

# Теория тяги поездов

Курс лекций

# Список литературы

---

- Кузмич В.Д. и др. **Теория локомотивной тяги**: Учебник для вузов ж.-д. транспорта/Под ред. В.Д. Кузмича. – М.: Издательство «Маршрут», 2005.
- **Подвижной состав и тяга поездов**. Учебник для ВУЗов / под ред. В.В. Деева и Н.А. Фуфрянского, М. «Транспорт», 1979г.
- **Правила тяговых расчетов для поездной работы**. М., 1985, 287с.
- **Подвижной состав и основы тяги поездов**. Учебник для техникумов ж.-д. транспорта / под ред. С.И. Осипова, М. «Транспорт», 1990г.

# Теория тяги поездов

---

- Наука о тяге поездов изучает комплекс вопросов, связанных с **теорией механического движения поезда**, рационального использования локомотивов и экономичного расходования энергоресурсов.
- **Основы теории** локомотивной тяги позволяют решать широкий круг практических вопросов эффективной эксплуатации железных дорог, рассчитать основные параметры вновь проектируемых линий, участков, переводимых на новые виды тяги, намечать основные требования к вновь разрабатываемым локомотивам и вагонам.
- С их помощью определяют силы, действующие на поезд, оценивают их влияние на характер движения, определяют оптимальную массу состава при выбранной серии локомотива.

# Теория тяги поездов

---

- Теория тяги позволяет **рассчитать скорости движения** в любой точке пути с учетом безопасности движения поездов и времени хода по каждому перегону и участку, определять расход энергоресурсов и проверять использование мощности локомотива.
- На основании перечисленных данных **составляют график движения поездов**, определяют пропускную и провозную способность дорог и рассчитывают эксплуатационные показатели локомотивного хозяйства.
- На действующих линиях теория позволяет найти **рациональные режимы вождения поездов** на различных участках и наиболее экономичные условия эксплуатации локомотивов.

# Теория тяги поездов

---

- При разработке проектов электрификации дорог определяют токи, потребляемые электровозами в различных точках пути, пользуясь теорией электрической тяги. На их основании **рассчитывают систему электроснабжения.**
- Теория тяги поездов позволяет **найти скрытые резервы** при электрификации линий, развитии провозной и пропускной способности действующих дорог, эффективно использовать локомотивы на каждом участке, экономно расходуя энергоресурсы

# Теория тяги поездов

---

- В тяге поездов принято считать, что локомотив и вагоны, связанные между собой автосцепками, движутся в пространстве и времени как единое целое - как система, не имеющая никаких других движений, кроме управляемого.
- В теории тяги изучают **управляемое движение** поездов.
- При этом поезд рассматривают как управляемую систему, функционирующую в условиях переменных возмущающих воздействий внешней среды, наложения внутренних и внешних удерживающих связей и нормативных ограничений ее управляющих воздействий.

# Теория тяги поездов

---

- Автосцепки являются **внутренними**, а рельсы - **внешними** удерживающими связями, определяющими траекторию движения и направление сил, воздействующих на управляемое движение поезда.
- Переменные **внешние воздействия** обусловлены неравномерностью профиля пути, колебанием скорости по условиям организации движения поездов и метеорологическими условиями.

# Теория тяги поездов

---

- Ограничения обусловлены ресурсами управления и условиями эксплуатации.
- **Ограничения по ресурсам управления** определяются: ограничениями в получаемой энергии от источника мощности; мощностью тяговых двигателей; оснащенностью поезда тормозными средствами; сцеплением движущих колес с рельсами; конструкционной скоростью локомотива; и др.
- **Ограничениями по условиям эксплуатации** являются: длина приемоотправочных путей станций; метеорологические условия; температура нагрева обмоток электрических машин локомотивов; предельно допускаемые скорости; унификация весовых норм и др.

# Теория тяги поездов

---

- При расчетах движения поездов стремятся достигнуть наибольшего заполнения провозной и пропускной способности железных дорог при минимальных затратах ресурсов.
- Для достижения этой цели исходят из **принципа возможного максимума**: вождения поездов наибольшего веса с наибольшей допустимой скоростью при наибольшем использовании кинетической энергии на неравномерном профиле пути.

# Теория тяги поездов

---

- Когда же движение рассчитано и задано расписанием, то **цель управления** состоит в том, чтобы поезд прибыл в заданное место и в заданное время, что входит в обязанность диспетчера и машиниста.
- Очевидно, и для расчета движения, и для практической реализации его машинистом требуется подобрать такие движущие и тормозные силы, которые в состоянии преодолеть силы сопротивления движению или силы инерции и обеспечить достижение заданных состояний поезда на любом этапе управления.

# Теория тяги поездов

---

- Такими **управляемыми силами** являются сила тяги локомотива и тормозная сила поезда.
- К **возмущающим воздействиям** относятся силы сопротивления движению поезда.
- Закон изменения состояния системы во времени на любом этапе управления путем подбора управляющих воздействий составляет **программу управления поездом** машинистом.
- Такими программами могут быть режимные карты вождения поездов, разрабатываемые работниками депо на основе экспериментов и достижений передовых машинистов.

# Теория тяги поездов

---

- Теоретические и экспериментальные исследования привели к выводу о том, что для выполнения программы движения поезда нет необходимости определять все силы, все координаты и скорости движения каждого объекта - вагона и локомотива, входящих в систему поезда, как этого требует классическая механика.
- Оказывается, достаточно учитывать только те силы, скорости и координаты, которые характеризуют поезд как систему в целом и которые связаны с программой управления его движением.

# Теория тяги поездов

---

- Для расчета движения используется **математическая модель поезда** - дифференциальное уравнение движения, описывающее его поведение с достаточной для целей практики точностью.
- Решение дифференциального уравнения позволяет определить закон движения на всех этапах управления и поэтому составляет центральную часть теории тяги и тяговых расчетов.

# Теория тяги поездов

---

- Расчетную часть теории тяги поездов называют **тяговыми расчетами**.
- Нормативы расчетных величин и методики тяговых расчетов, утвержденные ОАО «РЖД», имеют силу отраслевого стандарта, и называются **Правилами тяговых расчетов (ПТР)**.
- Таким образом, тяговые расчеты являются основным расчетным инструментом в деле рационального функционирования, планирования и развития железных дорог.

# Формирование модели поезда

---

- Для того чтобы обеспечить необходимое сходство в поведении оригинала и модели поезда, необходимо вначале сформировать - как систему с допущениями, **физическую модель** упрощающими расчет и не оказывающими существенного влияния на точность расчетов движения.
- После этого можно составить аналитическое описание поведения поезда - **математическую модель**.

# Формирование модели поезда

---

На этом основании установлены постулаты (допущения) - исходных положения для формирования модели поезда.

- **Постулат I.** Поезд движется в одном направлении - вдоль рельсов, т.е. имеет **одну степень свободы**, а значит, для описания его поведения требуется лишь **одно уравнение движения**, что облегчает расчеты и принято, в теории тяги поездов.

# Формирование модели поезда

---

- **Постулат II.** Для описания поведения поезда, имеющего одну степень свободы, необходимо и достаточно знать только те силы, которые **совпадают с направлением** движения или противоположны ему.

# Формирование модели поезда

---

- **Постулат III.** Так как поступательное движение неизменяемой системы полностью определяется движением центра ее масс, то движение поезда можно описать как **движение материальной точки**, в которой сосредоточена вся масса поезда.

# Формирование модели поезда

---

- **Постулат IV.** Так как сумма работ внутренних сил неизменяемой системы равна нулю, то для описания движения поезда достаточно учитывать только внешние силы и не принимать во **внимание внутренние.**

# Формирование модели поезда

---

- **Постулат V.** Исходя из принципа суперпозиции в теории тяги все силы, воздействующие на управляемое движение поезда, заменяют одной равнодействующей силой, равной по величине алгебраической сумме внешних сил и приложенной в середине поезда в направлении движения или против него.

# Формирование модели поезда

---

- В результате принятых допущений физическую модель поезда можно представить как управляемое движение материальной точки с одной степенью свободы, в которой сосредоточена вся масса поезда и к которой приложена равнодействующая сила, равная по величине алгебраической сумме внешних сил, действующих по направлению или против движения поезда.
- В тяге поездов все силы, воздействующие на управляемое движение, считают приложенными к ободам колес локомотива и вагонов поезда.

# Силы, действующие на поезд

---

- Соответственно принятой модели поезда определены силы, которые необходимо учитывать в расчетах движения:
  - $F_k$  - касательная сила тяги локомотива;
  - $W_k$  - сопротивление движению поезда;
  - $B_t$  - тормозная сила поезда.

# Силы, действующие на поезд

---

- **Силой тяги** называют управляемую движущую силу, создаваемую двигателями тяговой передачи локомотива во взаимодействии с рельсами и приложенную к ободам движущих колес в направлении движения поезда.
- Сила тяги, как управляющее воздействие, может изменяться:
  - Машинистом;
  - саморегулированием тяговых передач локомотивов;
  - автоматическим устройством - автомашинистом.

# Силы, действующие на поезд

---

- **Силой сопротивления движению** называют совокупность всех неуправляемых сил, возникающих в процессе движения, приведенных к ободам колес поезда и направленных против движения.

# Силы, действующие на поезд

---

- **Тормозной силой** называют совокупность управляемых сил, создаваемых тормозными средствами поезда во взаимодействии с рельсами и приложенных к ободам колес в направлении, противоположном движению.
- Действие этой силы регулируется машинистом или автоматическим устройством.

# Силы, действующие на поезд

---

- При неравномерном движении поезда действуют также **силы инерции (I)** поступательно движущихся масс и вращающихся масс поезда, на преодоление которых затрачивается работа силы тяги или тормозной силы.
- Однако при определенных условиях кинетическая энергия этих сил может преобразовываться без потерь в работу по передвижению поезда.

# Силы, действующие на поезд

- В зависимости от сочетания рассмотренных сил различают **режимы** движения поезда:
  - режим тяги, когда действуют силы  $(F_k - W_k + I)$ ;
  - режим торможения, когда действуют  $(BT \pm W_k - I)$ ;
  - режим холостого хода, когда действуют силы  $(I - W_k)$ .
- Соотношения величин сил, составляющих равнодействующую поезда, определяет характер движения:
  - при  $(F_k - W_k - I) > 0$  - движение ускоренное;
  - при  $(F_k - W_k - I) < 0$  - движение замедленное;
  - при  $(F_k - W_k) = 0$  - движение равномерное.