**Лекция № 1**

**Тема: Организация и движение ЭПС**

В технике железнодорожного транспорта выделяют подвижной состав, т.е. локомотивы и вагоны, а также инфраструктуру, т.е. неподвижные устройства (путь, искусственные сооружения и т.д.). Классификация подвижного состава приведена в таблице 1.1. подвижной состав разделяют на тяговый подвижной состав и вагоны.

|  |
| --- |
| Подвижной состав железных дорог |
| Тяговый подвижной состав | Нетяговый подвижной состав (вагоны) |
| Локомотивы | Мотор-вагонные поезда | Грузовые | Пассажирские |
| грузовые | пассажирские | маневровые | пригородные | местные | скоростные | универсальные | специализированные | До 160 км/ч | До 200 км/ч |

Табл.1.1 Классификация подвижного состава железных дорог

Движение поездов на железнодорожном транспорте осуществляется с помощью тягового подвижного состава. К нему относятся локомотивы и мотор-вагонный подвижной состав; последний состоит из моторных и прицепных вагонов. Мотор-вагонные поезда (электрические и дизельные) эксплуатируются в составах постоянного формирования. На локомотивах и моторных вагонах энергия, полученная от первичного источника, превращается в механическую энергию движения поезда (путем создания касательной силы тяги в точках контакта колес с рельсами).

*Пропускная и провозная способности. График движения поездов.*

Пропускной способностью железнодорожной линии называют наибольшее число поездов или пар поездов установленной массы, которое может быть пропущено в единицу времени (сутки, час). Пропускная способность зависит от имеющихся постоянных технических средств, типа и мощности подвижного состава, рельсовой колеи, а также принятых методов организации движения поездов (типа графика). Различают пропускную способность наличную, т.е. ту, которой обладает линия в настоящее время, и потребную, необходимую для обеспечения заданных размеров движения.

Возможные размеры грузовых перевозок (млн. тонн), которые могут быть осуществлены на данной линии в течение года, называют провозной способностью. Провозная способность определяется типом и числом локомотивов, вагонов, и техническим развитием линии, наличием электроэнергии, топлива и обеспеченностью кадрами (локомотивные бригады, дежурные по станции и др.).

Пропускную способность железнодорожных линий рассчитывают по перегонам, участкам движения с учетом мощности устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах. По наименьшим из рассчитанных по этим элементам значениям пропускной способности, называемой результативной, устанавливают пропускную способность участка или линии в целом.

Пропускная способность участка по ограничивающему перегону:

*N* =1440ˑ *k* /*T* ,

где Т - период графика на ограничивающем перегоне;

k - число пар поездов или поездов данного направления, пропускаемых за один период графика.

На транспорте движение поездов осуществляется по графику. График движения поездов представляет план всей эксплуатационной работы дороги и является основой организации перевозок. Движение поездов по графику достигается строгим выполнением технологического процесса работы станций, локомотивных и вагонных депо, тяговых подстанций; пунктов технического обслуживания, дистанций пути и других подразделений железных дорог, связанных с движением поездов. Объединяя и координируя работу этих подразделений, график движения дает возможность осуществить их необходимое взаимодействие.

График движения поездов должен обеспечивать: удовлетворение потребностей в перевозках пассажиров и грузов; безопасность движения поездов; наиболее эффективное использование пропускной и провозной способности участков и перерабатывающей способности станций; высокопроизводительное использование подвижного состава; соблюдение установленной продолжительности непрерывной работы локомотивных бригад; возможность производства работ по текущему содержанию пути, сооружений, устройств СЦБ, связи и электроснабжения (рис. 1.1).

Графики движения поездов классифицируют по следующим признакам:

* в зависимости от скорости движения поездов параллельные и непараллельные (нормальные) (рис. 1.2);
* по числу главных путей на перегонах однопутные и двухпутные (рис.1.3);
* по соотношению числа поездов в четном и нечетном направлениях парные (это число одинаковое), и непарные (различное).

В зависимости от расположения поездов попутного следования графики различают пачечные, пакетные и частично пакетные. При пачечном графике (рис. 1.4) поезда двигаются друг за другом с разграничением межстанционным перегоном. При пакетном графике (рис. 1.5, а) поезда следуют пакетами с разграничением во времени или блок-участками при автоблокировке. При частично пакетных графиках (рис. 1.5, б) часть поездов движется одиночно, а часть - пакетами.

 

Рис.1.1. График движения поездов



Рис. 1.2. Однопутный график



Рис. 1.3. Двухпутный график



Рис 1.4. Пачечный график

 

Рис.1.5 График на однопутном участке

Для составления графика должны быть определены его основные элементы:

* время хода поездов различных категорий по перегонам;
* продолжительность стоянки поездов на станциях для выполнения технических, грузовых и пассажирских операций;
* станционные интервалы;
* интервалы между поездами в пакете; время нахождения локомотивов на станциях локомотивного депо и в пунктах оборота.

Время хода поезда определяется тяговыми расчетами и уточняется на основании опытных поездок и достижений передовых машинистов. Это время устанавливается отдельно для каждой категории пассажирских и грузовых поездов при движении по каждому перегону в четном и нечетном направлениях.

График движения составляют одновременно для всей сети железных дорог сроком на 1 год и вводят в действие в мае. На зимний период его корректируют в связи с сезонными изменениями размеров перевозок. Форма графика едина для всех дорог России. На основе графика издают расписания движения поездов для служебного и общего пользования. Разработка графиков движения производиться с помощью автоматизированной системы управления перевозочным процессом. Одновременно с графиком движения поездов и на его основе составляют график оборота локомотивов.

График движения характеризуется количественными и качественным показателями. К количественным относятся: число грузовых и пассажирских поездов, нанесенных на график, размеры погрузки и выгрузки, которые могут быть освоены при данном графике, и др.

К основным качественным показателям графика относятся: техническая, участковая и маршрутная скорости (отдельно для грузовых и пассажирских поездов), коэффициент скорости, средние простои транзитных поездов и локомотивов на участковых станциях.

**Лекция № 2**

**Тема: Конструкция железнодорожного полотна**

Железнодорожный путь - это единый комплекс инженерных сооружений, предназначенный для пропуска по нему поездов с установленной скоростью. От состояния пути зависят непрерывность и безопасность движения поездов, а также эффективное использование технических средств железных дорог.

К путевому хозяйству железнодорожного транспорта относятся собственно путь со всеми его устройствами, а также производственные подразделения и хозяйственные предприятия, обеспечивающие бесперебойную работу и проведения планово-предупредительных ремонтов пути. Путевое хозяйство составляет одну из важнейших и емких отраслей железнодорожного транспорта, в значительной мере определяющей выполнение плана перевозок. На долю путевого хозяйства в системе железнодорожного транспорта приходится более 50% всех основных средств железных дорог и свыше 20% общей численности работников.

Железнодорожный путь работает в условиях постоянного воздействия атмосферных и климатических факторов, воспринимая большие динамические и статические нагрузки от проходящих поездов. При этом все элементы железнодорожного пути (земляное полотно, верхнее строение и искусственные сооружения) по прочности, устойчивости и состоянию должны обеспечивать безопасное движение пассажирских и грузовых поездов с наибольшими скоростями, установленными для данного участка, а также иметь резервы для дальнейшего повышения скоростей движения и роста грузонапряженности линии.

Железнодорожный путь состоит из нижнего и верхнего строений. Нижнее строение пути включает земляное полотно (насыпи, выемки, полунасыпи, полувыемки, полунасыпи-полувыемки) и искусственные сооружения (мосты, тоннели, трубы, подпорные стены). К верхнему строению пути относят: балластный слой, шпалы, рельсы, скрепления, противоугоны, стрелочные переводы, мостовые и переводные брусья.



Рис. 2.1 Элементы верхнего строения пути

Балластный слой воспринимает давление от шпал и передает его на основную площадку земляного полотна, уменьшая неравномерность давления, а также обеспечивает устойчивость рельсовой колеи, препятствуя продольному и поперечному смещению шпал. Балластный спой не должен задерживать на своей поверхности воду, предохранять основную площадку от переувлажнения. В качестве балласта используют сыпучие, хорошо дренирующие упругие материалы: щебень, гравий, песок, отходы асбеста, ракушечник.

Рельсы для надежной работы должны быть достаточно прочными, долговечными, износоустойчивыми, и в то же время нехрупкими, так как они воспринимают ударно-динамическую нагрузку. Материалом для рельсов служит высокопрочная углеродистая сталь. В зависимости от массы и поперечного профиля рельсы подразделяют на типы Р50, Р65 и Р75. Буква Р, означает «рельс», а цифра - округленную массу 1 м в килограммах.

Шпалы являются основным видом подрельсовых оснований, к которым крепятся рельсы и обеспечивается постоянство ширины колеи. Помимо шпал, к подрельсовым основаниям относятся мостовые и переводные брусья, отдельные опоры в виде полушпал, а также сплошные опоры в виде плит и рам. Шпалы должны быть прочными, упругими, дешевыми и обладать достаточным сопротивлением электрическому току. Материалом для шпал служит дерево, железобетон, металл. Около 90% всех шпал на железных дорогах мира составляют деревянные, пропитанные масляными антисептиками.

Для перехода подвижного состава с одного пути на другой служат стрелочные переводы. Пересечение путей осуществляется глухими пересечениями. С применением стрелочных переводов и глухих пересечений устраивают соединения путей, называемые стрелочными улицами и съездами. В зависимости от назначения и условий соединения путей между собой стрелочные переводы подразделяют на одиночные, двойные и перекрестные. Одиночные переводы делятся на обыкновенные, симметричные и несимметричные.

Рельсовые скрепления служат для соединения рельсов между собой и со шпалами. Противоугоны применяют для удержания рельсов и шпал от продольного смещения под воздействием движущихся поездов. Все элементы железнодорожного пути работают как единая конструкция.

Искусственные сооружения предназначены для пересечения железной дорогой водных преград, других железных и автодорог, глубоких ущелий, горных хребтов, застроенных городских территорий, а также для обеспечения безопасного перехода людей через пути и устойчивости земляного полотна в сложных условиях.

К искусственным сооружениям относятся мосты, тоннели, трубы, подпорные стены, регуляционные сооружения, дюкеры, галереи, селеспуски и др. При пересечении железной дорогой рек, каналов, ручьев, оврагов сооружаются мосты или трубы. Разновидностями мостов являются путепроводы, виадуки, эстакады.

*Путепроводы* строят в местах пересечения железных и автомобильных дорог или двух железнодорожных линий. Они обеспечивают независимый и безопасный пропуск транспорта на пересечении дорог в разных уровнях.

*Виадуки* сооружают вместо высокой обычной насыпи при пересечении железной дорогой глубоких долин, оврагов и ущелий.

*Эстакады* устраивают взамен больших насыпей в городах, где они меньше стесняют улицы и не препятствуют проезду и проходу под ними, а также на подходах к большим мостам через реки с широкими поймами разлива воды. При пересечении горных хребтов вместо глубоких выемок сооружают *тоннели*. Для безопасного перехода людей через железнодорожные пути на станциях и остановочных пунктах пригородных поездов предусматриваются пешеходные мосты или тоннели.

Для обеспечения устойчивости откосов земляного полотна на крутых косогорах, берегах рек и морей служат подпорные стены, а при подходах к большим мостам для защиты их опор от подмыва при паводках и повреждения льдом — регуляционные сооружения. В горах в местах возможных обвалов, сооружают специальные *галереи*, а в местах, возможных грязекаменных (селевых) потоков, - *селеспуски.* При необходимости пропуска через путь потока воды (водовода) устраивают *дюкеры*, представляющие собой два колодца, расположенных с обеих сторон железнодорожного пути, соединенных трубой.

Наиболее распространенными видами искусственных сооружений являются мосты и трубы (более 92 %). Искусственные сооружения по протяженности составляют в среднем менее 1,5 % общей длины пути, однако доля их в стоимости железной дороги равна почти 10 %, поэтому их рассчитывают на длительный срок службы.

**Лекция № 5**

**Тема: Закон движения поезда**

При движении э.п.с. потребляет электрическую энергию из контактной сети, расходуя ее на преодоление сил сопротивления движению. Таким образом, по направлению движения поезда действует сила тяги локомотива или моторного вагона, а против - сила сопротивления движению. Их разность и определяет характер движения поезда: ускоренное, если сила тяги больше суммарной силы сопротивления движению, замедленное, если она меньше. Возможно движение с постоянной скоростью, если указанные силы равны.

Поезд представляет собой систему отдельных (дискретных) твердых тел − вагонов, соединенных автосцепкой друг с другом и с локомотивом. Поэтому наиболее точной является модель, учитывающая поезд как многомассовую систему. Однако такая модель сильно усложняет расчеты, даже при использовании современных компьютеров; поэтому она используется очень редко и только в расчетах продольной динамики поезда.

Так как каждый вагон под влиянием сил продольной динамики поезда имеет случайные, обычно колебательные перемещения относительно центра массы поезда, то математическое описание такого сложного процесса движения поезда до сих пор не имеет четкого формулирования в виде системы дифференциальных уравнений Лагранжа и соответственно нет его полного аналитического решения. Поэтому для практических тяговых расчетов поезд считают одной фиктивной материальной точкой, в которой сосредоточена вся масса поезда.

Математическое описание процесса движения такого поезда, определяющее в каждый момент времени связь между действующими на него силами и его ускорением, называют законом движения поезда. Этот закон записывают на основании 2-го закона Ньютона (действующая на тело сила равна произведению массы этого тела на его ускорение) в виде обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка, связывающего массу поезда, действующие на него силы, пройденный путь и время движения (обычно путь и время входят в уравнение движения через скорость *V* ):

$F\left(V\right)-W\left(V\right)-B\left(V\right)=\left(1+γ\right)m\frac{dV}{dt}$,

Где $F\left(V\right) $– сила тяги, действующая от электровоза на поезд;

$W\left(V\right)$ – сила сопротивления движению поезда, включая сопротивление движению электровоза;

$B\left(V\right)$ – тормозная сила поезда. При колодочном торможении это сумма сил торможения электровоза и всех колодок состава; при электрическом торможении тормозная сила только электровоза; возможно комбинированное торможение – электрическим тормозом электровоза и колодочным тормозом состава;

$γ$ – постоянный для данного поезда коэффициент, учитывающий инерцию вращательного движения деталей поезда (колесные пары, якоря тяговых двигателей, тяговые редукторы, электрические генераторы пассажирских вагонов);

$m$ – физическая масса поезда;

$\left(1+γ\right)m$ – приведенная масса поезда, которая всегда больше его физической массы $m$, поскольку $γ$ = 0,02 – 0,08.

Это уравнение учитывает не только ускорение поступательного движения поезда, но и эффект вращающихся узлов локомотивов и вагонов – якорей тяговых двигателей, тяговой передачи, колесных пар. Правда, силы инерции вращающихся частей невелики по сравнению с силами инерции поступательно движущихся масс поезда: у локомотивов они составляют в зависимости от типа электровоза примерно 10–20%, у вагонов 5– 6%. Однако во избежание ошибки при решении уравнения движения поезда эти силы всегда учитывают.

Закон движения поезда позволяет рассчитать необходимые для организации работы железных дорог режимы движения каждого поезда, его массу, в том числе ее предельное значение – критический вес, построить график движения поездов, определить провозную и пропускную способность участков и направлений в целом, составить график работы локомотивных бригад, оценить использование и производительность локомотивов и т.д.

Для этого выполняют тяговые расчеты, в задачу которых входит предварительный выбор массы поезда, расчет его времени хода и скорости движения по перегонам, определение потребления тока из контактной сети и расхода электроэнергии на тягу поезда, определение температуры нагрева тяговых двигателей и другого силового электрооборудования, использование мощности э.п.с. и устройств системы тягового электроснабжения.

При заданном типе э.п.с. и профиле пути в процессе выполнения тяговых расчетов производят интегрирование уравнения движения поезда: находят на каждом последовательном, достаточно малом участке пути такие величины, как скорость движения поезда, пройденный им путь и время движения, ток тягового двигателя и электровоза в целом. Выполнять такие расчеты особенно эффективно на ПЭВМ. При этом действующие на поезд силы рассматривают в виде функций скорости движения в соответствии с характеристиками э.п.с. для соответствующей позиции контроллера машиниста, а как функции времени - только в специальных задачах.

Для сокращения затрат времени и труда на выполнение таких расчетов обычно принимают, как уже было сказано, что поезд представляет собой одну материальную точку, т.е. фиктивную точку, в которой сосредоточена вся его масса, в том числе и масса локомотива. При этом сокращается время, необходимое для выполнения тяговых расчетов, и обеспечивается достаточная для многих практических задач точность результатов (погрешность не превышает 3–4 %). Однако, рассматривая поезд как материальную точку, не учитывают неизбежно возникающие при движении реального поезда перемещения вагонов друг относительно друга и относительно локомотива. При переломах профиля эти перемещения и вызванные ими продольные силы в поезде могут быть настолько велики, особенно в случае неумелого ведения поезда, что возникает опасность его обрыва. Она возрастает при длинных поездах. Если режим движения поезда выбран правильно, такая опасность практически незначительна, но все же на сети железных дорог России имеет место ежегодно 30–50 обрывов автосцепки. Однако такого рода расчеты входят в совершенно другой класс задач – они относятся к задачам продольной динамики. Актуальность этих задач существенно возрастает в связи с ростом массы поезда. Уже сейчас средняя масса поезда достигает 4 тысячи т, а на ряде участков нормативная масса равна 5–6 тысячам т, в частности по всему Транссибу с горными участками (руководящие подъемы 16–20‰) планируют ввести унифицированную весовую норму 6 тысяч т в дальней перспективе на наиболее грузонапряженных направлениях в полнее возможно повышение весовой нормы до 12–18 тысяч т, но это возможно только в варианте распределенной тяги, т.е. при постановке электровозов не только в голове состава, но также и в его середине и хвосте.

**Лекция № 6**

**Тема: Режимы движения поезда**

Поезд представляет собой сложную систему, состоящую из многих частей, упруго и жестко связанных друг с другом. Поэтому движение поезда по рельсовому пути или дороге состоит из полезного его перемещения вдоль оси пути, сопровождаемого вращением колес, осей, якорей тяговых двигателей и элементов движущих механизмов, и налагаемых на него различных колебательных движений. Эти колебания появляются от возмущающих сил со стороны пути и окружающей среды, а также вследствие взаимодействия между отдельными частями поезда.

Задача машиниста сводится к реализации заданного режима движения поезда. Соотношение силы тяги *F,* силы сопротивления движению *W* и тормозной силы *В*, действующих в каждый момент на поезд, определяет режим его движения с учетом профиля и плана пути. Машинист управляет режимом движения поезда, регулируя силу тяги э.п.с. и применяя в необходимых случаях торможение поезда.

При трогании поезда машинист выбирает такой режим работы тяговых двигателей, чтобы сила тяги F электровоза была больше силы сопротивления движению поезда *W*, т. е. *F>W.* При этом результирующая сила, равная их разности, т. е. *F*−*W,* преодолевая инерцию поезда, определяемую его массой *m*, создает ускорение *dV/dt>0* согласно второму закону Ньютона. Наибольшее ускорение поезд приобретает обычно во время пуска (рис. 1.7), так как сила тяги электровоза значительно больше силы сопротивления движению поезда.

Скорость *Vп* на рис. 1.7 означает скорость выхода на номинальную тяговую характеристику электровоза, на которой он может работать длительно. По мере дальнейшего роста скорости движения возрастает сила сопротивления движению, а сила тяги электровоза монотонно снижается и через некоторое время эти силы становятся равными. Начиная с этого момента поезд на участке неизменного профиля будет двигаться с постоянной скоростью, потому что разность *F*−*W* равна нулю, а это значит, что ускорения поезда нет (равномерное движение).

При необходимости стабилизировать скорость поезда или при подготовке к торможению машинист переводит рукоятку главного контроллера в нулевое положение, отключая тяговые двигатели от контактной сети. Сила тяги электровоза становится равной нулю. Теперь режим движения поезда определяется соотношением силы инерции, зависящей от величины накопленной к этому моменту кинетической энергии поезда, и силы сопротивления движению. В процессе выбега на горизонтальном участке пути поезд будет замедляться под действием силы сопротивления движению, т.е. силы трения.

При торможении поезда с начальной скорости *V*нт машинист как бы искусственно увеличивает сопротивление движению поезда, гася кинетическую энергию движущегося поезда в тормозной системе (колодочное или реостатное торможение) или возвращая ее в контактную сеть при рекуперативном торможении.

Рисунок

При движении по вредному спуску суммарная составляющая (рис.1.7) сопротивления движению от веса поезда, будучи направлена по движению поезда, увеличивает его ускорение и, как следствие, скорость движения. Для того, чтобы скорость движения не превысила допустимую, приходится подтормаживать поезд. Необходимость включения тормоза является признаком вредного спуска (обычно спуски больше 4–5‰).

При остановке поезда на крутом уклоне (контроллер машиниста выключен) может оказаться, что его основное сопротивление движению *Wo* меньше дополнительного от уклона *Wi*. Если при этом поезд не заторможен, то он начинает двигаться вниз по спуску, причем скорость его будет возрастать до значения, определяемого равенством *Wо=Wi*. Во избежание такого «самоката» поезда после остановки на подъеме или спуске рекомендуется применять ручной тормоз, а также устанавливать тормозные башмаки.

В режиме торможения на площадке независимо от вида его - механическое или электрическое − тормозная сила *В*, суммируясь с основным сопротивлением движению *Wо*, вызывает замедление поезда. Здесь важно выдержать заданный тормозной путь, например, при остановке перед запрещающим сигналом или на станционном пути.

При торможении поезда на подъеме составляющая *Wi*, действующая в том же направлении, что и тормозная сила *В,* будет вызывать более интенсивное замедление поезда. При торможении на спуске (рис. 1.7) составляющая *Wi* направлена против тормозной силы *В,* т.е. она становится движущей силой, снижает замедление поезда.

Поезд двигается по вредному уклону с постоянной скоростью, когда *B+Wо=Wi*.

Регулируя в зависимости от обстановки силу тяги или в режиме торможения тормозную силу, машинист может установить желаемый режим движения поезда, регулируя его скорость вплоть до остановки.

Исходя из указанных обобщенных соображений продольной механики движения поезда, уже достаточно давно предпринимаются попытки автоматизировать ведение поезда по заданной программе, то есть по графику движения с учетом показаний путевых сигналов. Фактически эта задача сводится к решению в бортовом процессе уравнения движения поезда, приведенного выше, причем это решение должно учитывать:

– профиль пути, то есть сопротивление от уклона *Wi*;

– график движения и режимные карты, т.е. требуемую скорость движения поезда;

– тяговые и тормозные возможности электровоза, то есть возможность регулирования сил *F* и *B*.

Принципиально эта задача может быть решена при помощи бортовой ЭВМ (автомашинист), которая обеспечивает движение поезда по программе *V(S)* при учете ограничений, накладываемых сигналами автоблокировки. В настоящее время такие системы автоведения созданы. Наиболее совершенные системы используются на метрополитене. Аналогичный принцип заложен для электропоездов пригородного сообщения. Решается эта задача и для поездов дальнего сообщения.

**Лекция № 8**

**Тема: Энергетика движения поезда**

Перемещение состава в пределах тягового плеча происходит в основном по горизонтали, но обычно профиль поездо-участка представляет собой примерно горизонтальную линию с чередующимися подъемами и спусками. От профиля пути существенно зависит как критическая масса поезда, о чем было сказано выше, так и режим ведения поезда по участку. Для углубленного понимания этих вопросов данную проблему целесообразно рассматривать с точки зрения энергетических процессов движения поезда.

Для этого используем метод баланса мощности. Мощность М0, потребляемая электровозом из тяговой сети расходуется полезно на создание касательной силы тяги Fk, причем полезная мощность равна:

Mпол = Fk\*V

и в ней можно выделить 3 составляющих, которые идут:

− на преодоление сил трения Мт, т.е. основного сопротивления движения поезда и сопротивления от кривых (W0 и Wkp);

− на накопление кинетической энергии поезда, т.е. на увеличение его скорости. Если формула для кинетической энергии имеет вид:

Эk = $\frac{\left(P+Q\right)\*V^{2}}{2}$

то рассматриваемая составляющая мощности представляет собой производную от энергии по скорости, т.е.:

$$M\_{k}=\frac{dЭ\_{k}}{dV}=\left(P+Q\right)V\frac{dV}{dt}$$

− на накопление потенциальной энергии, когда поезд идет на подъем с уклоном *i*, причем накопленная потенциальная энергия при этом равна:

$$Э\_{пот}=\left(P+Q\right)\*L\*i$$

где *L* – длина подъема, км;

*i* – уклон, ‰.

Составляющая доля мощности локомотива, при движении на подъем, расходуемая на увеличение Эпотравна производной от этого выражения по времени, т.е.:

$$M\_{пот}=\left(P+Q\right)\*V\*i$$

Мт безвозвратно уходит в потери, но $M\_{k} $и $M\_{пот}$идут в накопление энергии поезда и потом могут быть использованы полезно (для преодоления трения на выбеге). Однако в ряде случаев приходится гасить эту энергию тормозами. Так появляются тормозные потери при остановке поезда или при поддерживании его скорости на вредном спуске.

Чтобы снизить тормозные потери, предусматривают рекуперацию, т.е. возврат энергии в тяговую сеть.

В состав диаграммы баланса мощности входят также:

− расход на собственные нужды СН;

− потери в электровозе ΔМ (механические, электрические и магнитные).

Расчетные формулы для определения КПД электровоза по мощности могут быть записаны:

− в режиме тяги

$$η\_{T}=\frac{M\_{пол}}{M\_{0}}=\frac{M\_{0}-M\_{сн}-∆M}{M\_{0}}=\frac{F\_{k}\*V}{U\*I}$$

− в режиме рекуперации

$$η\_{рек}=\frac{M\_{рек}}{M\_{кин}+M\_{пот}}=\frac{U\*I}{B\_{k}\*V}$$

Однако, в конечном итоге важна не мощность, а общие затраты энергии на перемещение поезда тяговому плечу. Железнодорожный транспорт потребляет около 4*%* всей электроэнергии, вырабатываемой в нашей стране. Поэтому ее экономия на железных дорогах приобретает важное значение, особенно в настоящих условиях, когда стоимость электрической энергии неуклонно растет.

Основная часть энергии на железнодорожном транспорте расходуется на движение поездов. При электрической тяге энергия, забираемая из контактной сети при движении поезда, равна сумме энергии, затрачиваемой на работу, совершаемую тяговыми двигателями, потерям энергии при ее преобразовании в узлах э.п.с. и энергии, расходуемой на собственные нужды поезда. В процессе передачи этой энергии от тяговой подстанции на э.п.с. неизбежны ее потери, обусловленные электрическим сопротивлением контактной сети. Кроме этого, энергия теряется в преобразовательных устройствах тяговых подстанций.

После отключения тяговых двигателей движение поезда продолжается за счет накопленной кинетической энергии. Преодолевая при этом силу сопротивления движению, поезд уменьшает скорость. Для увеличения скорости приходится вновь потреблять энергию из контактной сети.

Часть электрической энергии, потребляемой поездом, расходуется при движении на подъемах на изменение его потенциальной энергии. На спусках потенциальная энергия поезда, накопленная при подъеме, уменьшается и расходуется на преодоление основного сопротивления движению и сопротивления в кривых, а на крутых спусках поглощается частично в тормозах.

Потери энергии происходят также в тормозах при подтормаживаниях, при остановках поезда и снижении скорости перед кривыми, стрелками, перед станциями. Неизбежны потери энергии также в тяговых двигателях и тяговых передачах, преобразовательных и пусковых устройствах э.п.с.

Электрическую энергию *A*, затраченную на движение поезда, подсчитывают как сумму произведений Ui Ii tiво всех режимах работы э.п.с. (здесь Ui− напряжение контактной сети при токе Iiэ.п.с., определяемом с учетом схемы соединения тяговых двигателей; ti− время движения э.п.с. с током Ii):

$$A=\sum\_{}^{}U\_{i}I\_{i}∆t\_{i}$$

Электрическая энергия, забираемая из контактной сети, расходуется также на собственные нужды э.п.с. − на работу приводных двигателей мотор−компрессоров, мотор−вентиляторов, мотор−генераторов управления. Кроме того, из сети должно быть дополнительно подведено некоторое количество энергии для питания цепей отопления и в пассажирских поездах.

Чтобы снизить расход энергии на движение поездов, стремятся прежде всего уменьшить основное сопротивление движению поезда. Для этого необходимо содержать в требуемом состоянии подвижной состав и путь, обеспечивать полновесную загрузку вагонов и повышать средний коэффициент полезного действия э.п.с., уменьшать потери в тормозах на вредных спусках.

Очень велик расход энергии на вентиляцию преобразователей и тяговых двигателей электровозов переменного тока: в некоторых случаях он достигает 15% общего расхода энергии. Регулируя частоту вращения вентиляторов в зависимости от нагрузки тяговых двигателей, можно уменьшить количество потребляемой ими энергии в 2,5–3 раза.

Заметную экономию электрической энергии дают ускоренные трогание и разгон поезда: чем больше ток тягового двигателя, тем выше ускорение поезда, меньше скорость выхода на номинальную характеристику э.п.с. и меньше время потребления этого тока из контактной сети.

**Лекция № 9**

**Тема: Виды подвижного состава**

Первоначально преобразование тепловой энергии, получаемой при сжигании топлива, в механическую производилось установкой с паровым котлом и паровой машиной. Локомотивы с такими установками получили название паровозов – это были первые локомотивы железных дорог.

В дальнейшем на смену паросиловым установкам пришли более совершенные тепловые двигатели: дизели и газовые турбины. Локомотивы с поршневыми двигателями внутреннего сгорания (дизелями) называются тепловозами, а локомотивы с газотурбинными установками- газотурбовозами.

Паровозы, тепловозы и газотурбовозы являются автономными локомотивами, т.е. механическая энергия для движения поездов вырабатывается в результате сгорания топлива на самом локомотиве.

Развитие транспортной техники и развитие энергетики привело к созданию локомотивов и моторных вагонов неавтономной тяги. В отличие от автономного тягового подвижного состава здесь первичная (электрическая) энергия поступает на локомотив или моторный вагон от внешних источников. На самом локомотиве или моторном вагоне осуществляется лишь преобразованием электрической энергии в механическую энергию движения поезда. Неавтономный тяговый подвижной состав получает электропитание от электрической энергосистемы через тяговые подстанции и контактную сеть, расположенную над железнодорожными путями. При электрической тяге мощность локомотивов не ограничена первичным двигателем; поэтому электровозы имеют большие мощности на каждую ось в сравнении с автономными локомотивами.

Коэффициент полезного действия локомотива, характеризующий степень использования тепла сгорания топлива для получения полезной работы, тем выше, чем совершеннее первичная энергетическая установка. Энергия, потребляемая неавтономными локомотивами, вырабатывается на электростанциях.

Коэффициент полезного действия электротяги при питании от тепловых электростанций составляет 25–26%. При этом тепловые электростанции работают, как правило, на дешевых видах топлива (бурый уголь, торф). Если учесть долю гидроэлектростанций в электроснабжении электрических железных дорог, то КПД электротяги повышается до 32%.

Автономные локомотивы в зависимости от типа теплового двигателя и степени его использования имеют КПД достигающий у тепловозов 29-31%, а паровозов 5-7%. За счет улучшения использования и повышения экономичности дизеля КПД тепловоза может быть несколько повышен. КПД газотурбовоза пока еще несколько ниже, чем у тепловоза. Однако существенным преимуществом газовой турбины является её небольшой вес

– она в 4–6 раз легче дизеля, такой же мощности. Это позволяет создавать газотурбовозы, идентичные по мощности электровоза.

Тяговые электродвигатели у электровозов позволяют при движении на расчетных подъемах работать на режимах с нагрузками, превышающими номинальные, если при этом перегрев обмоток электродвигателей не превышает допустимых пределов. У моторных вагонов электродвигатели обычно работают с токами больше номинальных во время пуска (разгона) поезда, что важно для пригородного сообщения с частыми остановками.

Электровозы могут при торможении возвращать в тяговую сеть часть энергии движения поезда (рекуперативное торможение). Эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и текущий ремонт электровозов примерно в 2–3 раза ниже, чем при автономных локомотивах. Провозная способность электрифицированных линий значительно превышает провозную способность неэлектрифицированных железных дорог. Электровозы имеют значительно больший срок службы, ремонт и обслуживание их проще, чем тепловозов.

Вместе с тем введение электрической тяги требует больших капиталовложений (устройство контактной сети, линий электропередачи, тяговых подстанций). Однако они быстро окупаются на железных дорогах с большой интенсивностью движения. Поэтому электрическая тяга нашла широкое применение на наиболее грузонапряженных и тяжелых по профилю

линиях, а также в пригородном пассажирском движении.

По роду работы локомотивы подразделяются на грузовые, пассажирские и маневровые. Грузовые локомотивы должны развивать силу тяги, позволяющую водить поезда большой массы до 6000 т. Пассажирские локомотивы предназначены для вождения более легких поездов, но с большими скоростями.

Моторвагонный подвижной состав на электрифицированных линиях состоит из электровагонов, включаемых в электропоезда; на неэлектрифицированных линиях применяют дизель-поезда. В отличие от локомотивов моторные вагоны служат не только для тяги поезда, а используются одновременно и для размещения и перевозки пассажиров.

Применение на электровозах или тепловозах тяговых электродвигателей дает возможность использовать как индивидуальный, так и групповой привод. При индивидуальном приводе каждая движущая колесная пара соединена со своим тяговым двигателем зубчатой передачей. При групповом приводе движущие колесные пары, размещенные в одной жесткой раме, соединяются между собой промежуточными зубчатыми колесами, но все колесные пары получают вращение от одного двигателя.

Если число колесных пар не превышает шести, локомотив всегда выполняется с одним кузовом. Такой локомотив называется односекционным. При большом числе колесных пар кузов локомотива оказывается слишком длинным и тяжелым, что сильно усложняет его конструкцию и затрудняет прохождение кривых. Поэтому такие локомотивы обычно выполняются не с одним, а с двумя и даже с тремя самостоятельными кузовами (секциями), соединенными между собой автосцепками или специальными шарнирными соединениями. Такие локомотивы называются двух- или трехсекционными. В некоторых случаях оборудование многосекционных локомотивов позволяет каждой его секции самостоятельно водить поезда. В последнее время односекционными стали выполнять и 8-осные локомотивы (электровоз ЭП200).

К электрическому подвижному составу относятся электровозы и электрические моторные вагоны. В зависимости от рода применяемого тока различают электровозы постоянного и переменного тока и двойного питания; также различаются и электропоезда.

Электровозы и моторвагоны состоят из механической части, электрического оборудования и имеют пневматические системы. К механической части современного электровоза или моторвагона относятся кузов и тележки. Электрическое оборудование состоит из тяговых электродвигателей, вспомогательных электрических машин, аппаратуры для управления двигателями и вспомогательными машинами, а на электроподвижном составе переменного тока и двойного питания, кроме того, – из трансформаторов и преобразователей тока (выпрямителей для питания электродвигателей переменного тока или автономных инверторов для питания асинхронных электродвигателей).

На железных дорогах страны эксплуатируются электровозы около 20 серий и модификаций. Одним из самых мощных является двухсекционный 12-осный электровоз ВЛ85 с рекуперативным торможением, предназначенный для работы на магистралях, электрифицированных по системе однофазного переменного тока напряжением 25 кВ. электровоз состоит из двух шестиосных секций; кузов каждой из них подвешен на трех двухосных тележках. Электровоз может водить поезда массой 6000 т и более. Для вождения более тяжелых поездов и для работы на участках с более трудным профилем предусмотрена возможность работы двух электровозов при управлении одним машинистом из кабины любой секции. На электровозе предусмотрено автоматическое управление режимом движения. Мощность локомотива 10 000 кВт, сила тяги 740 кН, конструкционная скорость 110 км/ч.

В числе новых локомотивов грузовой 12-осный электровоз ВЛ15, он предназначен для вождения тяжеловесных поездов на магистральных участках с напряжением 3000 В постоянного тока. Мощность локомотива 9000 кВт, сила тяги 657 кН, конструкционная скорость 100 км/ч.