Системы электроснабжения электрифицированных железных дорог по предъявляемым к ним требованиям, условиям работы, используемому оборудованию и, наконец, по задачам, решаемыми, коренным образом отличаются от систем электроснабжения промышленных предприятий. Все это предопределило особенности теории работы таких систем, методов их расчета и проектирования привело к появлению науки об электроснабжении электрифицированных железных дорог.

Электрические железные дороги получают электрическую энергию от энергосистем, объединяющих в себе несколько электростанций. Электрическая энергия от генераторов электростанций передается через электрические подстанции,

линии электропередачи различного напряжения и тяговые подстанции. На последних электрическая энергия преобразуется к виду (по роду тока и напряжения)

используемому в локомотивах, и по тяговой сети передается к ним.

Вся совокупность устройств, начиная от генератора электростанции и кончая

Тяговой сетью, составляет систему электроснабжения электрифицированных железных дорог. От этой системы питаются электрической энергией, помимо собственно электрической тяги (электровозы и электропоезда), также все нетяговые

железнодорожные потребители и потребители прилегающих районов . Поэтому электрификация потребители железных дорог решает не только транспортную проблему, но и способствует решению важнейшей хозяйственной проблемы-электрификации.

Главные преимущества электрической тяги перед автономной (имеющей генераторы энергии на самом локомотиве) определяются централизованным электроснабжением и сводя к следующему:

1. Производство электрической энергии на крупных электростанциях приводит, как всякое массовое производство, к уменьшению ее стоимости, увеличению их к.п.д. и

снижению расхода топлива.

2. На электростанциях могут использоваться любые виды топлива и, в частности,

малокалорийные – нетранспортабельные (затраты на транспортировку которых не оправдываются). Электростанции могут сооружаться непосредственно у места добычи топлива, в следствии чего отпадает необходимость в его транспортировке.

3. Для электрической тяги может использоваться гидроэнергия и энергия атомных электростанций.

4. При электрической тяги возможна рекуперация (возврат) энергии при электрическом торможении.

5. При централизованном электроснабжении потребная для электрической тяги мощность практически не ограничена. Это дает возможность в отдельные периоды потреблять такие мощности, которые невозможно обеспечить на автономных локомотивах, что позволяет реализовать, например, значительно большие скорости движения на тяжелых подъемах при больших весах поездов.

6. Электрический локомотив (электровоз) в отличии от автономных локомотивов не имеет собственных генераторов энергии. Поэтому он дешевле и надежнее автономного локомотива.

7. На электрическом локомотиве нет частей, работающих при высоких температурах и с возвратно – поступательным движением (как на паровозе, тепловозе), что определяет уменьшение расходов на ремонт локомотива.

Преимущества электрической тяги, создаваемые централизованным электроснабжением, для своей реализации требуют сооружение специальной системы электроснабжения, затраты на которую, как правило, значительно превышают затраты на электроподвижный состав. Надежность работы электрифицированных дорог зависит от надежности работы системы электроснабжения. Поэтому вопросы надежности и экономичности работы системы электроснабжения существенно влияют на надежность и экономичность всей электрической железной дороги в целом.

Основной задачей системы электроснабжения является обеспечение эксплуатационной работы железной дороги. Для этого необходимо, чтобы мощность всех элементов системы электроснабжения была достаточной для обеспечения потребной каждому локомотиву мощности при самых разнообразных условиях работы железнодорожной линии.

Эти задачи могут быть решены только при правильно выбранных параметрах системы электроснабжения, т. е. Обеспечивающих работу оборудования в допустимых для него пределах по нагрузке и необходимое качество электрической энергии (в первую очередь уровень напряжения), а также при обеспечении необходимого резерва. Рассмотрим несколько детальнее поставленные требования.

Известно, что недопустимое для данного элемента электрической установки увеличение нагрузки может привести к выходу его из строя. С другой стороны, увеличение номинальной мощности любого элемента и, следовательно, допустимой для него нагрузки связано с увеличением затрат. Поэтому необходимо уметь выбирать параметры всех устройств системы электроснабжения так, чтобы они бесперебойно работали в течении времени, определяемого их нормальным сроком службы, и вместе с тем требовали минимальных затрат.

Наряду с этим на электрифицированных железных дорогах неизбежны редко встречающиеся случайные сочетания нагрузок (расположение поездов), вызванные особыми условиями эксплуатации, например пропуск поездов с минимальными межпоездными интервалами после снежных заносов или не предусмотренных детальных перерывах движения и др. Такие сочетания нагрузок предъявляют к системе электроснабжения весьма высокие требования. Такие редко встречающиеся сочетания нагрузок при выборе параметров системы электроснабжения не всегда принимают во внимание, пропуск же поездов в этих случаях регулируется диспетчером с учетом возможностей системы электроснабжения.

Передача электрической энергии по проводам связана с некоторым понижением напряжения у потребителя, тем большим, чем больше потребляемая их мощность и чем дальше от питающего центра он расположен. Вследствие этого поезда, удаляющиеся от подстанций, питаются электрической энергией при более низком напряжении, и если нельзя изменить режим ведения поезда, кроме тяговых двигателей, приводящих в движение поезда, располагаются также и другие, так называемые вспомогательные машины, выполняющие различные функции (обеспечение торможения, охлаждение двигателей и др.). Производительность связанных с ними устройств зависит от уровня напряжения на зажимах этих машин. Поэтому вопрос поддержания определенного значения напряжения в сети у поезда является весьма важным для обеспечения нормальной работы электрифицированных железных дорог.

Способы поддержания напряжения на необходимом уровне определяются техническими и экономическими соображениями.

Бесперебойность и экономичность работы электрифицированной дороги зависят от резервирования различных элементов устройства. Учитывая важность надежной работы электрифицированной железной дороги для обеспечения перевозочного процесса при всех условиях и особенно то, что электрическая тяга, как правило, работает на наиболее грузонапряженных магистралях, большое значение приобретает система резервирования.

Питание различных железнодорожных стационарных потребителей, а также потребителей прилегающих к железной дороге районов осуществляется от одной и той же системы электроснабжения. Поэтому при ее проектировании и сооружении вопросам надежности и экономичности питания этих потребителей также уделяют необходимое внимание. При этом питание железнодорожных потребителей в большинстве случаев прямо или косвенно связано с надежностью работы данной железнодорожной линии и должно, поэтому обеспечиваться с высокой надежностью. Систему резервирования в схемах питания не тяговых потребителей выбирают с учетом их характера и значимости.

Электрифицированные железные дороги оказывают различные мешающие влияния на смежные сооружения. Так, на дорогах переменного тока в питающей трехфазной системе нарушается симметрия токов и напряжений, что ведет к дополнительным потерям электрической энергии, к понижению мощности генераторов и двигателей или уменьшению срока их службы. Поэтому принимаются меры для ограничения не симметрии. Токи и напряжения в тяговой сети дорог переменного тока несинусоидальные, что усиливает электрическое и магнитное влияние на расположенные в близи линии, нарушая их работу, а иногда и создавая опасность для персонала и оборудования.

На линиях постоянного тока в токе тяговой сети также имеются гармонические составляющие, мешающие нормальной работе устройств связи. Поэту при проектировании системы электроснабжения приходится принимать специальные меры для ограничения этих влияний.

Локомотивы на электрифицированных железных дорогах питаются через тяговую сеть, где одним из проводов является контактная подвеска. А вторым – рельсовый путь. Последний же не изолирован от земли, вследствие чего большая часть тока течет по земле как по проводнику, присоединенному параллельно к рельсам. Если вблизи от железной дороги (на расстоянии даже в несколько километров) в земле уложены металлические трубопроводы или кабели с металлической оболочкой, то токи протекают и по ним и приводят к вредным последствиям. На дорогах постоянного тока ответвление токов в подземные сооружения может привести к их разрушению, а кроме того, создает на них опасные потенциалы. Особая опасность разрушения от электрической коррозии грозит транспортным сооружениям (фундаментам опор, арматуре железобетонных опор, искусственных сооружений и пр.). Поэтому для участников постоянного тока защита от электрокорозии является одной из важных задач.

С точки зрения обеспечения надежной работы особое место в системе электроснабжения занимает контактная сеть. Эта часть системы электроснабжения не может иметь резерва, а ее обслуживание связанно с затруднениями, особенно в условиях интенсивного движения. Большую часть работ ведут на сети под напряжением со специально устроенных изолирующих съемных вышек или отключают поочередно небольшие участки сети.

Это создает сложные условия для обслуживающего персонала и требует особого внимания к обеспечению безопасности работ. Все эти вопросы необходимо принимать во внимание, когда сравниваемые возможные технические решения не равноценны по условиям обслуживания контактной сети.

Все изложенные выше требования, предъявляемые к системе электроснабжения, могут быть удовлетворены при различных технических решениях. Окончательная оценка этих решений осуществляется сопоставлением технических и экономических их качеств, т. е. по степени надежности решения и по затратам. В затратах определяют как капитальные. Так и ежегодные эксплутационные расходы. Все эти задачи возникают не только при проектировании вновь электрифицируемой линии железной дороги, но и в процессе эксплуатации при развитии системы электроснабжения, когда рост грузопотоков приводит к увеличению размеров движения и весов поездов. Ни одно техническое решение не может быть достаточно обоснованным без соответствующей экономической оценки.

Система снабжения электрифицированных железных дорог состоит из двух частей:

Первичной (или внешней) части систем электроснабжения, включающей в себя все устройства от электрической станции до линии передачи (включительно), подводящих энергию к тяговым подстанциям;

Тяговой части системы электроснабжения, состоящей из тяговых подстанций и тяговой сети. Тяговая сеть, в свою очередь, состоит из контактной сети, рельсового пути, питающих и отсасывающих линий (фидеров), а также других проводов и устройств, присоединяемых по длине линии к контактной подвеске непосредственно или через специальные трансформаторы. Устройство тяговой подстанции зависит от системы электрической тяги, применяемой на железной дороге, т. е. определяется родом тока и напряжения, применяемого в контактной сети, а также напряжением и системой тока источника энергии первичной части схемы питания.

Как правило, электрифицированная железная дорога получает питание от энергосистемы, а не от одной электрической станции.

Электроэнергетическое хозяйство всех стран мира строится по принципу концентрации производства электрической энергии на крупных электрических станциях, которые с помощью линий электропередачи соединяются в энергетические системы. В процессе развития энергетические системы охватывают все большее число электрических станций, а сами эти станции строятся на все возрастающие мощности. Соединение электростанций в одну систему приносит больше выгоды, перекрывающие затраты на сооружение специальных линий электропередачи, соединяющих собой эти станции.

Мощность электростанции должна быт достаточной, чтобы в любой момент удовлетворить спрос потребителей, получающих от нее питание. Потребители же в общем случае расходуют в разное время различную мощность и характеризуются как общим количеством потребляемой ими энергией, так и максимумом требуемой мощности в отдельные отрезки времени. Максимумы мощности потребителей часто не совпадают по времени, поэтому максимум мощности, требуемой от электрических станций, как правило, меньше суммы максимумов мощностей потребителей. Использование электрических станций тем выше, чем больше к ним подключено потребителей. Еще больший эффект такого использования достигается соединением нескольких станций в энергосистему. Соединение нескольких электрических станций между собой позволяет также сократить число резервных агрегатов, т. е. еще больше повысить степень их использования. Соединение в одной системе тепловых электростанций и гидроэлектростанций позволяет в многоводные периоды передавать большую часть нагрузки на гидростанции, в отдельных случаях загружая тепловые станции только выработкой реактивной мощности, получая тем самым значительную экономию топлива.

Современная мощная энергетическая система может включать в себя различные электрические станции, линии электропередачи различного напряжения и соответственно различного напряжения трансформаторные подстанции. Соединение между собой отдельных энергосистем специальными линиями электропередачи, так называемыми линиями межсистемной связи дает, по существу, те же преимущества. Что и соединение станций в одну энергосистему.

В реальных условиях электрическая энергия преобразовывается на ряде подстанций и питает ряд локомотивов. Схемы питания электрифицированных железных дорог от энергосистемы весьма разнообразны. Они в большей мере зависят от применяемой системы электрической тяги, а также от конфигурации самой энергосистемы.

Под напряжением системы электрической тяги понимают номинальное напряжение, на которое изготавливается электроподвижной состав (э. п. с), оно является номинальным напряжением в контактной сети. Напряжение на шинах подстанции обычно принимают на 10% выше этого значения. На всех суммах напряжение в тяговой сети показано равным номинальному напряжению э. п. с.

**Система постоянного тока.** Тяговые двигатели для электровозов и электропоездов постоянного тока в основном изготовляют на напряжение не выше 1500. В(редко – незначительно большее). Попарное последовательное соединение таких двигателей позволяет иметь в тяговой сети напряжение, равное 3000 В. При таком напряжении энергия тяговым двигателям передается без изменения уровня напряжения на электровозе. В этой системе электровозы получаются наиболее простыми, что и составляет одно из главных ее преимуществ. При таких значениях напряжения расстояния между подстанциями на грузонапряженных дорогах принимаются, как правило, около 15 – 20 км, а сечения проводов контактной сети по сравнению с другими системами тока и напряжения – в 2 – 3 раза большими. В столь же раз больше получаются потери энергии в проводах контактной сети.

В дальнейшем при увеличении грузопотоков приходится добавлять подстанции, и тогда расстояние между ними уменьшается вдвое. Большая площадь сечения проводов контактной сети и большее число тяговых подстанций, вызванное относительно невысоким напряжением в тяговой сети, являются существенным недостатком системы постоянного тока. Номинальное напряжение на метрополитенах России и ряде других стран равно 750 В.

Недостатком системы постоянного тока являются также большие потери энергии в пусковых реостатах при разгоне поезда. Особенно при пригородном движении, где доля пусковых потерь достигает – 12 - 15%.

Влияние нагрузок тяговой сети на смежные линии при системе постоянного тока относительно невелико и легко устранимо, что можно отнести к существенным преимуществам этой системы. Иначе обстоит дело с электрокорозией подземных сооружений, что как уже было отмечено, является особенностью и одним из существенных недостатков системы постоянного тока. Для борьбы с этими явлениями разработаны эффективные мероприятия, значительно уменьшающие опасность электрокоррозии подземных сооружений.

Участки дорог постоянного тока питаются от энергосистемы, а энергия преобразуется с помощью полупроводниковых преобразователей. Ранее подстанции постоянного тока оборудовались в основном двигатель – генераторы. В настоящее время для преобразования переменного тока в постоянный применяют только полупроводниковые преобразователи.

В России в связи с переходом электрификации по системе однофазного тока промышленной частоты электрификацию на постоянном токе используют в основном при продолжении электрификации существующих линий, ранее электрифицированных по системе постоянного тока.

Слабое влияние тяговой сети постоянного тока на смежные линии, являющееся существенным преимуществом этой системы, заставило искать решения по повышению напряжения в контактной сети. Но это определяло необходимость преобразования постоянного тока одного напряжения в постоянный ток другого более низкого напряжения. Велись различные исследования в этом направлении. Создание управляемых полупроводниковых преобразователей открыло возможность для разработок экспериментальных исследований по внедрению системы импульсного преобразования постоянного тока на электровозе, что может позволить повысить напряжение в контактной сети до 6 кВ. Разрабатываются также системы с преобразованием постоянного тока контактной сети в трехфазный ток регулируемой частоты при асинхронных двигателях на электровозах.

На дорогах постоянного тока не тяговые потребители питаются через специальные трансформатор от шин тяговых подстанций.

**Система однофазного тока промышленной частоты 50 Гц.** Основным преимуществом этой системы по сравнению с системой постоянного тока является возможность использования более высокого напряжения в контактной сети России принято 25 кВ. При этом тяговые подстанции превращаются в простые трансформаторные, а сечение контактной сети значительно уменьшается даже при больших расстояниях между подстанциями (40 – 60 км.).

Наибольшее распространение получил э.п. с. с двигателями постоянного тока и преобразовательной установкой на локомотиве. Трансформаторы этой установки позволяют регулировать напряжение на двигателях под нагрузкой.

При питании однофазной нагрузки от трехфазной районной сети неизбежна различная нагрузка фаз первичной системы электроснабжения. Не симметрия нагрузки приводит к ухудшению работы первичной системы (генераторов, трансформаторов, линий электропередачи, релейной защиты). При мощных энергосистемах обычно тяговая нагрузка составляет небольшую долю от всей нагрузки системы. В этих случаях не симметрия тяговой нагрузки не играет существенной роли в нагрузке, действующей на отдельные элементы системы. Однако она вызывает на шинах тяговых подстанций и в питающих их линиях передачи существенную не симметрию напряжения. Не симметрия напряжения оказывает неблагоприятные влияния на работу трехфазных потребителей, получающих питание от этих подстанций и линий электропередачи. Значительное влияние тягового тока на линии слабого тока и необходимость принятия дорогих мер защиты уменьшают эффективность систем переменного тока. Это соображение частично теряет силу, если линии связи были калиброваны до электрификации.

Системы однофазного тока промышленной частоты принята как основная для дальнейшей электрификации железных дорог России, а также во Франции, Японии (при частоте 60 Гц), Англии и др.

**Схемы питания тяговых подстанций от энергосистемы**. Согласно правилам устройства электроустановок в России все приемники по степени их значимости и ответственности разделяются на три категории и соответственно этому обеспечивается необходимая степень надежности схем питания.

Электрифицированные железные дороги, т. е. дороги с электрической тягой, относятся к первой категории, поскольку перерыв в их работе приносит значительный ущерб народному хозяйству. Для таких потребителей должно быть предусмотрено питание от двух независимых источников электроэнергии. Таковыми считаются отдельные районные подстанции, разные секции шин одной и той же подстанции районной или тяговой. В соответствии с этими схемами питания тяговых подстанций от энергосистемы на дорогах России во всех случаях должна быть такой, чтобы выход из работы одной из районных подстанций или линии передачи не мог бы явиться причиной выхода из строя более одной тяговой подстанции.

В общем случае схема питания тяговых подстанций зависит от конфигурации районной сети, резерва мощности электрических станций и подстанций, возможности их расширения и т.п. При этом во всех случаях для большей надежности стремятся иметь схему двустороннего питания тяговых подстанций или, если это связано со значительными затратами, питают подстанцию от одного источника двумя параллельными линиями передачи или одной двух цепной линией. Наиболее типичной является схема питания от продольной линии электропередачи.

При двустороннем питании тяговых подстанций от двух цепной линии передачи две цепи линии заводятся только на так называемые опорные тяговые подстанции. Остальные подстанции – промежуточные – получают питание через отпайку (отпаечные), либо выключаются в рассечку линии передачи поочередно к разным цепям линии (проходные).

Отпаечные и проходные подстанции чередуются между собой так, чтобы при любой аварии на линии передачи (даже повреждение двух цепей линии) отключалось не более одной подстанции.

Выход из строя одной цепи линии электропередачи на любом участке между проходными подстанциями не ведет к отключению ни одной подстанции. Так как все промежуточные подстанции могут получать питание от неповрежденных участков. Если же авария произойдет на обеих цепях линии одновременно, то отключится только одна отпаечная подстанция, присоединенная отпайками к поврежденным участкам обеих цепей линии.

При двустороннем питании тяговых подстанций от одно-цепной линии линия передачи заводится на каждую подстанцию. Такие подстанции называются проходными.

Надежность работы контактной сети зависит от схемы питания и разделения (секционирования) контактной сети на отдельные части (секции), что позволяет отключить при повреждении контактной сети или ее ремонте только небольшой участок. Рельсовый путь не секционируется.

Схемы секционирования контактной сети определяется эксплуатационными условиями. Контактная сеть на секции может быть разделена с помощью секционирующих устройств: изолирующих сопряжении или секционных изоляторов и нейтральных вставок. Нейтральная вставка представляет собой последовательное соединение двух изолирующих сопряжений и нормально не имеет напряжения. При проходе поезда под секционирующим устройством токоприемник локомотива соединяет между собой на короткое время секции 1 и 2. При стыковании участков одной системы тока, но разных напряжений или если смежные секции питаются от различных фаз трехфазной системы, необходимо применить секционирующие устройства с нейтральной вставкой.

Составляя схемы питания контактной сети, в первую очередь выбирают схему параллельной или раздельной работы подстанций на контактную сеть, т. е. схему одностороннего или двустороннего питания сети. Затем определяют целесообразность поперечных соединений между проводами отдельных путей. Схемы питания при сравнении оценивают по технико-экономическим показателям. При этом принимают во внимание потери энергии, необходимые мощности подстанций и сечение проводов контактной сети, потери напряжения и длину участка, который приходится отключать при возникновении короткого замыкания.