

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»
(РУТ (МИИТ))**

Одобрено кафедрой
«ТЯГОВЫЙ ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»

Протокол № ____ от _____ 201__ г.
Автор: _____

**ЗАДАНИЕ НА ЛАБОРАТОРНУЮ РАБОТУ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Динамика электроподвижного состава

Уровень ВО: *Специалитет*

Форма обучения: *Заочная*

Курс: *5*

Специальность/Направление: *23.05.03 Подвижной состав железных
дорог (ПСС)*

Специализация/Профиль/Магистерская программа: *(ПЭ) Электрический
транспорт железных дорог*

Москва

Амплитудно-частотные характеристики колебаний продольной качки кузова и первой тележки локомотива при движении по рельсам с искусственными периодическими неровностями.

Программный комплекс в конфигурации UMLoco позволяет:

- исследовать устойчивость по Ляпунову РЭ (определение критической скорости);
- рассчитывать динамику РЭ в полной пространственной постановке, в прямых и кривых участках пути, с учетом и без учета неровностей путевой структуры с одновременным расчетом переменных, характеризующих динамические показатели РЭ: ускорения произвольных точек любого тела, коэффициенты динамики, усилия в тягах и поводках, рамные силы, силы в контакте колесо/рельс, факторы износа, коэффициенты безопасности и так далее;
- моделировать динамику локомотива в режиме тяги и выбега с учетом и без учета эффекта замедления;
- исследовать зависимость динамики РЭ от геометрии профилей колеса и рельса;

Расчет производится с использованием модели электровоза, которая представляет собой систему взаимосвязанных абсолютно твердых тел. Некоторые наборы тел, повторяющиеся в конструкции механической части, объединяются в подсистемы. Каждое тело задается координатами центра масс, собственной системой координат, совпадающей, как правило, с осями симметрии, массой и моментами инерции относительно своих осей.

Связи тел характеризуется числом степеней свободы, наличием зазоров, упругими и диссипативными силами, координатами точек связи в системах координат каждого из соединяемых тел.

Кроме внутренних сил, возникающих при взаимных перемещениях тел, на локомотив действуют, внешние силы сила тяги, сила сопротивления движению, силы взаимодействия между колесами и рельсами: нормальные, трения и кривая. трения и кривая.

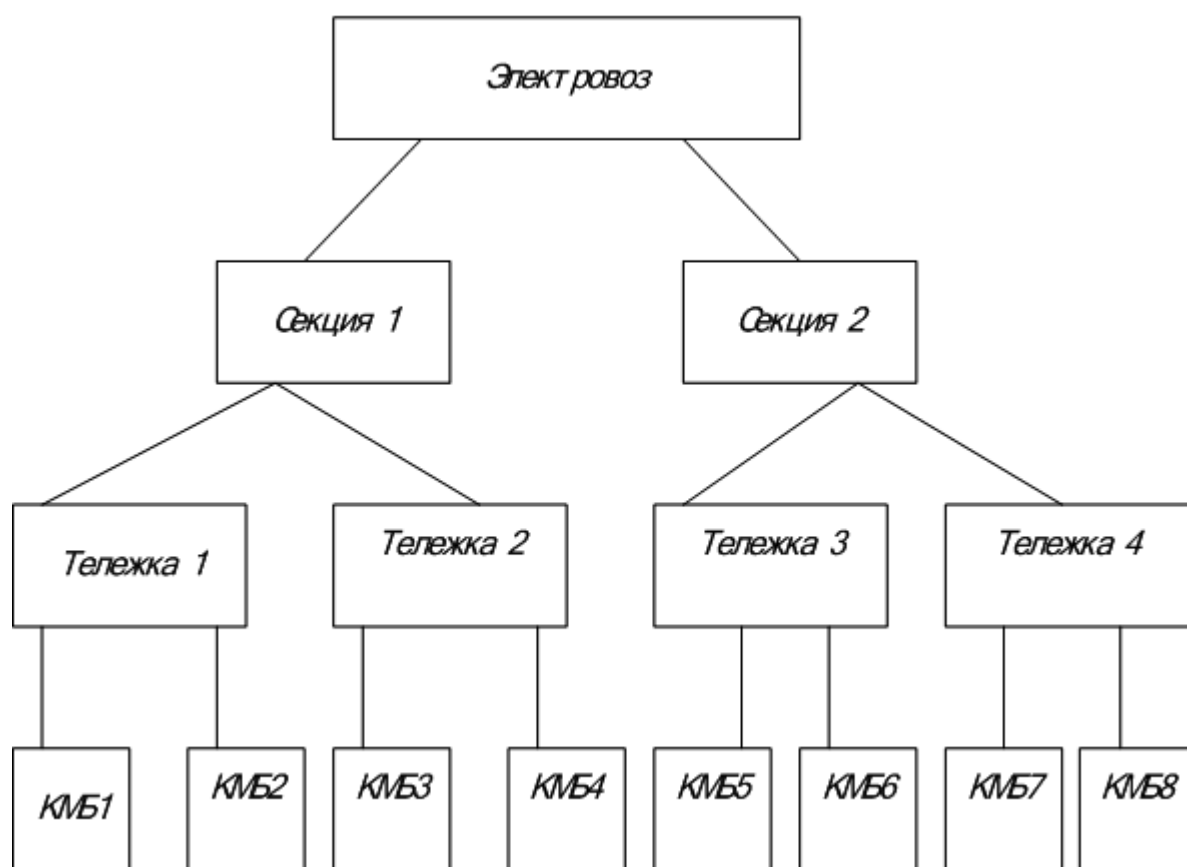


Рис.1 Структура модели

В подсистему «Колесно-моторный блок» включены колесная пара, буксы, корпус тягового двигателя, якорь, шестерня и большое зубчатое колесо присоединены соответственно к колесной паре и якорю.

Подсистема «Тележка» включает в себя раму и два КМБ.

Подсистема «Секция» включает в себя две тележки и кузов.

Электровоз включает в себя две секции.

Начало базовой системы координат принято под центром масс кузова первой секции на уровне осей колесных пар. В связи колесной пары с рамой вертикальная жесткость комплекта поводков присоединяется к жесткости буксового рессорного подвешивания, продольная и поперечная жесткость соответствуют показателям комплекта резиновых элементов поводков. Кронштейн корпуса тягового двигателя связан с рамой упруго-диссипативным стержнем с шаровыми шарнирами по концам.

Центральная связь кузова с рамой - шарнир с пятью степенями свободы, ограничена только связь по оси X . Люлечное подвешивание — четыре упруго-вязких стержня с шаровыми шарнирами по концам.

Секции связаны на уровне автосцепки упруго-вязким стержнем с зазором и шаровыми шарнирами по концам.

Общие основы моделирования. Базовая система координат

В УМ принято, что базовая система координат, относительно которой исследуется движение РЭ, удовлетворяет следующим стандартным требованиям:

- ось Z вертикальна, ось X направлена вдоль экипажа в направлении движения (то есть РЭ движется в положительном направлении оси X);
- начало координат расположено на уровне осей колесных пар в положении равновесия РЭ на идеально ровном пути, то есть центры масс колесных пар в невозмущенном состоянии имеют нулевые координаты Z ;
- линейные и угловые координаты всех тел, образующих модель РЭ, за исключением продольных, а также углов поворотов колесных пар вокруг осей и углов поворотов роторов вокруг своих осей (например, угол поворота тягового двигателя) остаются малыми в базовой системе координат в процессе моделирования.

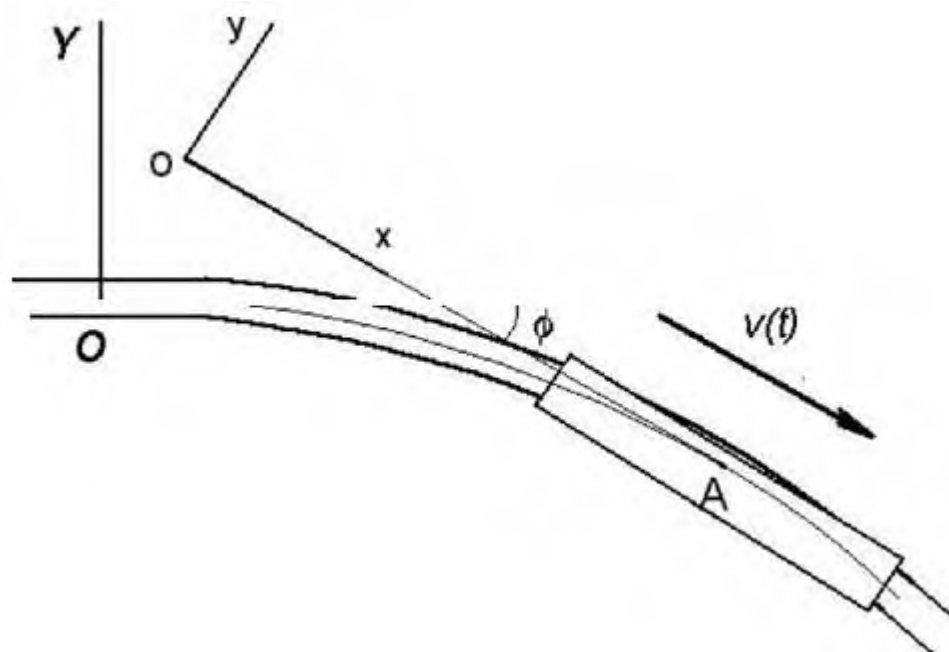


Рис.2. Система координат

Пусть $OXYZ$ - инерциальная СК, связанная с землей (Рис.2), $oxyz$ - базовая СК, совпадающую в начальный момент времени $t=0$ с $OXYZ$, ось ox которой направлена по касательной к центральной линии идеального рельсового пути в некоторой точке A . Плоскости OXY и oxy двух СК совпадают. СК $oxyz$ движется таким образом, что скорость точки оси ox , совпадающей с точкой A равна нулю, то есть базовая СК "катится без проскальзывания" по идеальной кривой пути. Таким образом, координата x_d точки A в СК $oxyz$ равна длине дуги OA . Положение точки A определяется движением РЭ. В УМ - это проекция центра масс кузова на центральную линию пути. Следовательно, координата x_d равна координате кузова относительно подвижной СК.

Стандартная подсистема – колесная пара

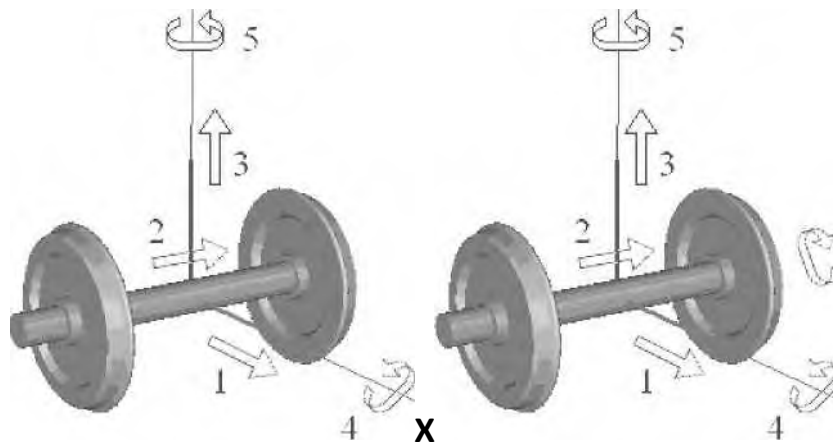


Рис. 3. Модели колесных пар

УМ использует две модели колесных пар, различающиеся по числу степеней свободы.

Упрощенная модель используется для моделирования ведомой (вагонной) колесной пары или локомотива в режиме выбега и имеет пять степеней свободы (Рис.3, слева):

- 1 - сдвиг вдоль оси X;
- 2 - сдвиг вдоль оси Y;
- 3 - сдвиг вдоль оси Z;
- 4 - поворот вокруг оси X;
- 5 - поворот вокруг оси Z.

Все координаты, кроме координаты X, линеаризуемы, то есть считаются малыми. Отсутствует степень свободы - поворот вокруг оси колесной пары (Y).

Для полной модели (Рис.3, справа) добавляется шестая степень свободы: 6 - поворот вокруг оси Z, данный угол не линеаризуется, поскольку он не является малым.

Еще одной особенностью полной модели является то обстоятельство, что колесная пара образована двумя телами, а не одним, как в упрощенной модели. Телам по умолчанию присваиваются следующие имена: *WSet* для первого тела (от английского слова *wheelset* - колесная пара) и *WsetRotat* - для второго (от *wheelsetrotational*). Первое тело имеет пять степеней свободы

(как и упрощенная модель), а второе - одну степень свободы - поворот вокруг оси Y относительно первого тела. Инерционные параметры колесной пары распределены по этим телам следующим образом: масса и одинаковые моменты инерции относительно осей X и Z принадлежат первому телу, а моменты инерции относительно оси Y - второму.

Моделирование букс

Как правило, буксы не вводятся в модель РЭ в качестве отдельных тел. В этом случае все связи рамы с буксой устанавливаются непосредственно с телом, представляющим КП (с первым телом в модели КП как подсистемы).

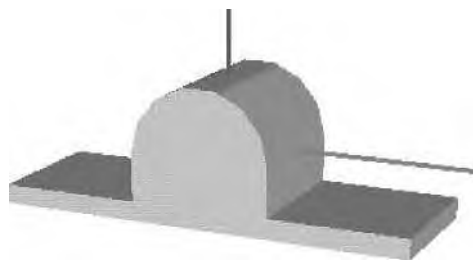


Рис. 4 Графический образ буксы

Моделирование пружин подвески

Для моделирования *линейных* пружин подвески используется *обобщенный линейный силовой элемент*. При задании матрицы жесткости пружины, как правило, достаточно указать три коэффициента жесткости (вертикальную, продольную и поперечная жесткости), причем рекомендуется использовать идентификаторы для обозначения элементов матрицы жесткости, если численные значения этих величин предполагается варьировать при моделировании динамики РЭ. Если буксы не вводятся в объект в качестве отдельных тел, то коэффициенты жесткостей соответствуют комплектам пружин для одной буксы.

3.10 Моделирование гасителей тяг, поводков

Для моделирования линейных и нелинейных гасителей, а также тяг и поводков рекомендуется использовать биполярные силовые элементы. В некоторых случаях для гасителей используются обобщенные линейные силовые элементы с заданием матрицы диссипации.

Создание файлов профилей

Для создания профилей колес и рельсов (новых и изношенных) используется специальный инструмент программы, с помощью которого профили задаются либо набором точек с дальнейшей сплайновой интерполяцией, либо набором отрезков и окружностей.

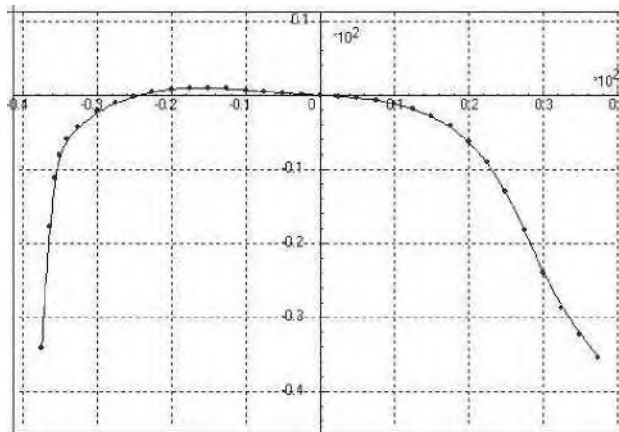


Рис. 5. Изношенный профиль Р65

Численное интегрирование уравнений движения

Численное интегрирование уравнений движения является основным инструментом исследования динамики РЭ. Построение и анализ осциллограмм переменных, характеризующих показатели динамики РЭ,

позволяют оценить динамику РЭ, сравнить его с прототипом, провести оптимизацию параметров.

В UMLoco пользователю предоставлена возможность рассчитывать большое число различных переменных в зависимости от времени:

- координаты, скорости и ускорения любой точки любого тела
- углы поворотов, угловые скорости и ускорения любого тела, в том числе и относительные значения этих величин (например, угол поворота рамы относительно кузова)
- значения всех сил, внесенных в модель
- коэффициенты динамики
- коэффициенты безопасности
- рамные силы
- углы набегания колесных пар
- факторы износа пары колесо-рельс (мощность износа, интегральный и удельный факторы износа)
- нормальные реакции в контакте колесо-рельс (для одноточечного и двухточечного контакта)
- продольный и поперечный крены
- силы крена
- силы трения гребень/боковая поверхность рельса
- силы отжатия рельсов

Программа работы

1. Ознакомиться с пояснениями к лабораторной работе с использованием UM.
2. Задать прямой участок пути с вертикальными неровностями рельсов $z_p = 3 \cos(x / 12,5)$, горизонтальные неровности $y_p = 0$. Задать время интегрирования 10 – 15 сек.

3. Подготовить графическое окно для записи угловых перемещений кузова рамы первой тележки на неровностях.
4. Провести интегрирование процесса движения для скорости 5 м/с и зарегистрировать амплитуды колебаний.
5. Открыть окно анимации контакта, настроить его на одно колесо и оценить изменения вертикальной нагрузки на рельс.
6. Прodelать этот опыт для ряда значений скоростей до 25 м/с.
7. Построить амплитудно-частотные характеристики Φ_y для кузова и тележки.