергия передаётся на большие расстояния.

Для бесперебойного электроснабжения потребителей, лучшего использования установленного электрооборудования на электростанциях и подстанциях и лучшего качества электроэнергии электрические станции и подстанции одного района соединяют линиями электропередачи и таким образом создают энергетическую систему.

Тема: Системы электрической тяги железных дорог России.

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

- 1) постоянного тока с номинальным напряжением в контактной сети 3 кВ;
- 2) переменного однофазного тока промышленной частоты 50 Гц с номинальным напряжением в контактной сети 25 кВ;
- 3) переменного однофазного тока промышленной частоты 50 Гц с номинальным напряжением в тяговой сети 2×25 кВ.

В качестве преобразователей переменного тока в постоянный на подстанциях дорог постоянного тока используют полупроводниковые преобразователи. На подстанциях дорог переменного тока частотой 50 Гц преобразователями являются трансформаторы. Тяговые подстанции используют так же для питания промышленных, сельскохозяйственных и *линейных железнодорожных нагрузок* (нетяговых, но относящихся к железной дороге).

Линейные железнодорожные и районные потребители называют **нетяговыми**.

К железнодорожным потребителям относят силовые и осветительные нагрузки промежуточных станций, служебных и бытовых зданий, нагрузки локомотивных и вагонных депо, электрифицированные механизмы и инструменты путевых бригад, а к районным – нагрузки сельскохозяйственных и промышленных предприятий, расположенных вдоль железной дороги до 30 км в сторону от неё.

Тяговые подстанции расположены вдоль железных дорог через каждые 20...25 км на дорогах постоянного тока и через 40... 60 км на дорогах переменного тока, на участках электрифицированных по системе переменного однофазного тока промышленной частоты 50 Гц с номинальным напряжением в тяговой сети 2×25 кВ до 80...

100 км.

Контактная сеть служит для подведения электроэнергии к электроподвижному составу и может быть выполнена в виде воздушной подвески или дополнительного контактного рельса (на метрополитенах). Контактная и рельсовая сети соединены воздушными или кабельными линиями с шинами тяговой подстанции.

Тема: Классификация электроустановок по надёжности и безопасности электроснабжения.

Все электроприёмники (ЭП) предприятий железнодорожного транспорта в отношении обеспечения надёжности электроснабжения, согласно ОСТ 32.14 – 80 «Электроприёмники предприятий железнодорожного транспорта», разделяются на три категории:

1) *к первой категории* относятся ЭП, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, срыв графика

движения поездов, значительный ущерб железнодорожному транспорту и другим отраслям экономики в целом;

2) *ко второй категории* относятся ЭП, перерыв электроснабжения которых приводит к нарушению производственного цикла и массовым простоям рабочих энергоёмких потребителей предприятий;

3) *к третьей категории* относятся все остальные ЭП.

ЭП первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых источников питания и перерыв их электроснабжения при выходе из строя одного из источников питания может быть допущен лишь на время срабатывания устройства *автоматического включения резерва* (АВР), согласно ПУЭ время срабатывания не должно превышать 1,3 с. Таким образом, бесперебойность электроснабжения достигается за счёт *резервирования электрических мощностей*.

Из ЭП первой категории выделяется *особая группа* электроприёмников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного движения поездов, предотвращения угрозы жизни людей, пожаров и большого экономического ущерба.

Для электроснабжения особой группы ЭП должно предусматриваться дополнительное электроснабжение от третьего независимого источника питания.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы ЭП и в качестве второго независимого источника питания для ЭП первой категории могут быть использованы специальные агрегаты или аккумуляторные батареи.

ЭП второй категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых источников питания.

Для ЭП второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения второго источника питания дежурным персоналом или выездной оперативной бригадой.

Для ЭП третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания, при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены повреждённого элемента системы электроснабжения, не превышают одних суток.

В таблице 1 приведены некоторые ЭП и их категории в отношении обеспечения надёжности электроснабжения объектов железнодорожного транспорта в хозяйстве электрификации и электроснабжения и локомотивном хозяйстве.

Таблица 1

Первая категория	Вторая категория	Третья категория
ПТО и экипировочные устройства локомотивов Компрессорная экипировки Энергодиспетчерский пункт Устройства телеуправления, телесигнализации и дистанционного контроля	Сушильно-пропиточное отделение депо Механический цех депо Сушильно-пропиточный цех базы масляного хозяйства Трансформаторный цех дорожной электро-технической мастерской	Другие ЭП депо, дом локомотивных бригад, лаборатория, другие ЭП завода Склады дизельного топлива, масел, песка, кроме ЭП 1-ой и 2-ой категории Мастерские, дежурный пункт дистанции контактной сети, мастерские района электрических сетей, дистанции электроснабжения, РРУ, ДЭЛ, отделение КИП

Питание тяговых подстанций осуществляется по двум воздушным линиям, каждая из которых рассчитана на полную мощность подстанции. Основное оборудование тяговых подстанций (выпрямительные агрегаты, трансформаторы, выключатели) резервируются.

Надёжность контактной сети обеспечивается повышенным запасом прочности её элементов и секционированием, т.е. разделением контактной сети на секции (отдельные участки), изолированные друг от друга и нормально

соединяемые с помощью разъединителей. Питание секций осуществляется от тяговых подстанций по самостоятельным питающим фидерам.

Электроустановки (ЭУ) *по условиям электробезопасности* разделяются Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) на электроустановки:

- до 1000 В (до 1 кВ) по действующему значению напряжения;
- выше 1000 В (выше 1 кВ).

Тема: Схемы электроснабжения нетяговых потребителей электрифицированных дорог.

От тяговых подстанций получают питание нетяговые потребители. Потребители большой мощности получают электроэнергию по отдельным трёхфазным воздушным линиям напряжением 10...35 кВ от специально установленных на тяговых подстанциях трансформаторов.

Питание железнодорожных и близлежащих районных потребителей осуществляется от воздушных линий напряжением 10 кВ продольного электроснабжения, располагаемых на опорах контактной сети с полевой стороны (полевая сторона – сторона противоположная железнодорожной линии).

Эти воздушные линии допускают отбор энергии в любом месте с помощью передвижных или стационарных комплектных трансформаторных подстанций (КТП).

На дорогах переменного тока электроснабжение нетяговых потребителей осуществляют по схеме ДПР (два провода – рельс).

Схема ДПР представлена на рисунке 2. Дополнительные провода *Д1* и *Д2* подвешивают на опорах контактной сети с полевой стороны и получают питание от распределительного устройства (РУ) 27,5 кВ тяговой подстанции. Третьей фазой являются ходовые рельсы *Р*. Линия ДПР нормально питается от обеих подстанций, но имеет раздел питания посередине. В случае необходимости всю линию ДПР можно питать от одной подстанции. При неодинаковом чередовании

фаз на тяговых трансформаторах смежных подстанций (см. рис. 31) для избежания изменения направления вращения трехфазных двигателей в случае подключения к другой подстанции предусматривается переключение двух фаз.

Стоимость электроснабжения системы ДПР по сравнению с продольными трехфазными ВЛ 10 кВ меньше в 1,5...2 раза, а с ВЛ 35 кВ меньше в 2...2,3 раза.

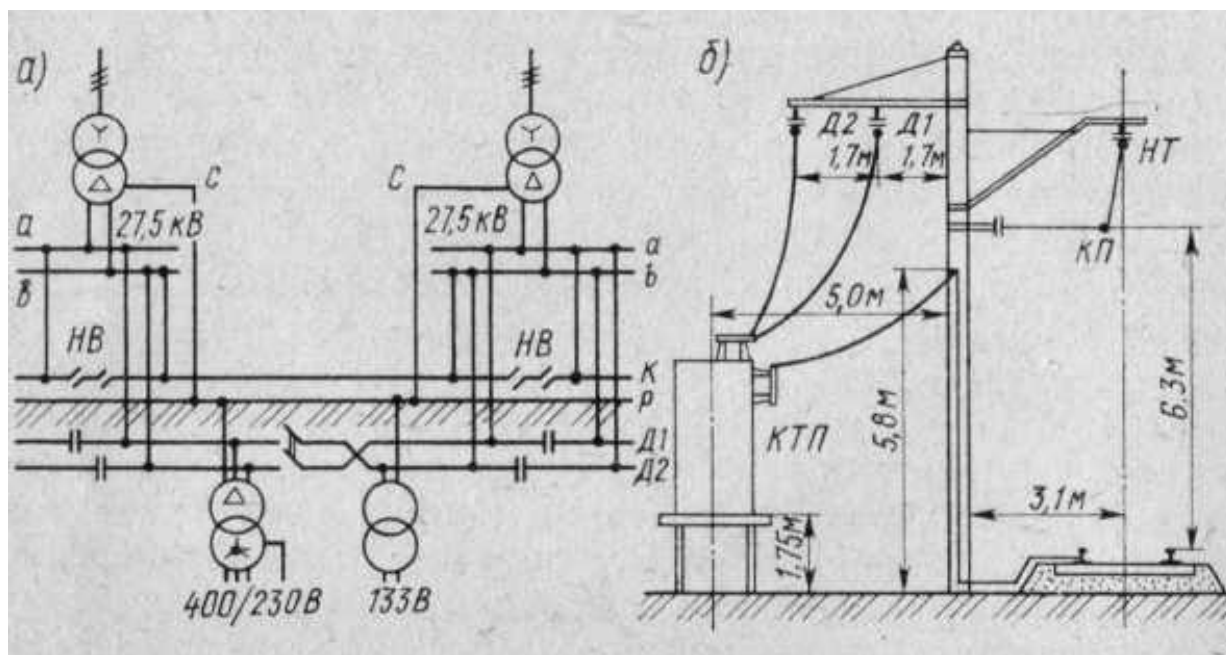


Рисунок 2. Схема ДПР (а) и присоединение КТП к системе ДПР (б):
К — контактный провод; *Р* — рельсы; *Д1* и *Д2* — дополнительные провода;
НВ — нейтральная вставка; *КП* — контактный провод; *НТ* — несущий трос

Стационарные КТП имеют мощность: однофазные от 2 до 50 кВА, трёхфазные от 25 до 400 кВА.

Для питания электроинструмента и путевых механизмов применяют однофазные и трёхфазные передвижные КТП мощностью от 1 до 3 кВА.

Несимметрия в схеме ДПР достигает 3...5%, что является её недостатком.

Воздушные линии автоблокировки 10 кВ получают питание от тяговых подстанций.

Тема: Системы тягового электроснабжения.

1 Система тягового электроснабжения однофазного переменного тока напряжением 25 кВ.

В системе электрической тяги на переменном токе тяговые подстанции являются трансформаторными понижающими подстанциями. Они получают питание от трёхфазных воздушных ЛЭП 110, 220 кВ, понижают подведённое к ним напряжение и распределяют его.

Номинальное напряжение на шинах тяговых подстанций выше, чем в контактной сети: на переменном токе оно составляет 27,5 кВ (в контактной сети 25 кВ).

Уровень напряжения на токоприёмнике ЭПС должен быть не менее 21 кВ и не более 29 кВ. На отдельных участках с разрешения ОАО «РЖД» допускается уровень напряжения не менее 19 кВ. От тяговых подстанций электрическая энергия поступает к локомотивам по тяговой сети, которая состоит из четырёх частей:

- 1) контактная сеть;
- 2) рельсовая сеть;
- 3) питающие линии;
- 4) отсасывающие линии.

Питающие и отсасывающие линии выполняют в виде воздушных или кабельных линий, соединяющих контактную сеть и рельсовую сеть с соответствующими шинами тяговой подстанции.

Рельсовая сеть представляет собой совокупность электротяговых нитей ходовых рельсов.

По контактной сети осуществляется подача электрической энергии к движущимся локомотивам путём непосредственного контакта с их

токоприёмниками, поэтому устройство контактной сети значительно сложнее, чем других частей тяговой сети.

При системе переменного тока применяют однофазную схему питания ЭПС. Система тяги на трёхфазном переменном токе не получила распространения из-за того, что очень сложно изолировать близко расположенные провода двух фаз контактной сети (третья фаза – рельс).

При системе питания однофазным переменным током промышленной частоты применяют локомотивы с двигателями постоянного тока (на локомотиве устанавливают понижающий тяговый трансформатор и выпрямительную установку) и локомотивы с асинхронными двигателями переменного тока.

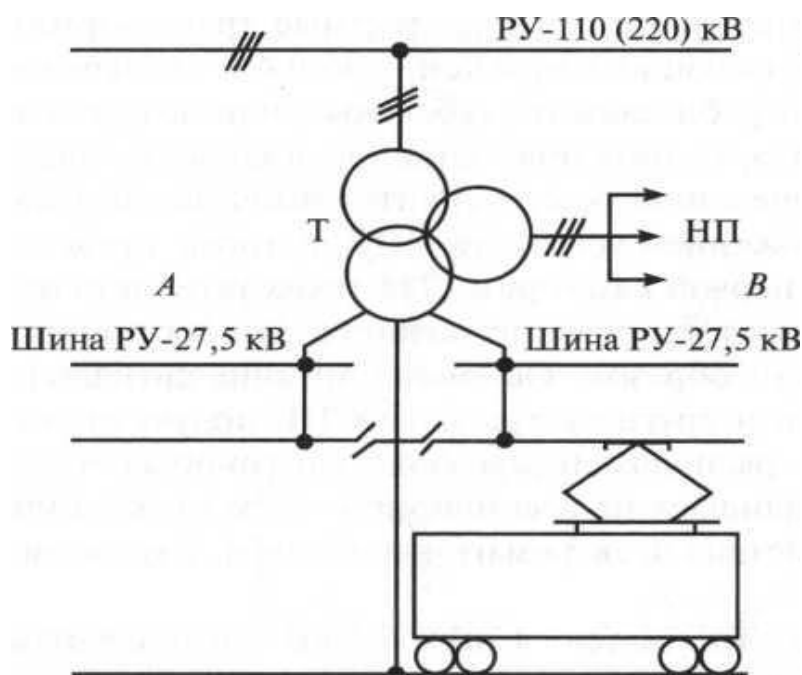


Рисунок 3. Система тягового электроснабжения однофазного переменного тока напряжением 25 кВ:

Т — тяговый трансформатор; НП — нетяговые потребители

Фидеры контактной сети получают питание от фаз А и В распределительного устройства 27,5 кВ. Фаза С соединяется с рельсовой цепью отсасывающей линией и заземляется через контур заземления подстанции. Для

предотвращения межфазного замыкания при смене фаз в контактной сети устанавливается нейтральная вставка.

Достоинства системы однофазного переменного тока тяговой сети 25 кВ:

- 1) значительное снижение капитальных затрат, поскольку вследствие высокого напряжения тяговые подстанции располагают реже (через 50 км), чем при системе тягового электроснабжения постоянного тока 3 кВ (через 20 км);
- 2) удешевляется стоимость контактной сети, т.к. потребность в цветных металлах для контактной подвески снижается примерно в 2 раза, поскольку её сечение на напряжении 25 кВ составляет 120...140 мм² на путь, кроме того, облегчаются опорные и поддерживающие конструкции.

Недостатки системы однофазного переменного тока тяговой сети 25 кВ:

- 1) неравномерная нагрузка фаз питающей системы, что приводит к появлению уравнивающих токов;
- 2) вредные электромагнитные влияния на линии связи и смежные воздушные линии низкого напряжения;
- 3) индуктивное слияние на контактные подвески соседних путей;
- 4) усложнение и удорожание электровозов переменного тока по сравнению с электровозами постоянного тока, поскольку на них перенесены с тяговой подстанции тяговые трансформаторы и выпрямители.

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

Система тягового электроснабжения переменного однофазного тока напряжением 2×25 кВ предусматривает дополнительный питающий провод с напряжением 50 кВ, который монтируют вдоль электрифицированной линии.

Напряжение на этот провод подаётся от трансформаторов тяговых подстанций и от линейных понижающих автотрансформаторов, расположенных на расстоянии 10...15 км друг от друга вдоль железной дороги между тяговыми подстанциями.

При системе 2×25 кВ питание контактной сети осуществляется напряжением 50 кВ, вследствие чего существенно снижаются потери напряжения и энергии при её передаче, а расстояние между тяговыми подстанциями оказывается возможным увеличить до 80...100 км.

Между контактным проводом и рельсами при этом сохраняется напряжение 25 кВ, что позволяет эксплуатировать те же электровозы, что и на линиях переменного тока 25 кВ, а также сохранить в тяговой сети существующее оборудование на напряжение 25 кВ.

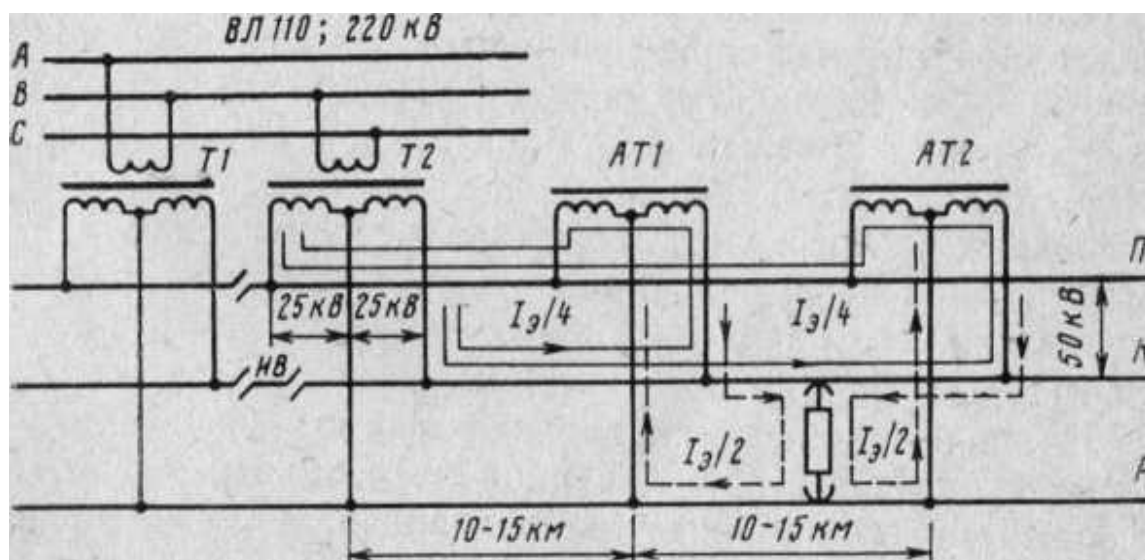


Рисунок 4. Схема системы электроснабжения 2×25 кВ

Такая система обеспечивает передачу энергии к ЭПС при небольших расстояниях между автотрансформаторами напряжением 25 кВ, а на больших расстояниях — от подстанции к автотрансформаторам напряжением 50 кВ, что приводит к снижению потерь напряжения и энергии. Помимо этого, ток ЭПС возвращается на подстанцию не по рельсам, а по питающему проводу, в результате чего уменьшается влияние тяговой сети на линии связи и можно

применять более дешевый кабель связи.

На тяговой подстанции устанавливают однофазные трансформаторы *TP1* и *TP2*, имеющие две вторичные обмотки с напряжением 27,5 кВ, соединенные последовательно. Их общая точка присоединена к рельсу. Вывод одной обмотки присоединяют к контактной сети, другой — к питающему проводу. Первичные обмотки подключают к разным фазам питающей ВЛ по схеме открытого треугольника. Однофазные трансформаторы позволяют осуществлять пофазное регулирование напряжения под нагрузкой и создать независимость напряжения каждого плеча питания от нагрузки другого, что повышает эффективность системы.

На подстанции устанавливают три однофазных тяговых трансформатора: два рабочих и один резервный, который может заменить любой рабочий. Для питания районных потребителей на подстанции устанавливают трехфазные трансформаторы. Потребители с небольшой нагрузкой могут получать питание от тяговых трансформаторов по системе ДПР.

Достоинства системы однофазного переменного тока тяговой сети 2×25 кВ:

- 1) система 2×25 кВ позволяет увеличить расстояние между подстанциями до 100 км, стоимость дополнительного оборудования в системе с автотрансформаторами покрывается за счет уменьшения расходов на подстанциях;
- 2) процессе эксплуатации установлено, что на дорогах, электрифицированных по системе 2×25 кВ, электромагнитное влияние на цепи кабеля связи снижается в 7...11 раз, а опасное индуктированное (наведённое) напряжение — в 8 раз по сравнению с системой 25 кВ;

Недостатки системы однофазного переменного тока тяговой сети 2×25 кВ:

- 1) снижение надёжности электроснабжения за счёт повышенных гололёдных нагрузок из-за наличия дополнительного питающего провода;

- 2) увеличение воздушного промежутка между питающим проводом и другими проводами и конструктивными частями сооружений до 1,5 м по сравнению с 0,8 м при системе переменного тока напряжением 25 кВ;
- 3) большие уравнивающие токи, возникающие в тяговой сети, для их уменьшения питание должно осуществляться от одной электростанции и трансформаторы на тяговых подстанциях должны быть абсолютно идентичны.

Тема: Назначение, классификация и схемы питания тяговых подстанций.

1 Общие сведения о тяговых подстанциях.

Электрической подстанцией называют электрическую установку, предназначенную для преобразования и распределения электрической энергии.

Трансформаторной подстанцией называют электрическую подстанцию, предназначенную для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения с помощью трансформаторов.

Тяговой подстанцией называют электрическую трансформаторную подстанцию, предназначенную для питания транспортных средств на электрической тяге через контактную сеть.

Тяговые подстанции являются одним из важнейших устройств системы тягового электроснабжения. Их питание осуществляется от системы внешнего электроснабжения, а потребителем преобразованной энергии является электроподвижной состав железных дорог.

Применяются также тяговые подстанции для питания городского электрического транспорта и электропоездов метрополитена.

2 Классификация тяговых подстанций.

По схеме присоединения к системе внешнего электроснабжения тяговые подстанции подразделяют на:

- 1) опорные – получают питание от системы внешнего электроснабжения по трём и более линиям электропередачи напряжением 110 кВ или 220 кВ;

- 2) промежуточные проходные (транзитные) – получают питание по одной линии электропередачи, в расщелку которой она включена, от двух опорных или районных подстанций;
- 3) промежуточная ответвительная (отпаечная) – получает питание по двум линиям (или цепям ЛЭП) напряжением 110 или 220 кВ, к которым она присоединена ответвлениями (отпайками);
- 4) конечная (тупиковая) – получает питание по двум радиальным линиям от другой тяговой или районной подстанции.

По системе электрической тяги тяговые подстанции подразделяют на:

- 1) тяговые подстанции постоянного тока напряжением 3,3 кВ;
- 2) тяговые подстанции переменного тока напряжением 25 кВ;
- 3) тяговые подстанции переменного тока напряжением 2×25 кВ;
- 4) тяговые подстанции переменного-постоянного (стыковые).

По способу управления тяговые подстанции подразделяют на:

- 1) с ручным управлением;
- 2) автоматические;
- 3) телеуправляемые.

По конструктивному исполнению подстанции делят на:

- 1) стационарные;
- 2) передвижные (на железнодорожных. платформах).

В зависимости от способов размещения оборудования подстанции бывают закрытые, открытые и смешанные.

3 Схемы внешнего электроснабжения тяговых подстанций.

Схемы питания тяговых подстанций должны обеспечивать бесперебойное и надёжное электроснабжение подстанций.

Существуют различные схемы внешнего электроснабжения тяговых подстанций в зависимости от расположения электрических станций, районных подстанций, их количества, мощности потребителей прилегающих районов.

Наиболее часто встречающимися на практике схемами являются:

- 1) кольцевая;
- 2) двустороннего питания;
- 3) одностороннего питания;
- 4) радиальная.

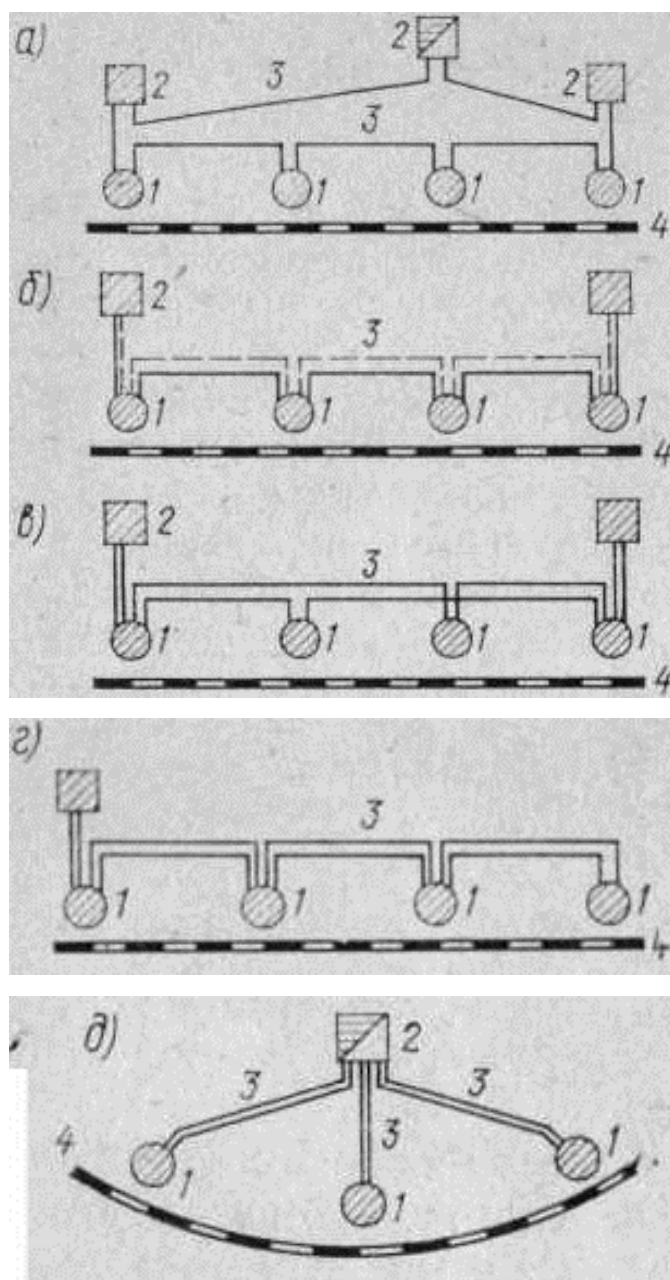


Рисунок 4. Схемы питания тяговых подстанций:

1 — тяговая подстанция; 2 — электрическая станция или районная подстанция;
3 — линии электропередачи; 4 — линия железной дороги

Кольцевая схема (рисунок 4,а) надёжна и экономична; все электрические станции и тяговые подстанции соединены в кольцо воздушными линиями электропередачи. Тяговые подстанции имеют два ввода воздушных ЛЭП. Отключение любого питающего центра 2 или любой воздушной линии не вызывает прекращения питания подстанций.

При двустороннем питании (рисунок 4,б) питающие центры 2 соединены линиями электропередачи через шины тяговых подстанций. Подстанции имеют два ввода воздушных линий. Эта система питания надёжна, но менее экономична. В случае, если воздушные линии являются линиями передачи межсистемной связи, для увеличения надёжности, на всём протяжении их выполняют двухцепными.

Такая система питания является дорогостоящей из-за двойного количества вводов воздушных линий на подстанциях. Для уменьшения этих затрат применяют схемы с уменьшенным числом вводов (рисунок 4,в). Тяговые подстанции, на которые заводятся обе цепи воздушной линии, называют **опорными**. Они наиболее надёжны в работе, но имеют высокую строительную стоимость. Тяговые подстанции, называемые **промежуточными**, срезают или в какую-либо одну из цепей воздушной линии или присоединяют отпайкой (в зависимости от числа подстанций).

На участках переменного тока при напряжении питающей воздушной линии 110 кВ между двумя опорными тяговыми подстанциями допускается размещать не более трёх промежуточных подстанций, а при напряжении 220 кВ – не более пяти.

На участках постоянного тока, при любом первичном напряжении питающей воздушной линии, между опорными подстанциями допускается размещать не более пяти промежуточных.

Одностороннее питание (рисунок 4,г) применяют в тех случаях, когда имеется одна электрическая станция или районная подстанция в данном районе. Надёжность питания тяговых подстанций в этом случае ниже, чем при

кольцевом и двустороннем питании. Для повышения надёжности применяют двухцепные воздушные линии.

Если конфигурация железной дороги имеет дугообразный вид, то применяется *радиальная схема питания* (рисунок 4,д).

Тема: Системы контактной сети. Конструкция простой и цепной подвесок.

1 Системы контактной сети.

Контактная сеть электрифицированных железных дорог состоит из воздушной подвески, опорных и поддерживающих конструкций. К поддерживающим конструкциям подвешены контактные, несущие и усиливающие провода и различные вспомогательные устройства. По конструкции контактные сети постоянного тока 3000 В и однофазного переменного тока 25 кВ имеют много общего и отличаются только лишь уровнем изоляции. На дорогах переменного тока вследствие меньших токов поездов площадь сечения проводов контактной сети меньше.

Контактная сеть работает в тяжелых условиях: резкие изменения температуры воздуха, ветер, гололед, грозы. Тяговый ток нагревает её провода. Контактная сеть не имеет резерва. Поэтому для обеспечения ее надежности при проектировании и строительстве предусматривают повышенные коэффициенты запаса прочности — от 2 до 4. Кроме того, контактную сеть секционируют, т. е. разделяют на отдельные секции, изолированные в механическом и электрическом отношении друг от друга, что обеспечивает удобство ее эксплуатации.

Стоимость устройств контактной сети составляет 30 ... 35% общей суммы капитальных вложений в электрификацию дорог.

Устройства контактной сети должны удовлетворять следующим требованиям:

— обеспечивать бесперебойный токосъем при максимальных скоростях движения в любых атмосферных условиях;

иметь простую конструкцию, обеспечивающую быстрое восстановление сети при повреждениях и наименьшую зону повреждения;

- противостоять действию климатических и эксплуатационных факторов;
- обеспечивать наименьшие расходы на эксплуатационное обслуживание;
- иметь длительные сроки службы;
- стоимость устройств контактной сети должна быть возможно меньшей.

С начала развития электрической тяги наметились две системы контактной сети: контактный рельс и воздушная подвеска.

Контактные рельсы широко применяют на метрополитенах. На наземных дорогах контактные рельсы применяют очень редко, так как трудно обеспечить безопасность людей и животных, которые могут оказаться на электрифицированной линии. где контактный и ходовые рельсы расположены в непосредственной близости друг от друга.

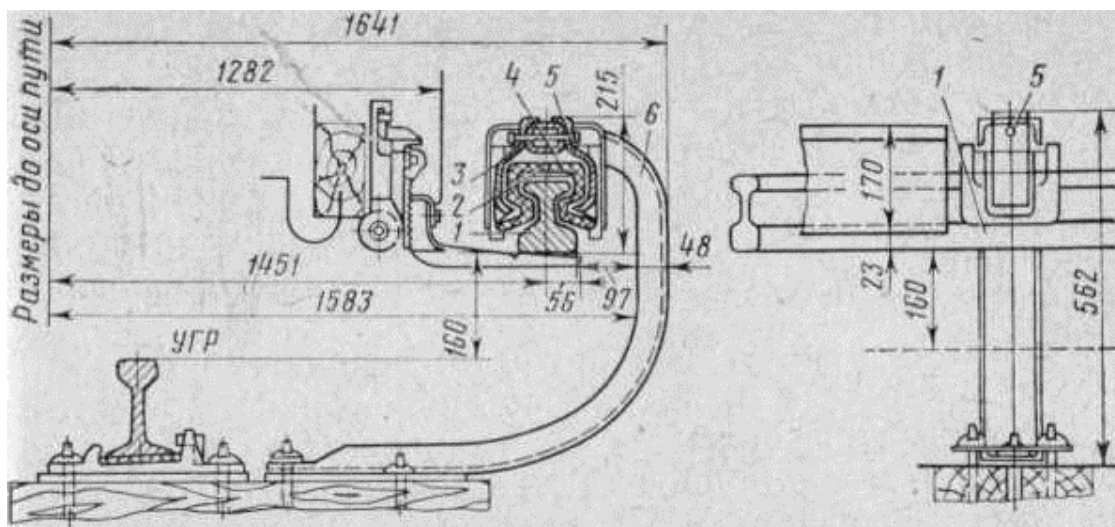


Рисунок 5. Расположение и конструкция контактного рельса:

/ — контактный рельс; 2 — резиновый шнур; 3 — стяжной болт; 4 — изолятор;
5 — скоба; 6 — кронштейн; УГР — уровень головок рельсов

На электрифицированных железных дорогах применяют воздушные контактные подвески. Их разделяют на **простые** и **цепные**.

2 Конструкция простой и цепной подвесок.

Простая контактная подвеска, часто называется трамвайной, представляет

собой свободно висящий провод между точками его подвеса к поддерживающим конструкциям на опорах, установленных вдоль линии на расстоянии, называемом длиной пролёта или просто пролётом (30...40 м).

Этот провод имеет непосредственный контакт с токоприёмником подвижного состава и поэтому его называют контактным.

Простые подвески обеспечивают бесперебойный токосъём при сравнительно небольших скоростях движения. Их применяют в трамвайных и троллейбусных сетях и на второстепенных путях станций железных дорог, где скорость движения не превышает 35...40 км/ч.

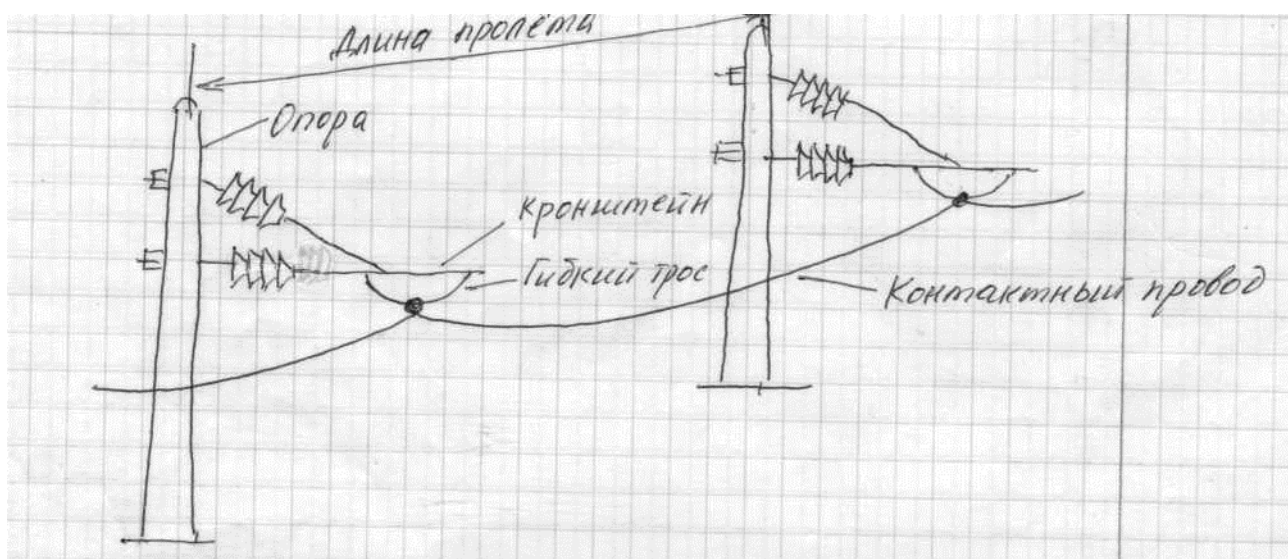


Рисунок 6. Схема простой контактной подвески

При высоких скоростях движения поездов применяют **цепные контактные подвески**, в которых контактный провод висит в пролёте между опорами не свободно, а подвешен с помощью часто расположенных вертикальных проволок (струн) к другому дополнительному продольному проводу – несущему тросу.

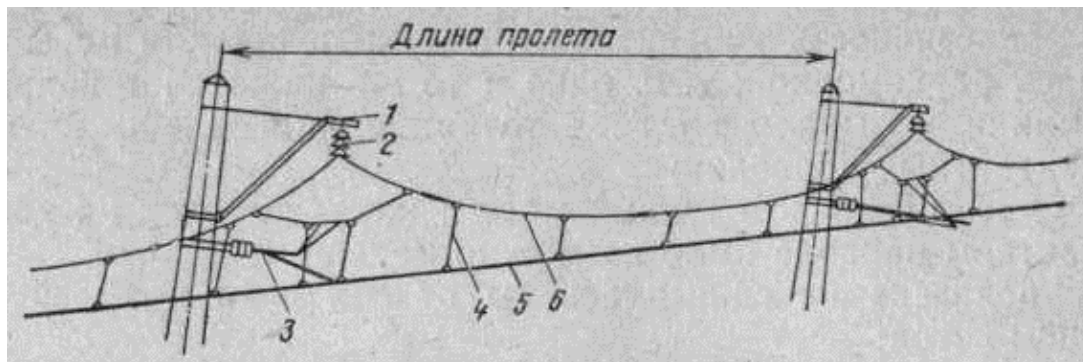


Рисунок 7. Схема цепной подвески:

1 — консоль; 2 — изолятор; 3 — фиксатор; 4 — струна; 5 — контактный-провод; 6 — несущий трос

Тема: Классификация цепных контактных подвесок. Хорошие условия токосъёма.

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.

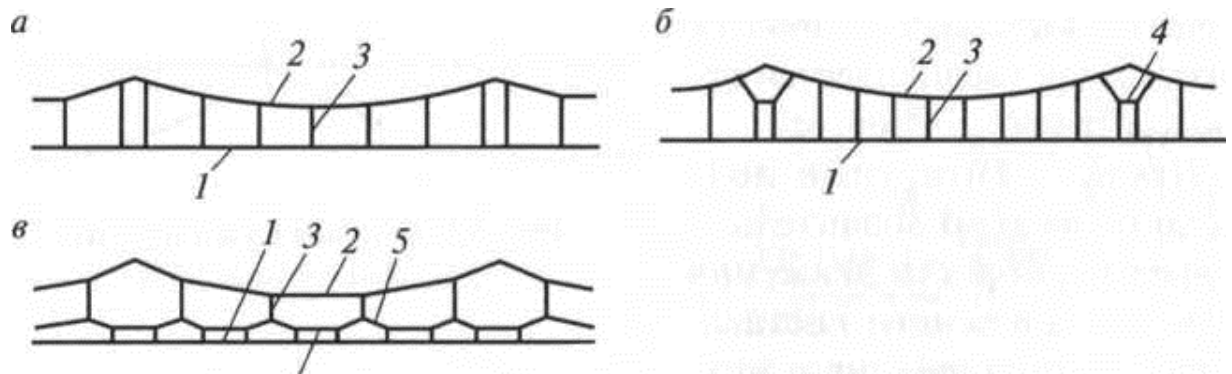


Рисунок 8. Способы подвешивания проводов цепной контактной подвески: *а* — одинарная подвеска; *б* — одинарная рессорная подвеска; *в* — двойная

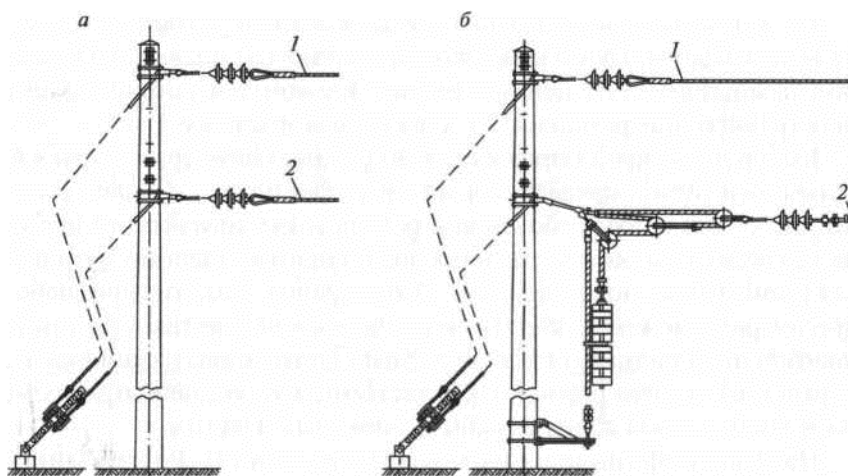
В **одинарных** контактных подвесках (рисунок 8, *а*) контактный провод 1 крепят непосредственно к несущему тросу 2 через струны 3.

Одинарные рессорные контактные подвески (рисунок 8, *б*) позволяли улучшить прохождение токоприемника через опорные узлы за счёт установки возле опоры рессорной струны 4, к которой крепится и контактный провод.

Двойные подвески (рисунок 8, *в*) используются на участках, где необходимо обеспечить практически беспровесное расположение контактного провода (минимальную *стрелу провеса* контактного провода). В таких подвесках к несущему тросу 2 с помощью струн 3 крепится вспомогательный провод 5, на который подвешивается контактный провод 1.

Стрелой провеса контактного провода называют расстояние, измеренное в вертикальной плоскости расположения провода между точкой его подвеса и точкой наибольшего провисания.

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



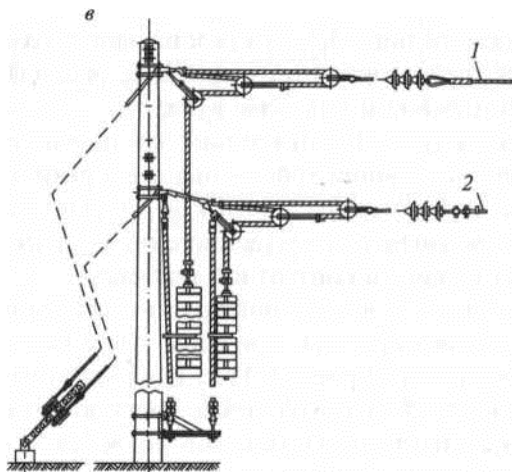


Рисунок 9. Способы регулирования натяжения проводов:

а — жесткая анкеровка; *б* — полукompенсированная анкеровка; *в, г* — компенсированная анкеровка; 1 — несущий трос; 2 — контактный провод

В **некомпенсированных** контактных подвесках (рисунок 9, *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 (рисунок 9, *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 (рисунок 9, *в*).

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

можно применять общий компенсатор, 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 (рисунок 10).

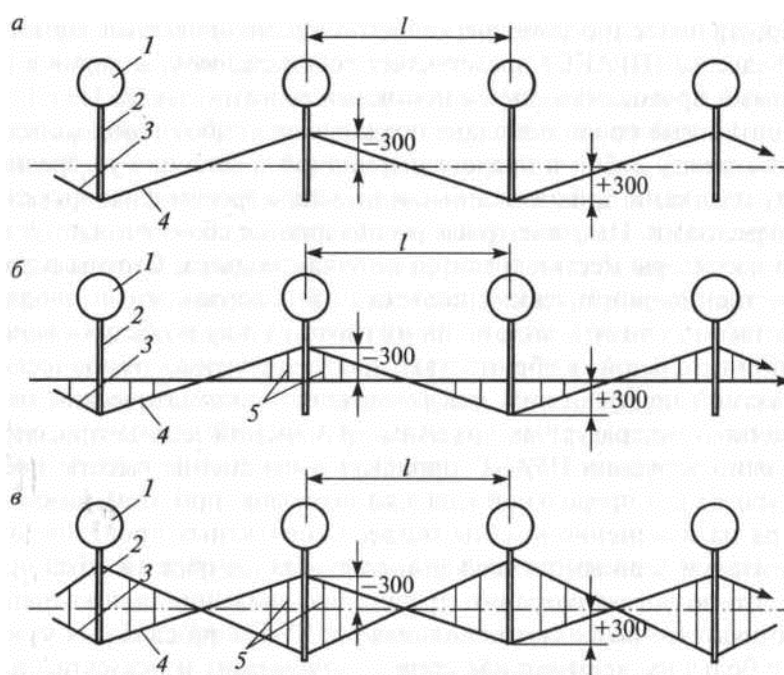


Рисунок 10. Взаимное расположение проводов в плане:

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

Вертикальная подвеска (рисунок 10, *a*) представляет собой подвеску, в которой контактный провод и несущий трос располагаются в одной вертикальной плоскости над осью пути.

В **полукосой** подвеске (рисунок 10, *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 (рисунок 10, *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 (рисунок 11).

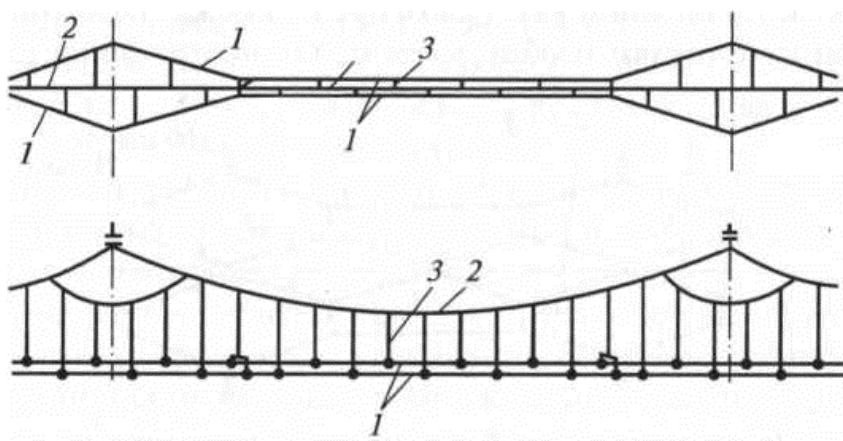


Рисунок 11. Ромбовидная контактная подвеска:

1 — контактный провод; 2 — несущий трос; 3 — струны

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.

Вертикальную цепную подвеску на кривом участке пути называют хордовой (рисунок 12, а). Её применяют тогда, когда на прямых участках пути монтируют полукосую подвеску. Ветроустойчивость вертикальной подвески на кривой примерно такая же, как у полукосой подвески на прямой.

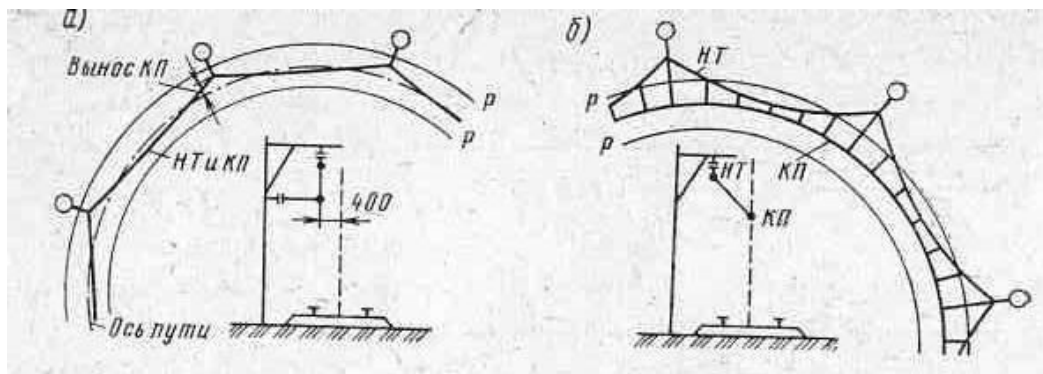


Рисунок 12. Вертикальная (хордовая) (а) и косая (б) подвески кривых (Р-рельс)

Косую цепную подвеску на кривом участке пути (рисунок 12, б) монтируют, если на прямых участках также применена косая подвеска. Ветроустойчивость косой подвески на кривой примерно такая же, как у косой подвески на прямом участке пути. Контактный провод косой подвески на кривом участке пути располагается не по хорде, а криволинейно, поэтому можно не устанавливать фиксаторы, что благоприятно скажется на качестве токосъёма.

Хорошие условия токосъёма обеспечиваются, когда токоприёмник при движении по контактному проводу в пролёте сохраняет неизменное положение по высоте, а нажатие его на провод остаётся постоянным.

Для обеспечения хороших условий токосъёма необходимы следующие условия:

- 1) стрела провеса контактного провода должна быть наименьшей, а масса подвески, связанная с контактным проводом, наибольшей;
- 2) эластичность контактной подвески в пролёте должна оставаться равномерной, то есть одно и то же нажатие токоприёмника должно вызывать во всех точках одинаковое отжатие контактных проводов;
- 3) подвеска не должна сдвигаться от оси пути под действием ветра;
- 4) нажатие токоприёмника должно быть достаточным для безыскрового токосъёма, так как в этом случае силы инерции, а также силы трения в шарнирах токоприёмника будут наименьшими;

Простая подвеска перечисленным требованиям не удовлетворяет.

Цепные подвески поддерживают неизменным натяжение проводов, двойные цепные подвески обеспечивают увеличение массы контактной подвески и более спокойную работу токоприёмника.

Подвески с рессорной струной создают равномерную эластичность контактной сети.

Тема: Изоляторы и изолирующие вставки. Провода и тросы контактных подвесок. Поддерживающие устройства и опоры контактной сети.

1 Изоляторы и изолирующие вставки.

Изоляторы на контактной сети предназначены для изоляции проводов, находящихся под напряжением, от заземленных частей и электрического отделения одной секции контактной сети от другой.

Изоляторы изготавливают из фарфора и закаленного стекла. Они испытывают большие механические нагрузки и должны обладать высокими диэлектрическими свойствами.

Электрическую прочность изоляторов характеризуют *сухоразрядным*, *мокроразрядным* и *пробивным* напряжением.

Сухоразрядным называют напряжение, при котором происходит поверхностное перекрытие изолятора при сухой и чистой его поверхности, а *мокроразрядным* — напряжение перекрытия при дожде.

Пробивным называют напряжение, при котором происходит пробой изолятора: пробивное напряжение должно быть в 1,5 раза выше сухоразрядного.

Для постоянного тока напряжением 3 кВ изоляторы должны иметь сухоразрядное напряжение не менее 75 кВ и мокроразрядное — не менее 50 кВ, а для переменного тока напряжением 25 кВ — соответственно 135 и 100 кВ.

Изоляторы классифицируются по назначению:

- подвесные;
- натяжные;
- консольные;
- фиксаторные;
- изолирующие вставки.

По материалу изоляционной части:

- керамические (фарфоровые):

- стеклянные;
- полимерные.

По типу конструкции:

- тарельчатые;
- стержневые.

Подвесные изоляторы тарельчатого типа (Рисунок 13) 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.

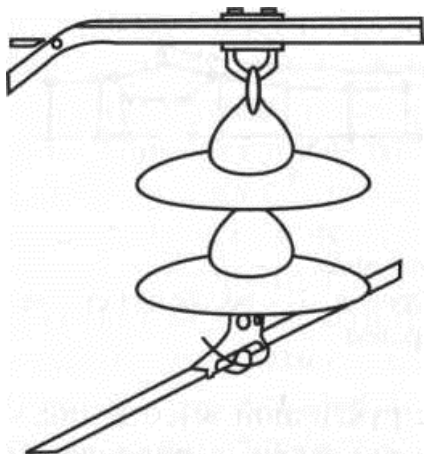


Рисунок 13. Подвесные изоляторы контактной сети

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 (Рисунок 14), так и стержневого типа (Рисунок 15).

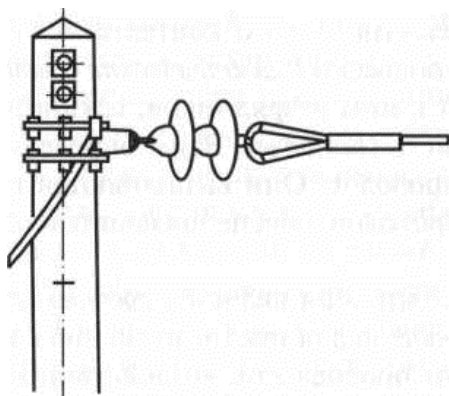


Рисунок 14. Натяжные изоляторы тарельчатого типа

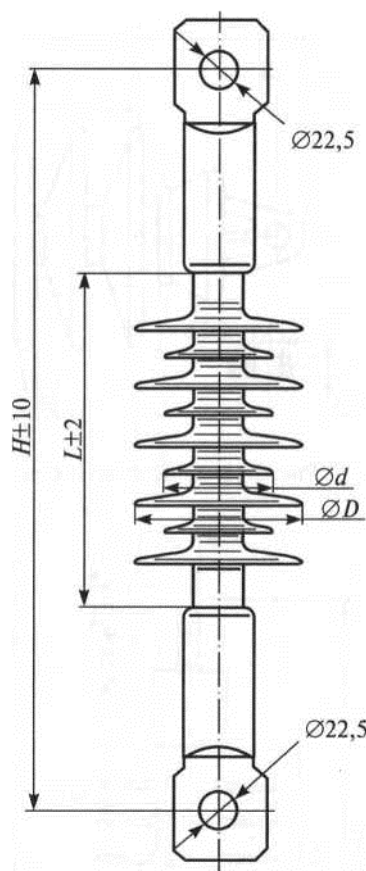


Рисунок 15. Натяжной полимерный изолятор стержневого типа НСПКр 120-25:
 H , L , d , D — геометрические размеры изолятора

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 (Рисунок 16) и полимерными (Рисунок 17).

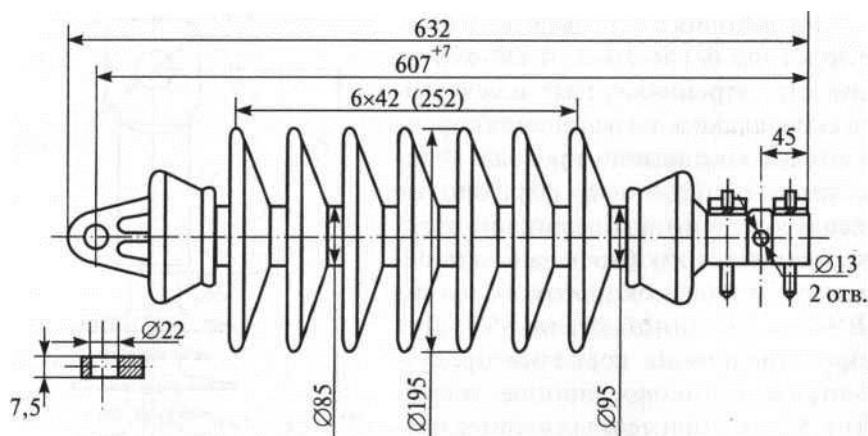


Рисунок 16. Консольный стержневой фарфоровый изолятор КСФ-70-25

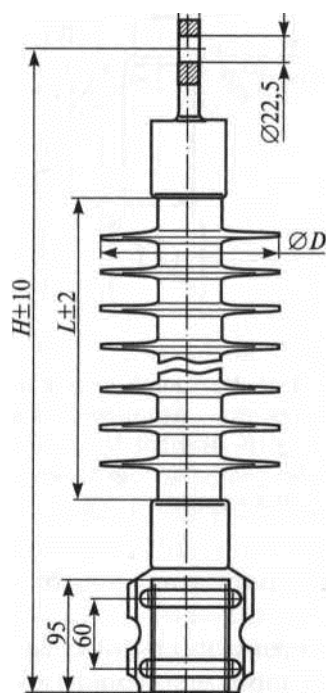


Рисунок 17. Консольный стержневой полимерный изолятор КСПКр 120-25

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.

Секционный изолятор (Рисунок 18) является особым видом изоляторов, применяемых на воздушных линиях, так как по нему проходит полость токоприемника. Он предназначен для разделения контактной сети на секции. Устанавливается в основном на станционных путях. При этом во время замыкания или размыкания полостью 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 — изоляторы с изолирующими вставками в виде круглых стержней с фторопластовыми чехлами.

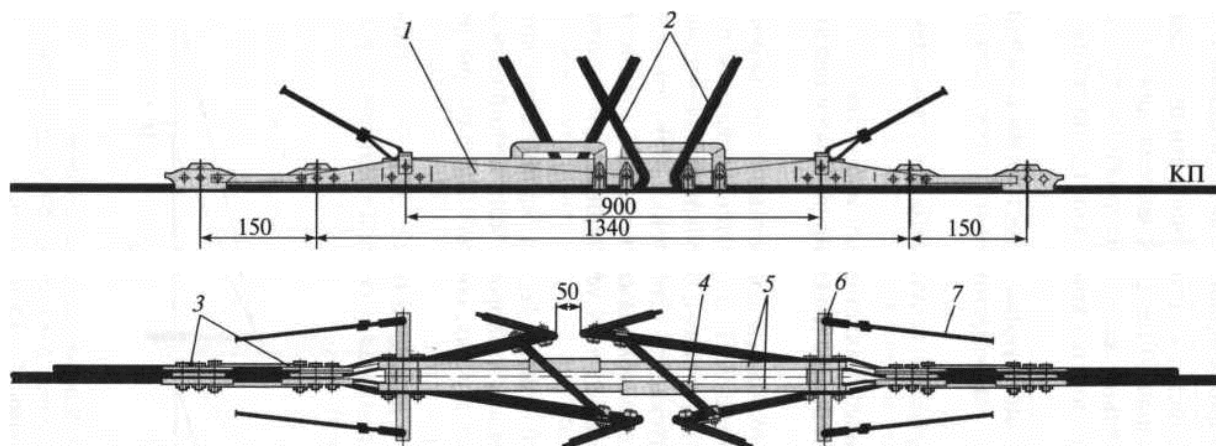


Рисунок 18. Секционный изолятор:

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

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-скользящими.

2 Провода и тросы контактных подвесок.

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

Провода контактной подвески являются одной из основных частей контактной сети, они должны 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.

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 механическими повреждениями вследствие контакта с пластинами ползз 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.

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 (Рисунок 19, а) и фасонного овального (Рисунок 20, б) профиля, которые имеют два продольных желобка для захвата головки провода арматурой.

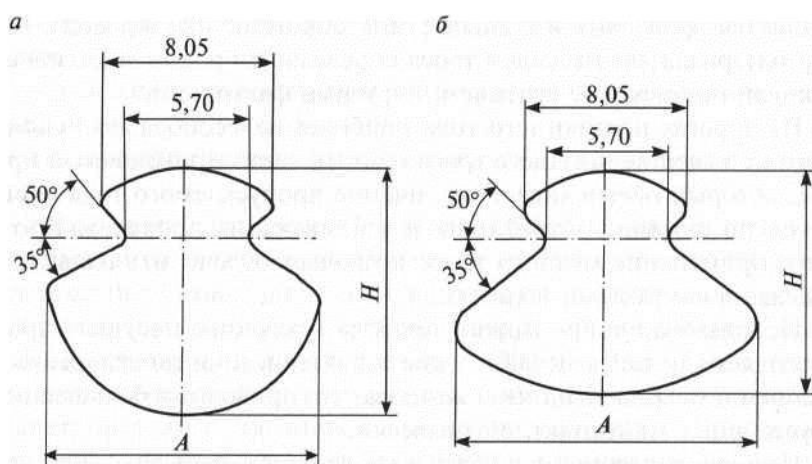


Рисунок 19. Контактные провода:
а — фасонного профиля; б — фасонного овального профиля; А, Н — геометрические размеры провода

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 марки М, а также биметаллические провода марки ПБСМ. Кроме того, применяются 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.

3 Поддерживающие устройства и опоры 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 не поворотные).

Однопутные консоли (Рисунок 20, *а*) устанавливаются на одно- и двухпутных участках. На перегонах с большим количеством путей, а также на станциях допускается установка **двухпутных** консолей (Рисунок 20, *б*). Применение **многопутных** консолей должно быть вызвано крайней необходимостью в их установке при невозможности применения поперечин.

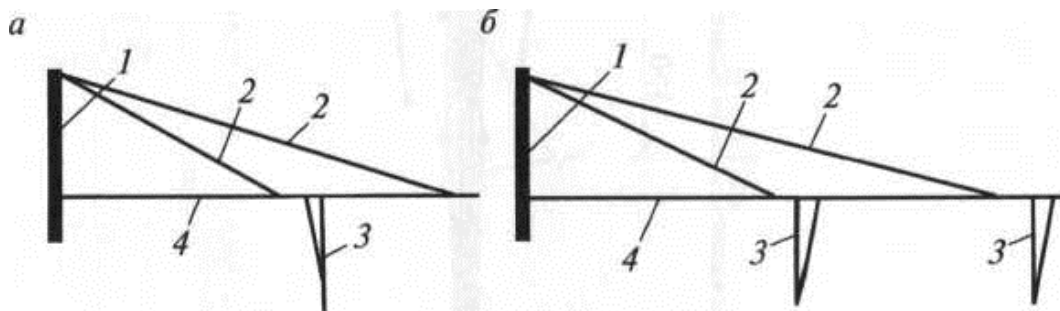


Рисунок 20. Консоли контактной сети: *а* — однопутная; *б* — двухпутная; 1 — опора; 2 — тяга; 3 — фиксаторная стойка; 4 — кронштейн

Горизонтальные консоли (Рисунок 21, *а*), кронштейны которых установлены под прямым углом к опорам контактной сети железной дороги. Горизонтальные консоли проще в изготовлении, применяются в тех случаях, когда высота опоры достаточна для закрепления наклонной тяги.

Кронштейны **наклонных консолей** (Рисунок 21, *б*) выполняются из двух швеллеров, соединенных между собой соединительными планками, или из оцинкованных труб. Преимущество их в меньшей, чем при горизонтальной консоли, высоте опоры. Наклонные консоли могут быть только однопутными.

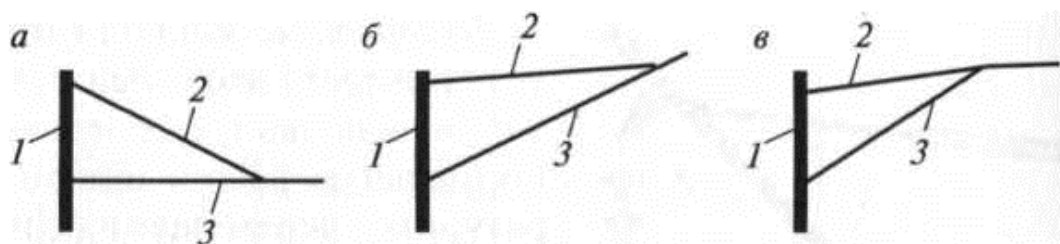


Рисунок 21. Виды консолей:
а — горизонтальная; *б* — наклонная; *в* — изогнутая; 1 — опора; 2 — тяга;
3 — кронштейн

Изогнутые консоли (Рисунок 21, 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 (Рисунок 22). Достоинством таких консолей является возможность производить работы на несущем тросе рядом с ними без снятия напряжения.

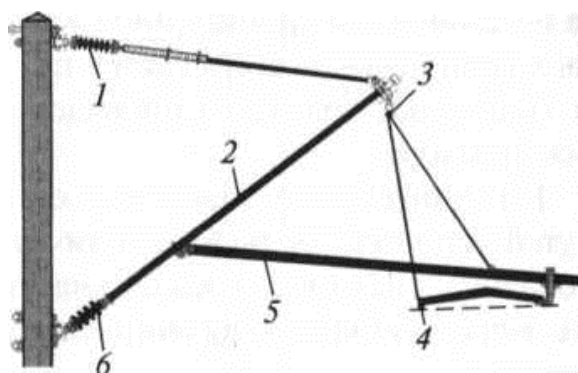


Рисунок 22. Изолированная консоль:
1, 6 — изоляторы; 2 — кронштейн консоли; 3 — несущий трос; 4 — контактный провод; 5 — фиксатор

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 (Рисунок 23). Положение несущего троса при использовании неизолированных консолей более стабильно при механических воздействиях, что, в свою очередь, ведет к улучшению качества токосъема.

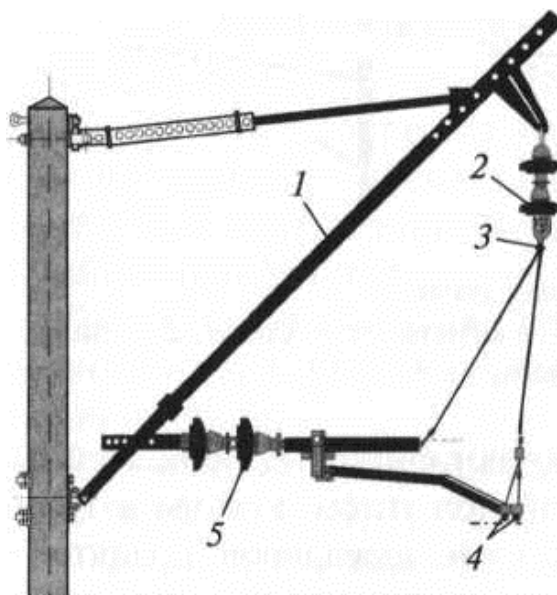


Рисунок 23. Неизолированная консоль:

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

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

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.

4 Опоры контактной сети.

Опоры контактной сети различают по типу закрепляемого на них поддерживающего устройства. В контактной сети в качестве поддерживающих устройств используют консоли, жёсткие поперечины и гибкие поперечины.

Соответственно по этому признаку опоры делятся на **консольные, фидерные, стойки жёстких поперечин, опоры гибких поперечин**.

Консольные опоры применяются на однопутных и двухпутных перегонах, а также на отдельно расположенных путях станций.

Жёсткие и гибкие поперечины применяют на станциях и многопутных перегонах.

По назначению и характеру воспринимаемых нагрузок различают опоры:

1) **промежуточные** – только поддерживают контактную подвеску, воспринимают нагрузку от веса проводов и горизонтальные усилия от ветра;

2) **фиксирующие опоры** – предназначены для фиксации положения проводов при изменении их направления, воспринимают только горизонтальные нагрузки от изменения направления проводов и от действия ветра на них;

3) **анкерные опоры** – предназначены для натяжения закреплённых на них анкеруемых проводов контактной сети, воспринимают нагрузки и от натяжения провода и от его веса;

4) **переходные опоры** – устанавливаются между анкерными опорами в местах сопряжения анкерных участков и поддерживают две ветви контактной сети;

5) **фидерные опоры** – предназначены для подвешивания только питающих или отсасывающих проводов.

Фидерные опоры бывают промежуточные, угловые, на которых на которых осуществляется изменение направления проводов; анкерные, устанавливаемые при переходах через дороги, железнодорожные пути, и концевые.

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

Деревянные опоры в настоящее время используются только временные.

Жесткие поперечины (Рисунок 24), состоящие из двух и более опор с закрепленными на них металлическими конструкциями (ригелями), предназначены для поддержания и фиксации проводов контактных подвесок нескольких электрифицированных путей.

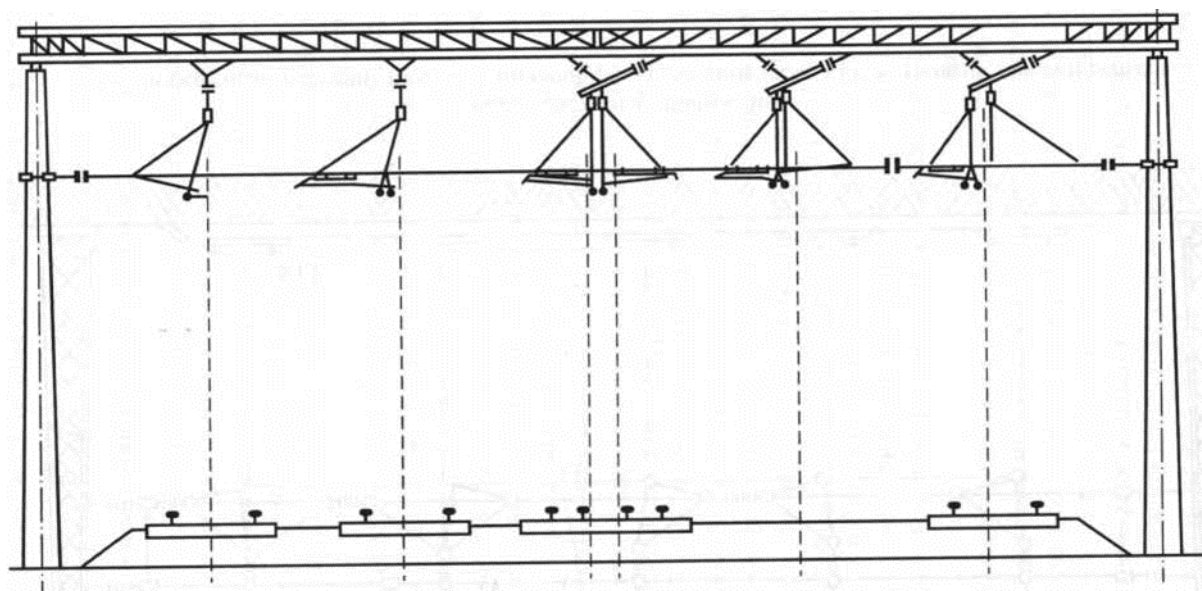


Рисунок 24. Жёсткая поперечина

Жёсткие поперечины просты по конструкции, 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 (Рисунок 25) 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.

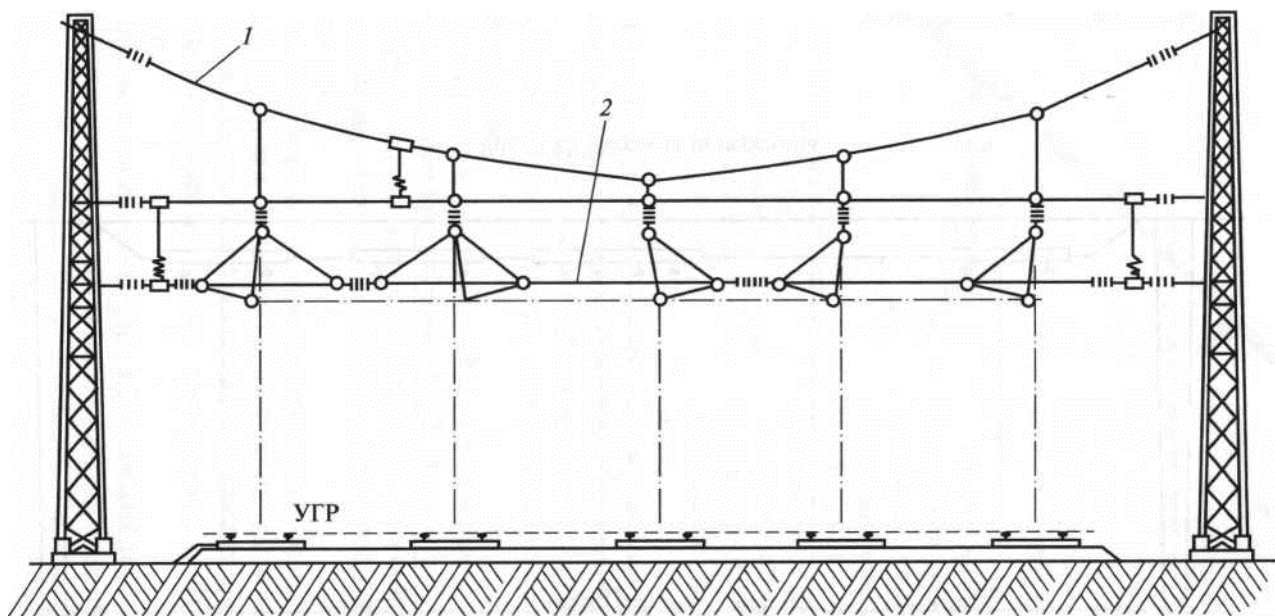


Рисунок 25. Гибкая поперечина:
1 — поперечный несущий трос; 2 — нижний фиксирующий трос; УГР — уровень головки рельсов

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.

5 Сопряжение 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 — 140 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 (рисунок 26) 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 на анкерной опоре). Для надежного электрического соединения на таких сопряжениях устанавливаются электрические продольные соединители, которые имеют площадь сечения, эквивалентную площади сечения проводов контактной сети.



Рисунок 26. Неизолирующее трехпролетное сопряжение

При необходимости обеспечить не только механическое разделение контактной сети, но и разделить ее на отдельные секции, выполняют *изолирующее сопряжение* анкерных участков.

При движении электроподвижного состава по стрелочным переводам также возникает необходимость плавного перехода полза 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 переводом (рисунок 27). Вид воздушной стрелки определяется типом

стрелочного перевода.

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

Обе сопрягаемые контактные подвески соединяются между собой электрическими соединителями.

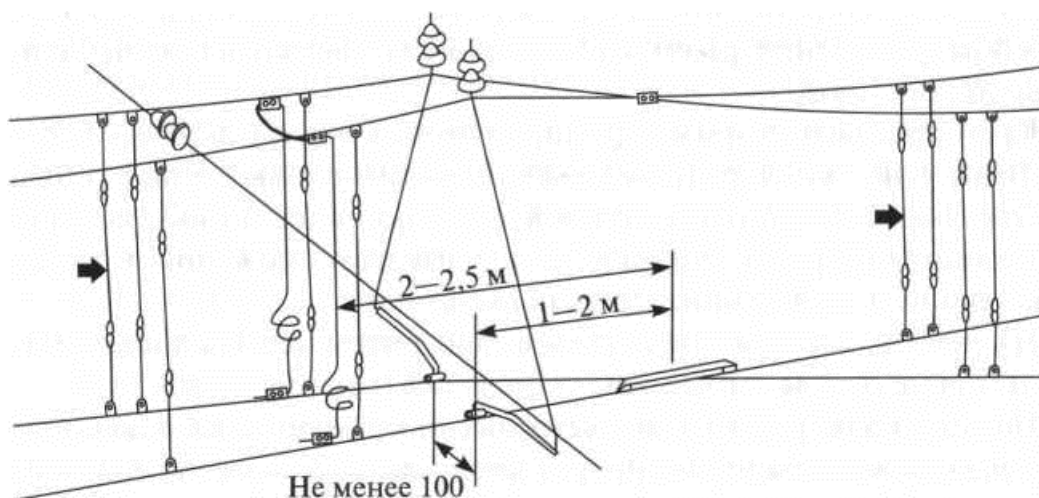


Рисунок 27. Воздушная стрелка

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.

6 Габариты устройств контактной сети.

Нормальная высота контактного провода над уровнем головок рельсов на перегонах принята равной 6250 мм, на станциях 6600 мм.

Минимальная высота (с разрешения ОАО «РЖД») должна быть не менее 5750 мм на перегонах и 6250 на станциях.

Высота контактного провода на переездах не менее 6800 мм.

Расстояние от усиливающих проводов, подвешенных на опорах контактной сети с полевой стороны, до земли в середине пролёта должно быть не менее 6000 мм, а расстояние от них до склона выемки – не менее 4500 мм.

Тема: Секционирование и питание 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.

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 раздельной работой смежных тяговых подстанций.

При *одностороннем консольном* питании электроподвижной состав, находящийся на перегоне, получает питание только от одной тяговой подстанции (рисунок 28, а).

При *встречно-консольном* питании провода контактной подвески в середине межподстанционной зоны разделяются, как правило, нейтральной вставкой (рисунок 28, б). В этом случае электроподвижной состав при движении получает питание сначала от одной из смежных подстанций, а затем — от другой.

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 уравнительные токи. Кроме того, при

одностороннем питании меньше ток короткого замыкания, что снижает вероятность перегрева 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.

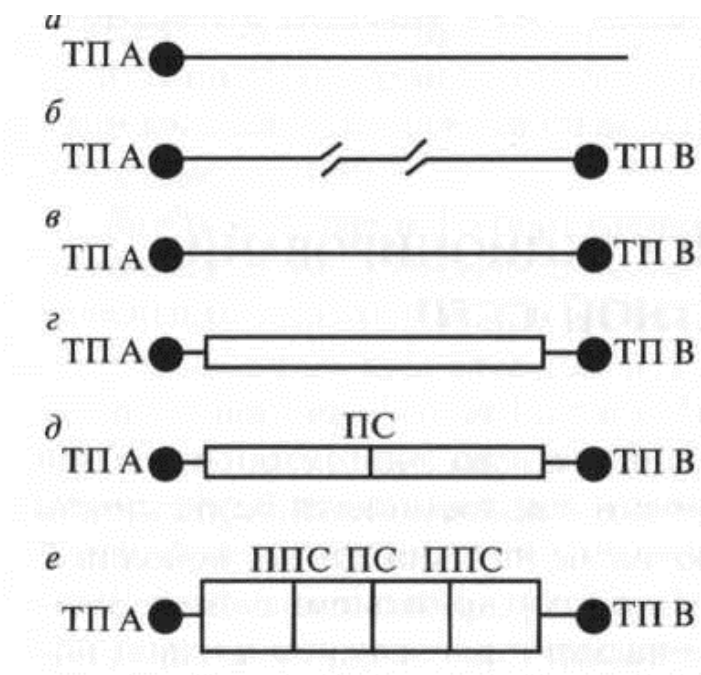


Рисунок 28. Принципиальные схемы питания контактной сети:

а — 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

Двухстороннее питание характеризуется параллельной работой смежных

тяговых подстанций, при этом электроподвижной состав получает питание одновременно от обеих подстанций (рисунок 28, 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 (рисунок 28, г).

При **узловой** схеме питания контактной сети в середине межподстанционной зоны устанавливается пост секционирования ПС (рисунок 26, 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 (рисунок 28, е). Такие схемы особенно эффективны в местах с интенсивной рекуперацией энергии, так как позволяют выравнивать 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 уравнивающего тока из-за неравенства напряжений на шинах смежных подстанций, что приводит к дополнительным потерям электроэнергии. В некоторых случаях появление значительного уравнивающего 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.

2 Секционирование контактной сети.

Секционированием контактной сети называется разделение контактных подвесок на отдельные участки (секции) с целью увеличения надежности работы контактной сети и улучшения ее обслуживания. 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 примыкания 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, 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 (Рисунок 29) 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.

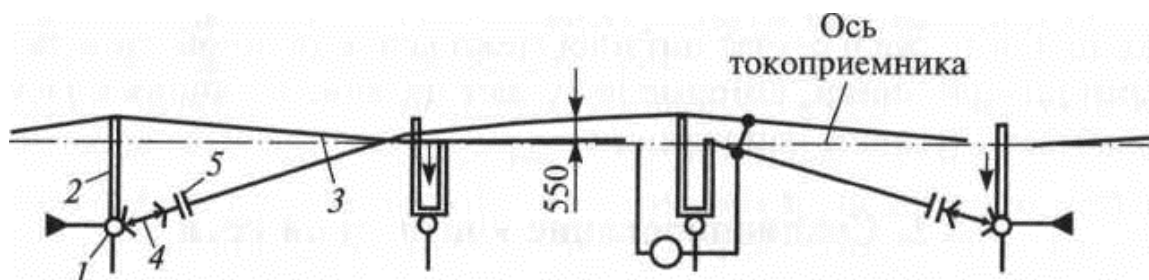


Рисунок 29. Изолирующее сопряжение анкерных участков без нейтральной вставки:

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* (рисунок 30).

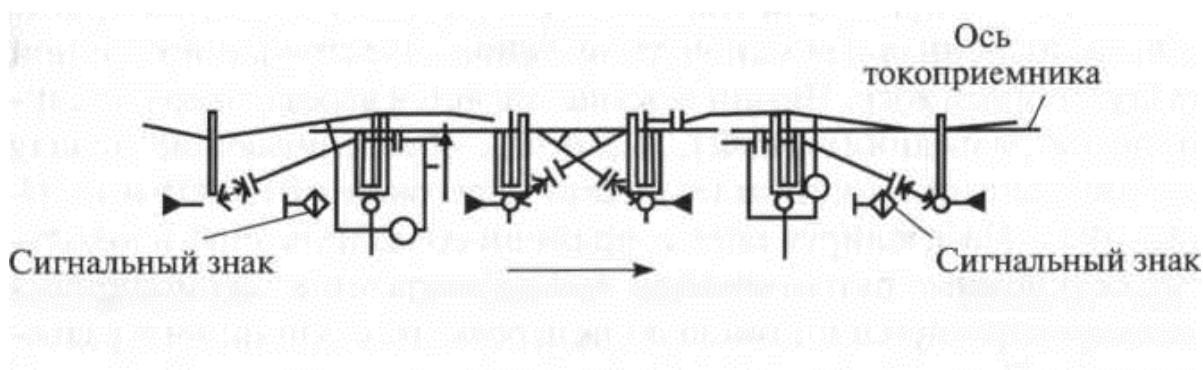


Рисунок 30. Изолирующее сопряжение анкерных участков с нейтральной вставкой

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

Тема: Защита систем электроснабжения.

Системы электроснабжения в процессе эксплуатации должны обеспечивать надежную работу всех элементов, которые участвуют в процессе передачи электроэнергии. Для защиты 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.

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.

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 работы. 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, защита от минимального напряжения.**

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. 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.

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 сравнивает между собой значение тока в начале и в конце защищаемой линии или до и после установки защищаемого объекта (рисунок 31а). 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.

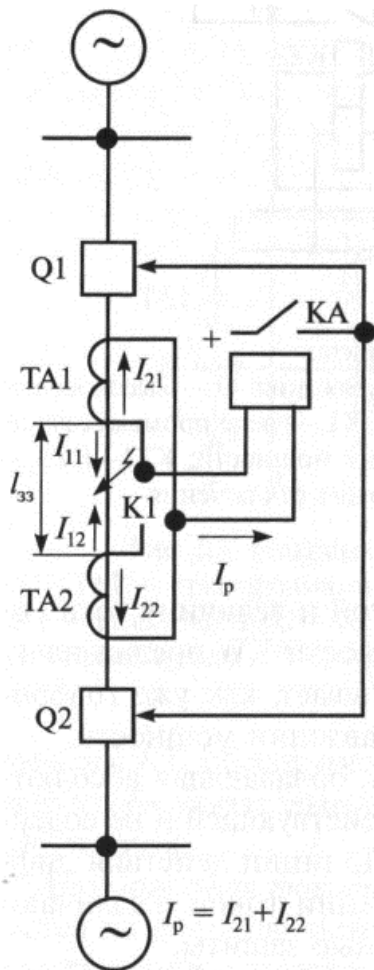


Рисунок 31а

Продольная дифференциальная защита:

ТА1—ТА2 — трансформатор тока; Q1—Q2 — высоковольтный выключатель; КА — 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

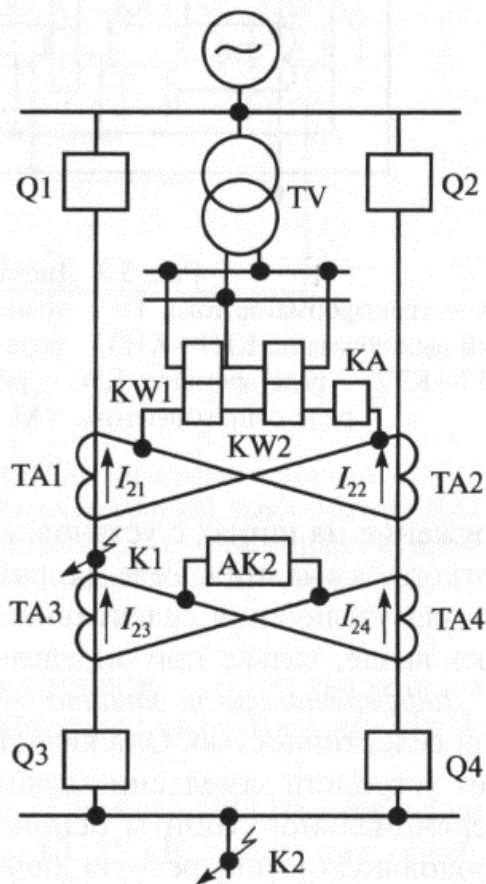


Рисунок 31б

Поперечная дифференциальная защита:

ТА1—ТА2 — трансформатор тока; Q1—Q4 — высоковольтный выключатель; K1, K2 — точки короткого замыкания; TV — трансформатор напряжения; КА—реле тока; KW1—KW2 — реле направления мощности; АК2 — второй комплект

Поперечная дифференциальная защита (рисунок 31б) 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 отреагирует, 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.

Тема: Механическое взаимодействие движущегося токоприёмника и контактной сети.

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 ползоза, 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 полз токоприемника подходит 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 электровзрывную 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.

Опускание 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 электрический 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.

Использованные источники

Основной источник:

Ухина С.В. Электроснабжение электроподвижного состава: учебное пособие – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016.– 187с.

Интернет-ресурсы:

Электротехнический журнал / Статьи. Новости. Авторские публикации.
[Электронный ресурс] — Режим доступа: <https://www.el-info.ru/>