



Решение задач общего
машиностроения в
программном комплексе

Универсальный **М**еханизм

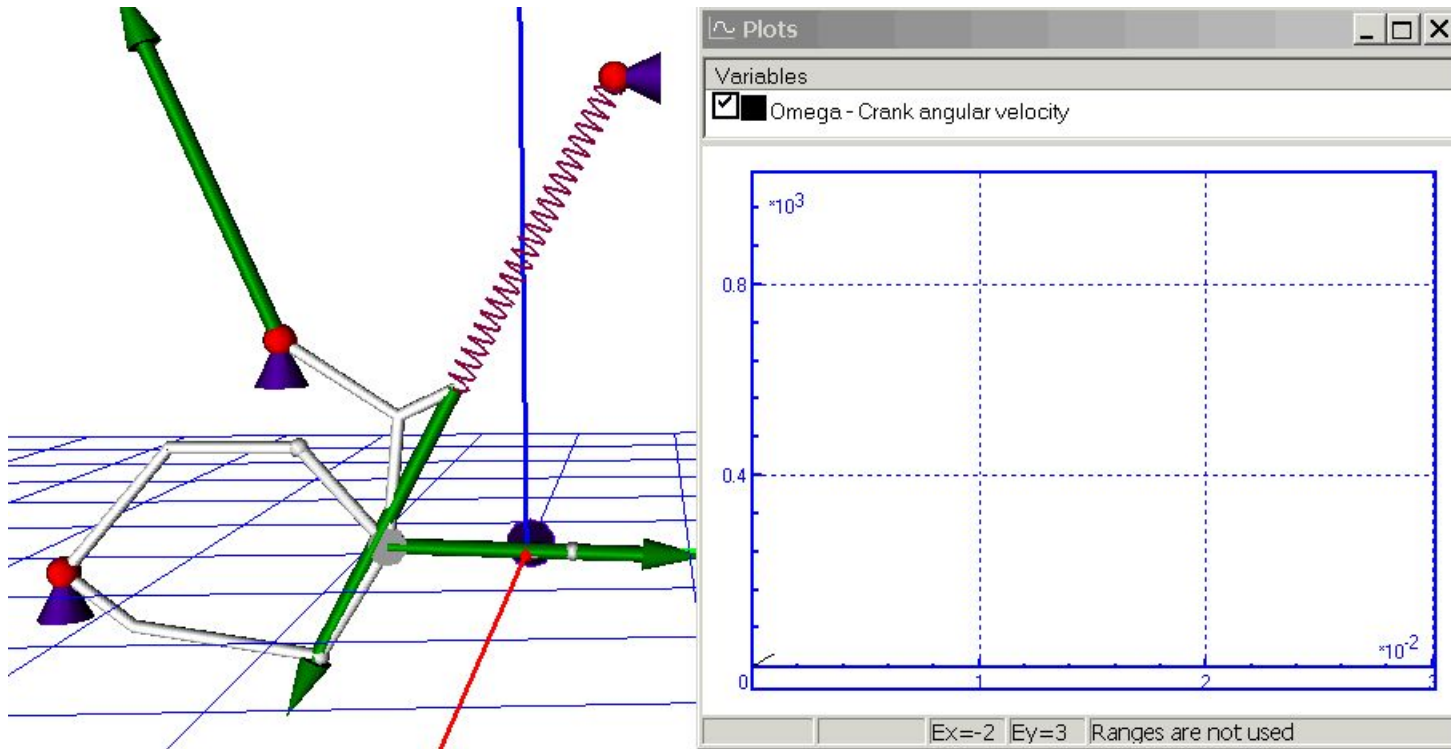
www.umlab.ru

um@umlab.ru

Все анимации, иллюстрации, результаты моделирования, приведенные в данной презентации, выполнены с использованием моделей и стандартных инструментов программного комплекса «Универсальный механизм»

- Примеры моделирования
- Механическая система как объект моделирования
- Создание моделей
- Анализ динамики моделей
- Верификация программного комплекса

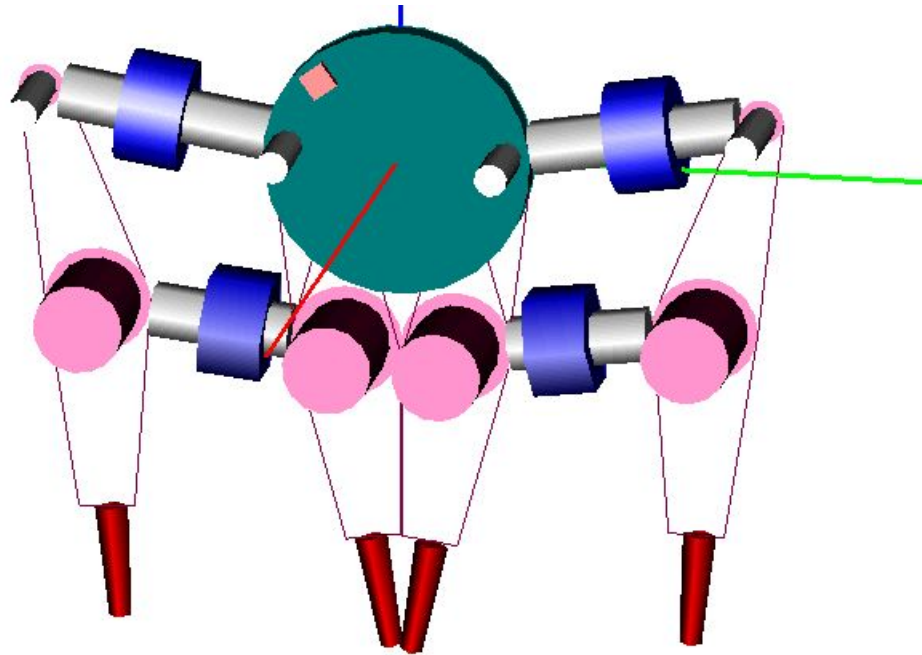
Плоские механизмы



Тестовая задача для программ моделирования динамики систем с замкнутыми кинематическими цепями.

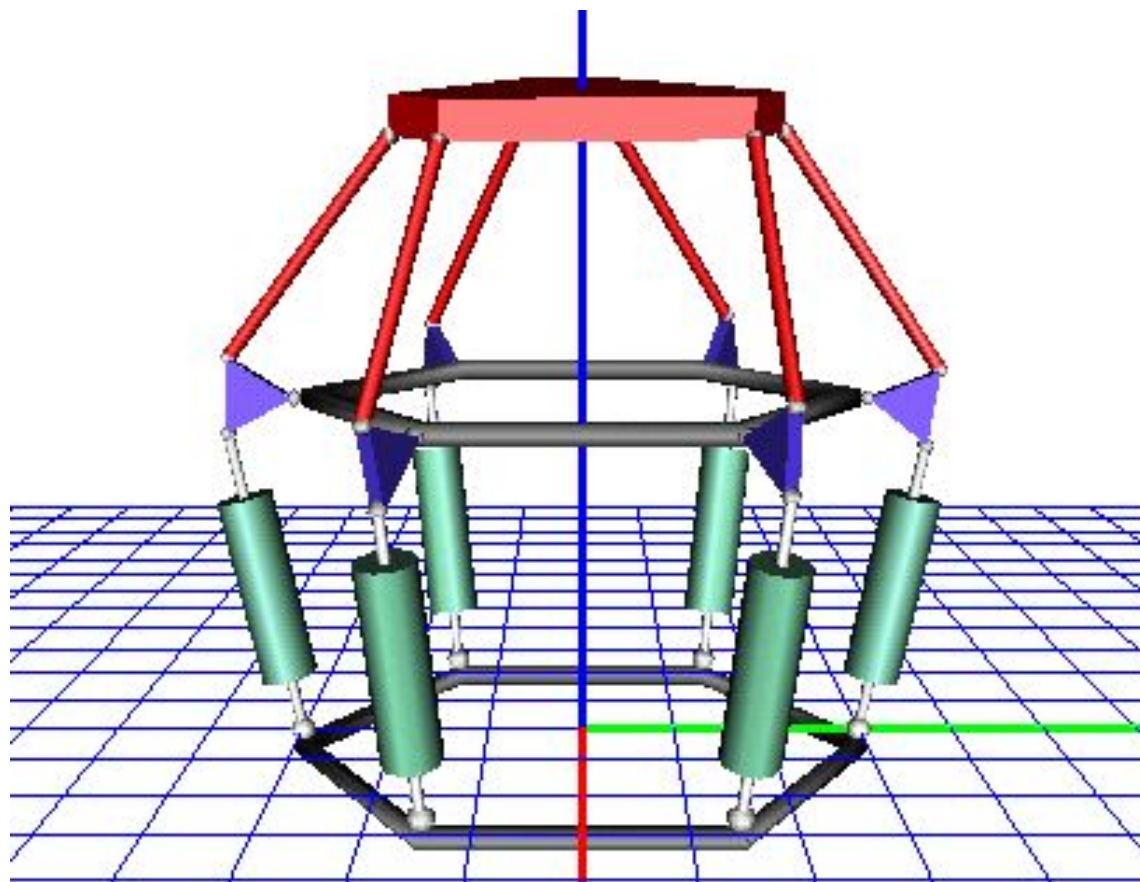
Источник: Schiehlen W. (Ed.) Multibody Systems Handbook. Berlin,...: Springer Verlag, 1990.

Плоские механизмы



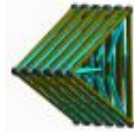
Механизм виброуплотнения
железнодорожного балласта

Пространственные механизмы



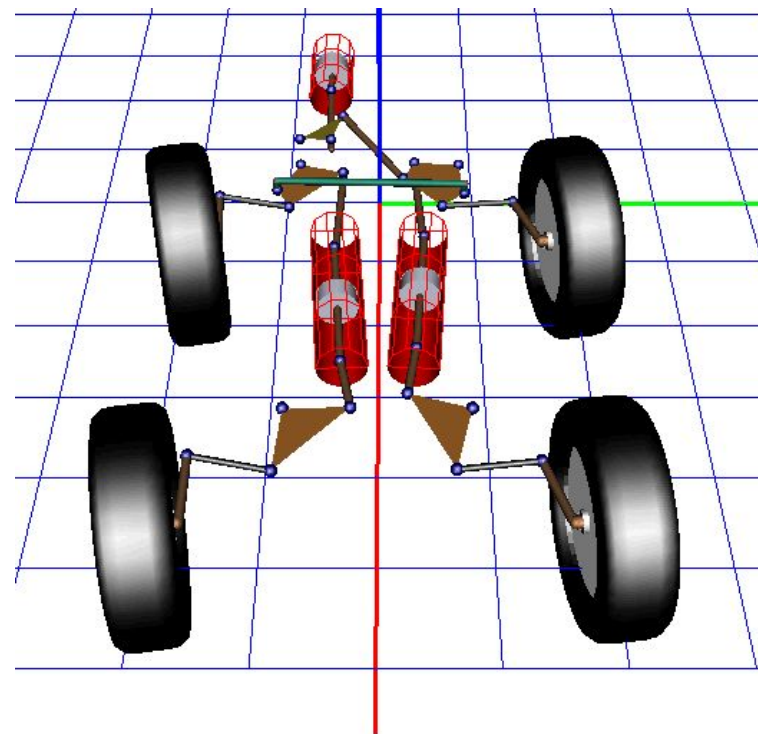
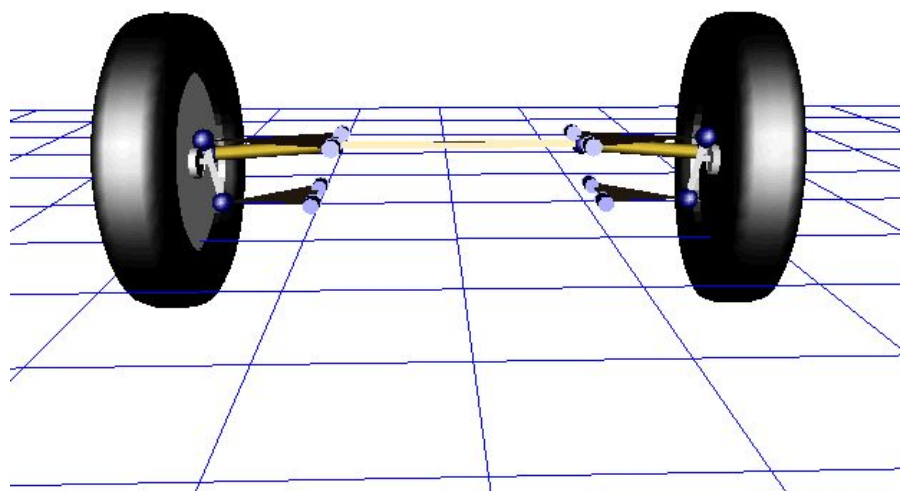
Динамическая платформа

Пространственные механизмы

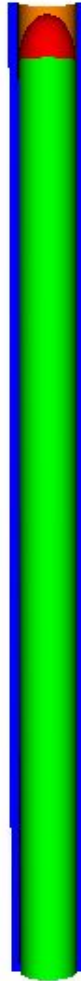


Самораспаковывающаяся космическая ферма

Пространственные механизмы



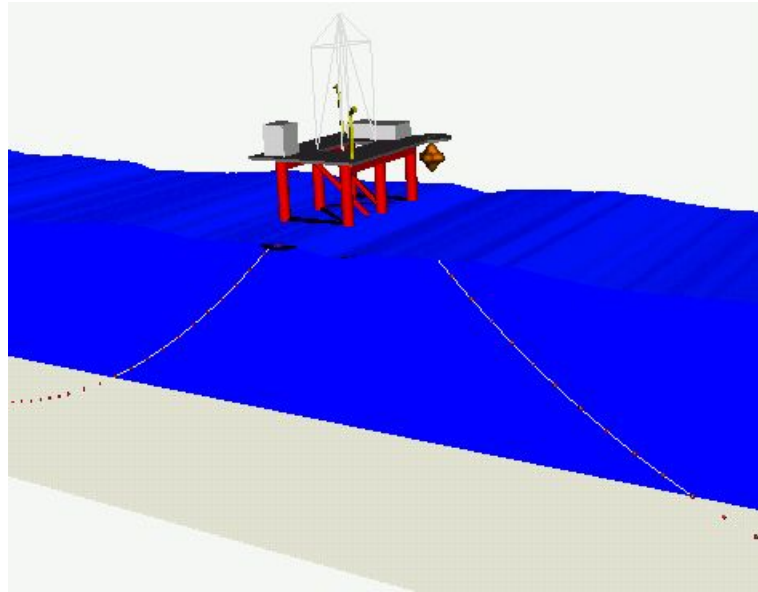
Кинематика подвески автомобилей

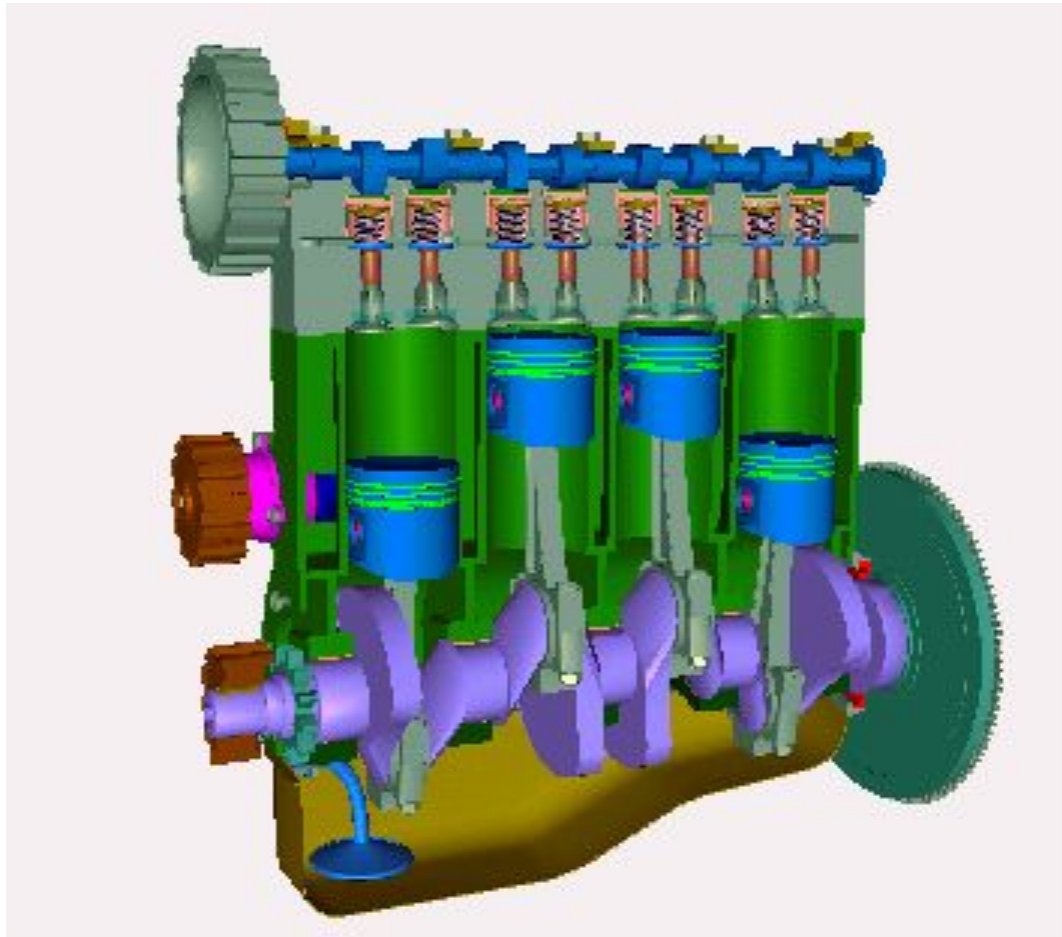


ЦКБ «Новатор», Екатеринбург

Моделирование динамики плавучей нефтяной платформы с учетом гидродинамических сил

Автор: Dr.-Ing. U. Wilke (TUHH, Germany)

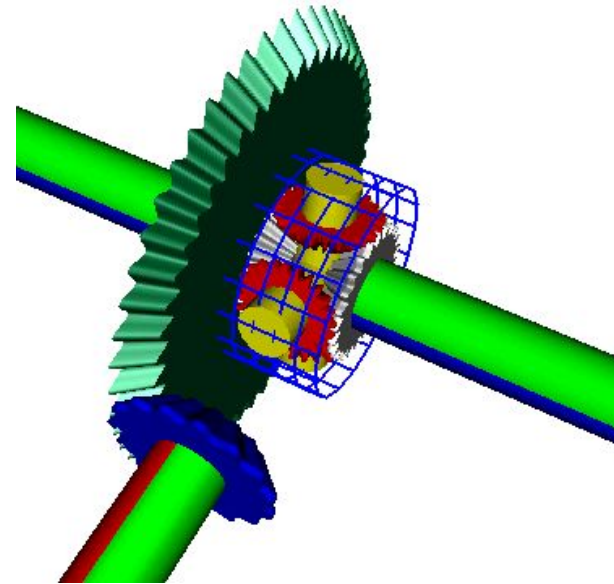
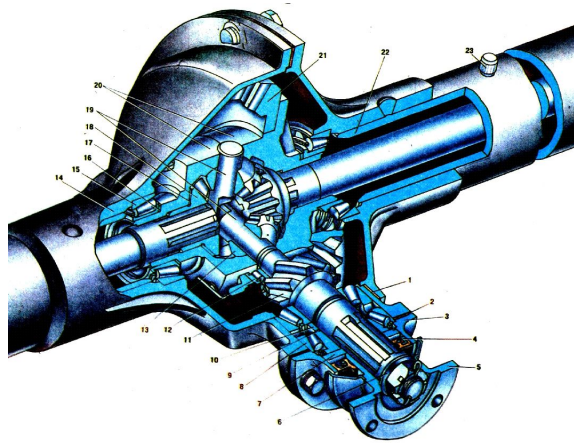




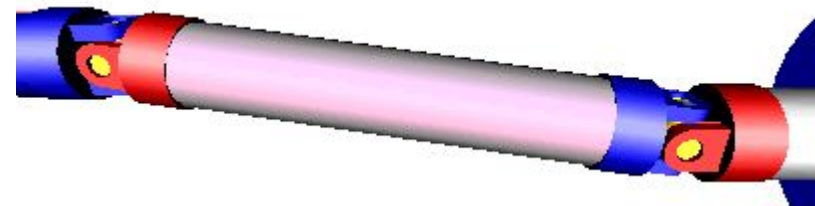
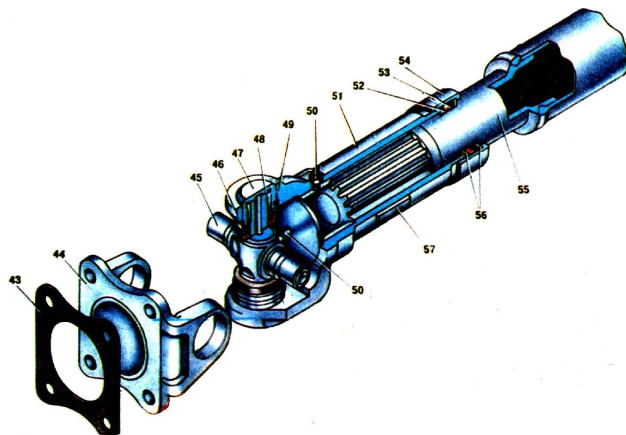
Динамика автомобиля УАЗ на ухабе



Дифференциал



Карданный вал

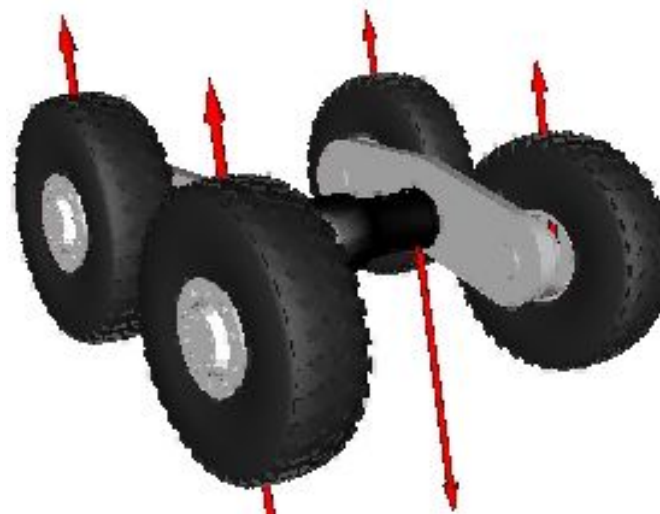


Грейдер ГС 18-05



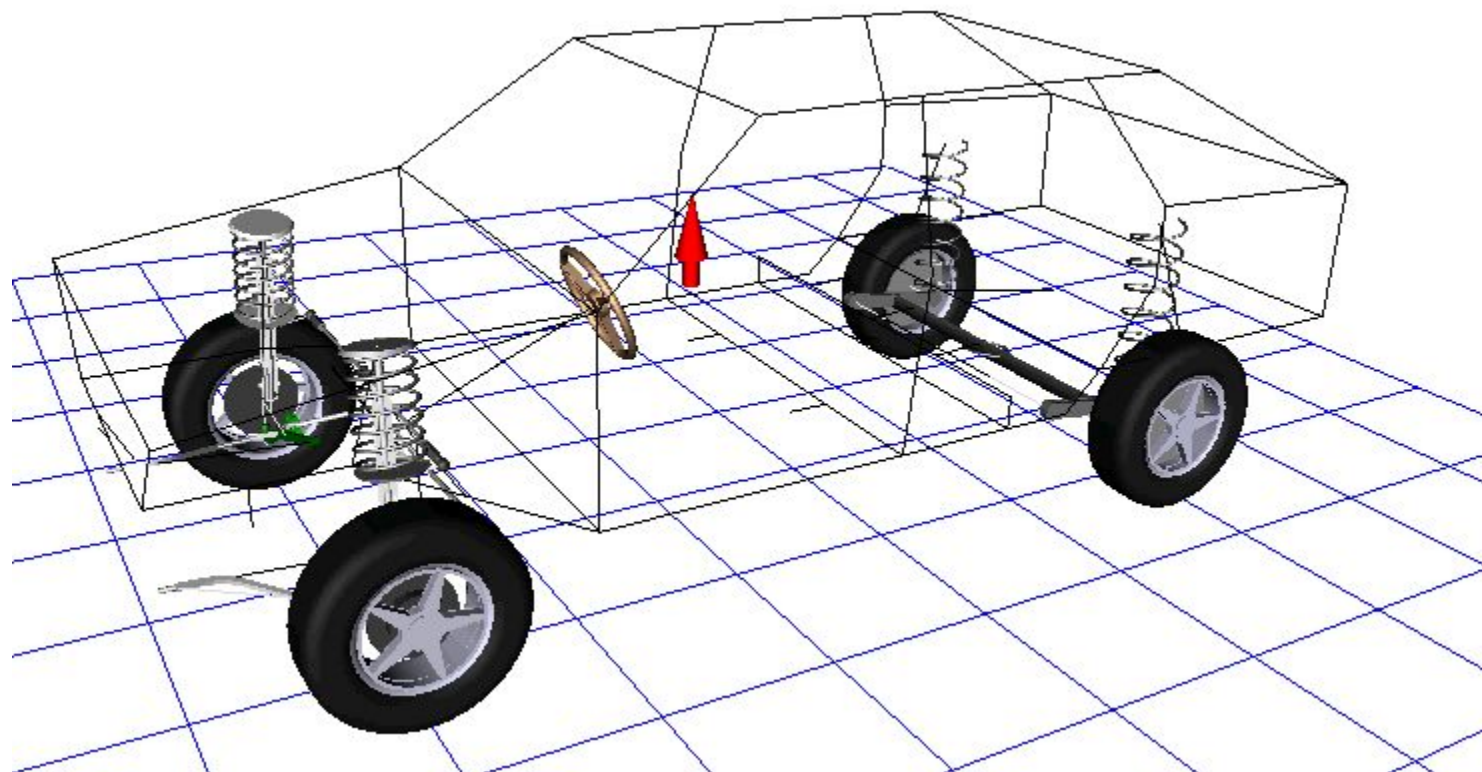
Грейдер ГС 18-05 производства
ОАО «Брянский арсенал».

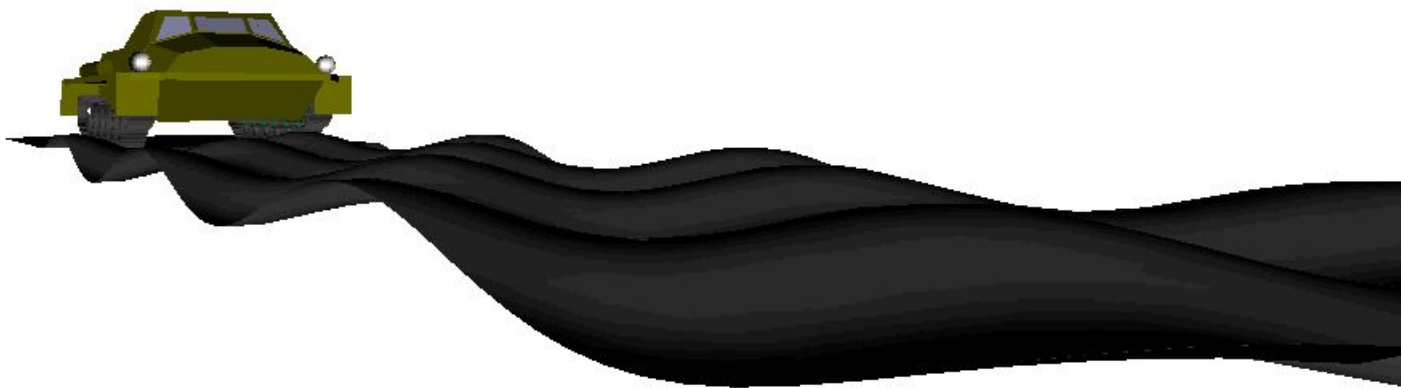
Скорость движения: 40 км/ч
Покрытие: асфальт в
удовлетворительном состоянии



Автор: Говоров В.В., БГТУ

Тест «вертикальная прокачка»





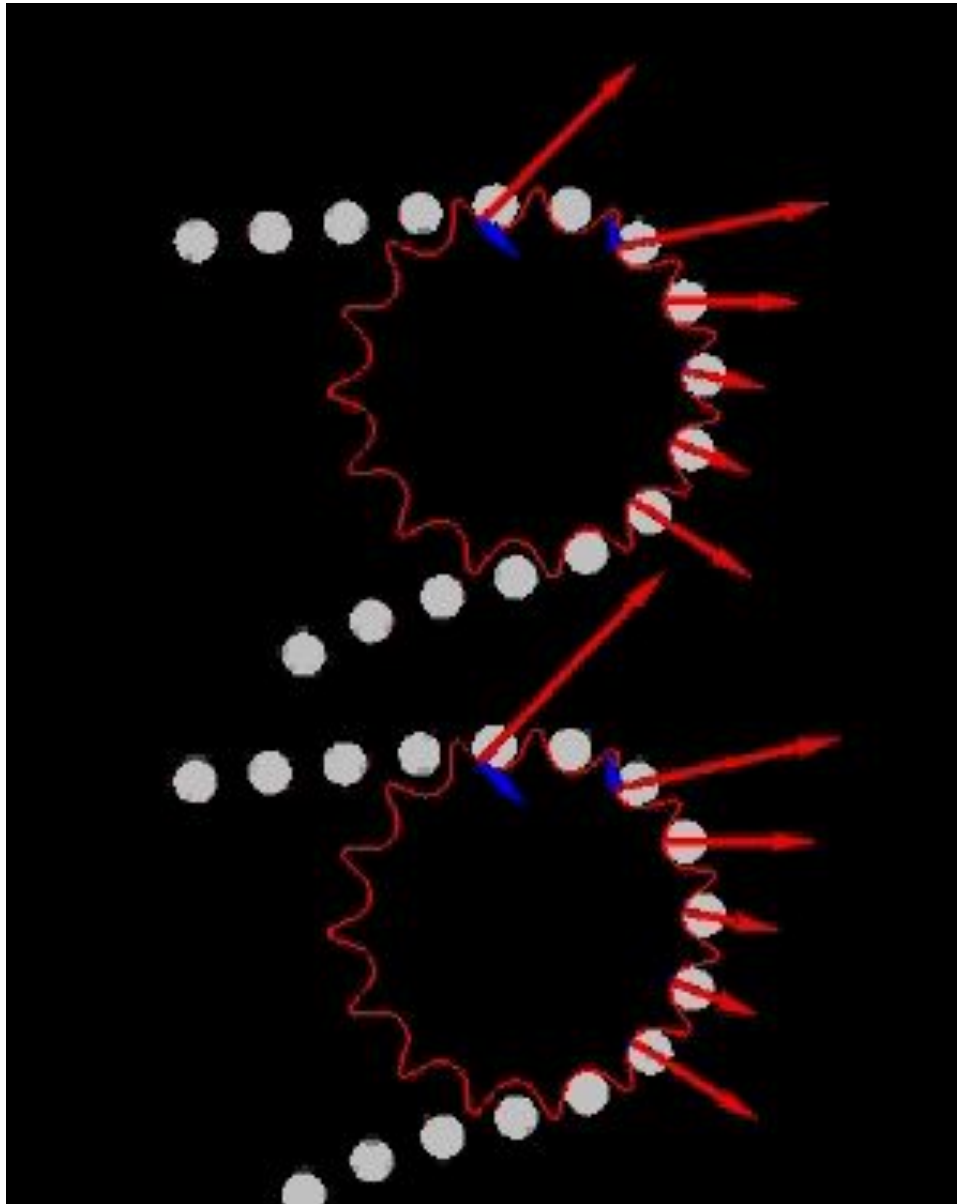
Результаты моделирования

Моделирование гусеничных экипажей



Результаты моделирования

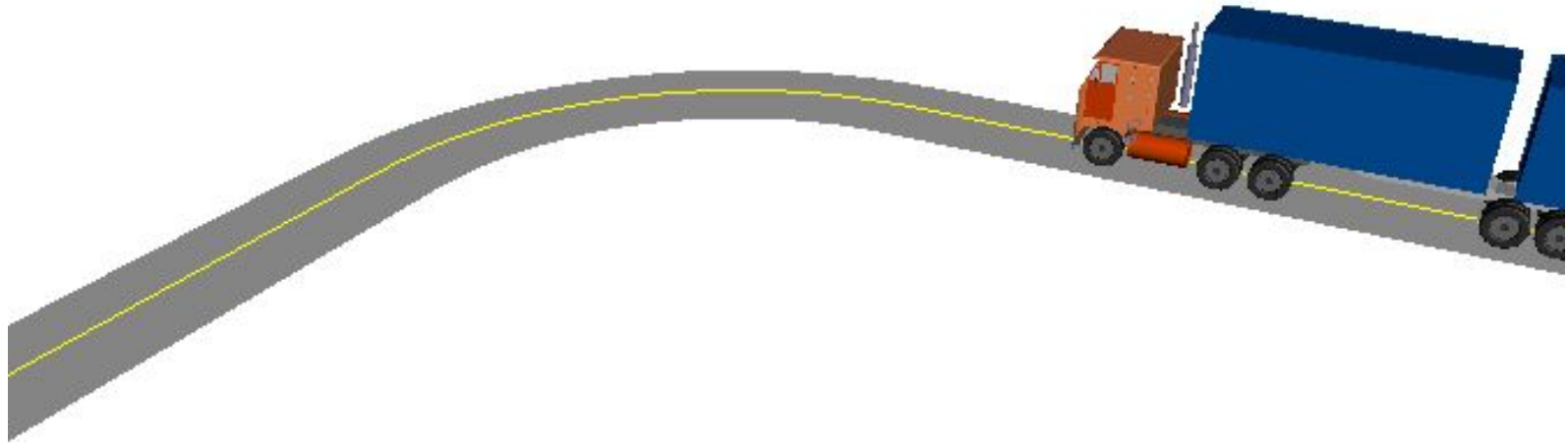
Взаимодействие гусеницы и звездочки



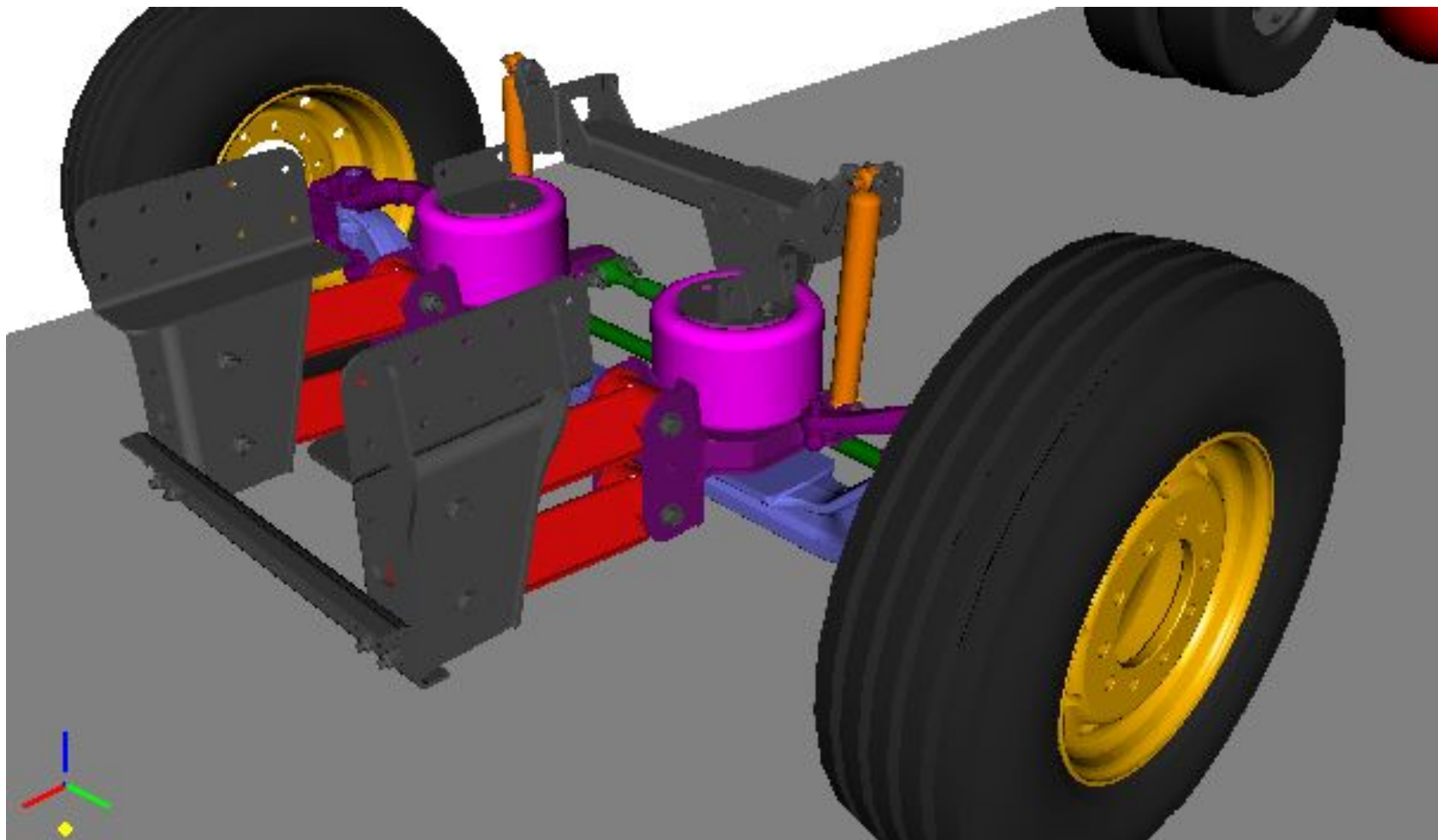
Грузовик с прицепом



Смена полосы движения, $V=88$ км/ч



Поворот на 90° , $V=10$ км/ч, радиус дуги 11,25 м

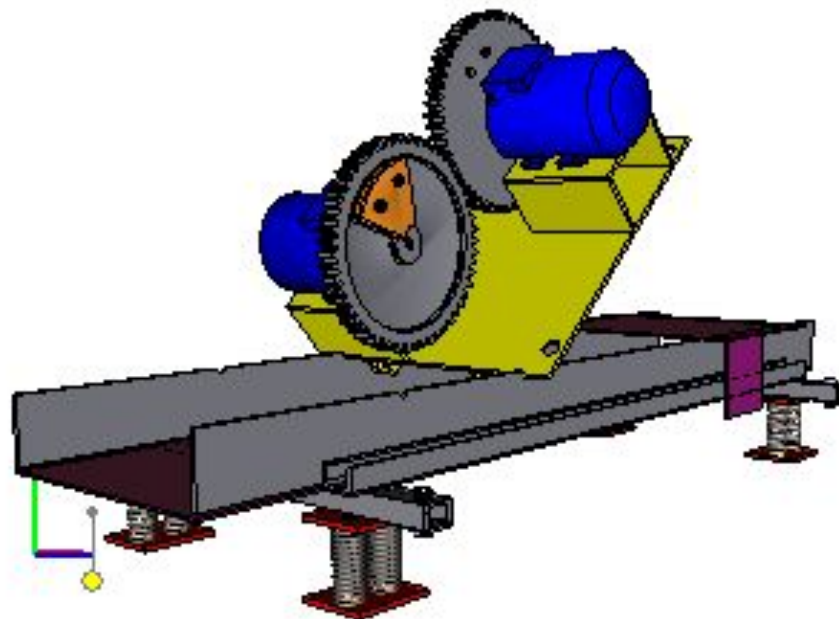


Бульжное покрытие, $V=100$ км/ч.

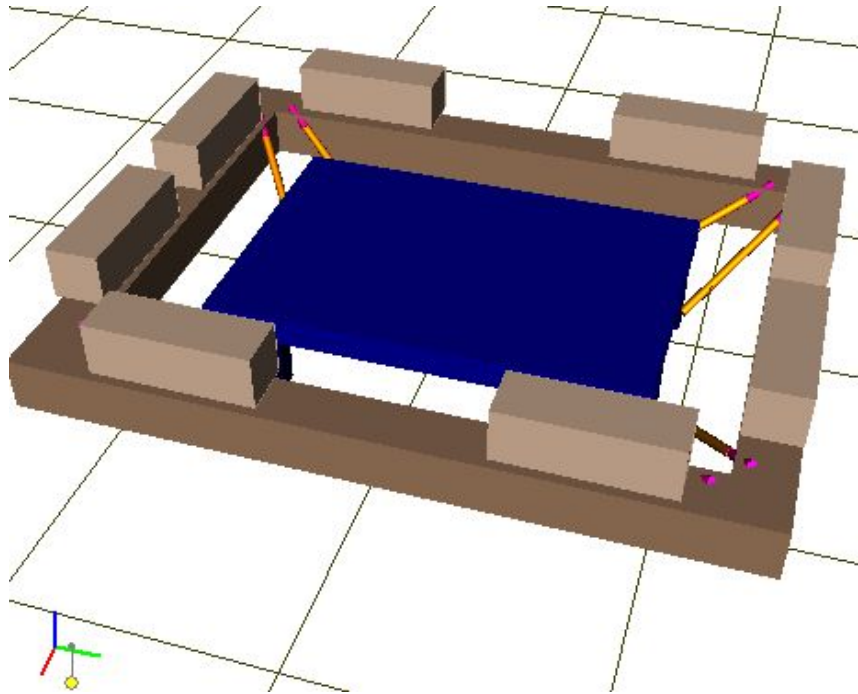
Электростальский завод тяжелого машиностроения



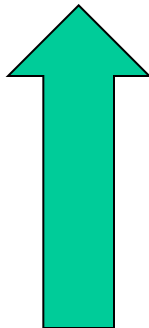
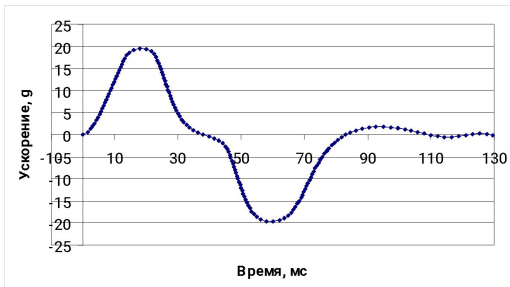
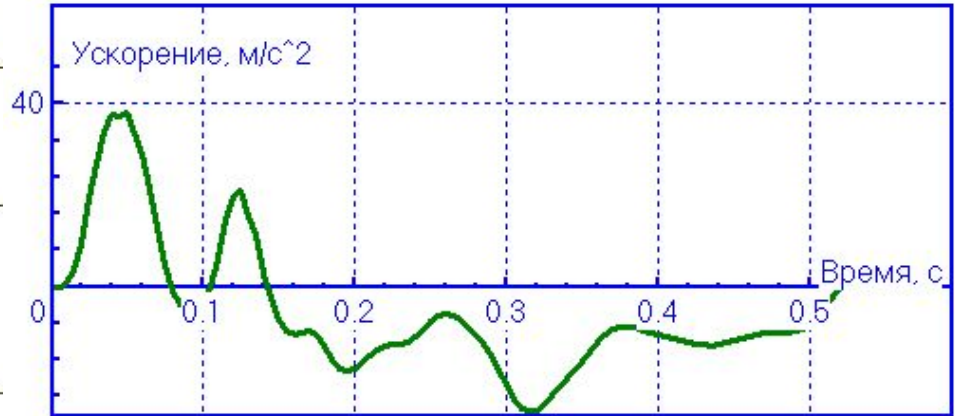
Макет грохота



Модель макета грохота. Трехмерная модель в КОМПАС-3D предоставлена ЭЗТМ.



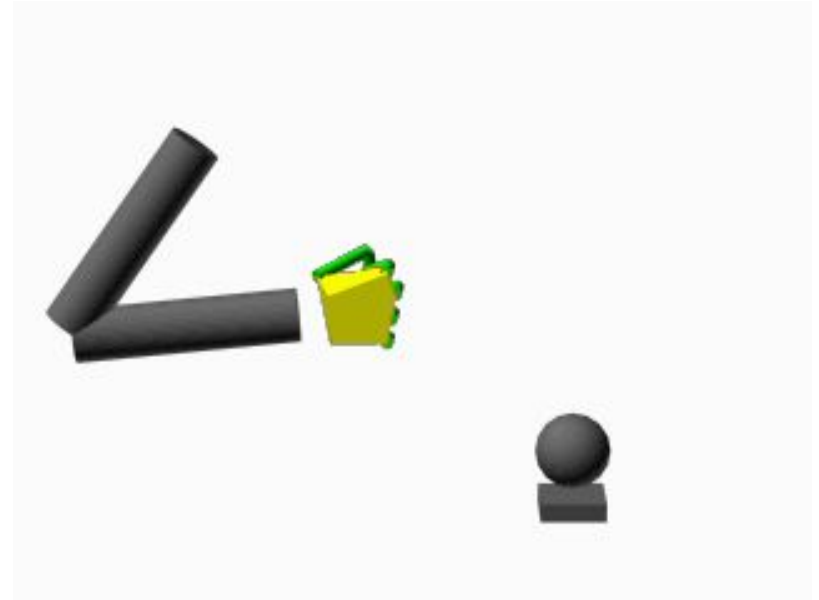
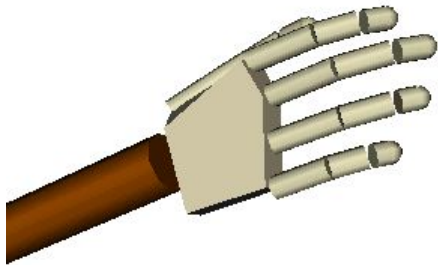
Максимальные ускорения в эксперименте: 4g



Запатентованная тросовая система виброзащиты, НИИ Автоматической Аппаратуры, Москва, 2007 г.

Кинематическое возбуждение из эксперимента

Манипулятор «Рука»



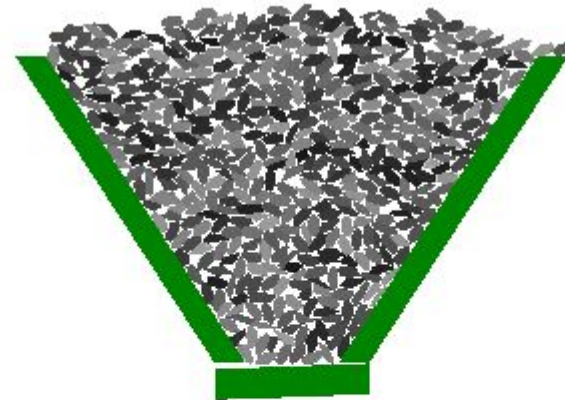
Разработчик: к.ф.-м.н. Селенский Е.Е.

Плоская модель гранулярной среды

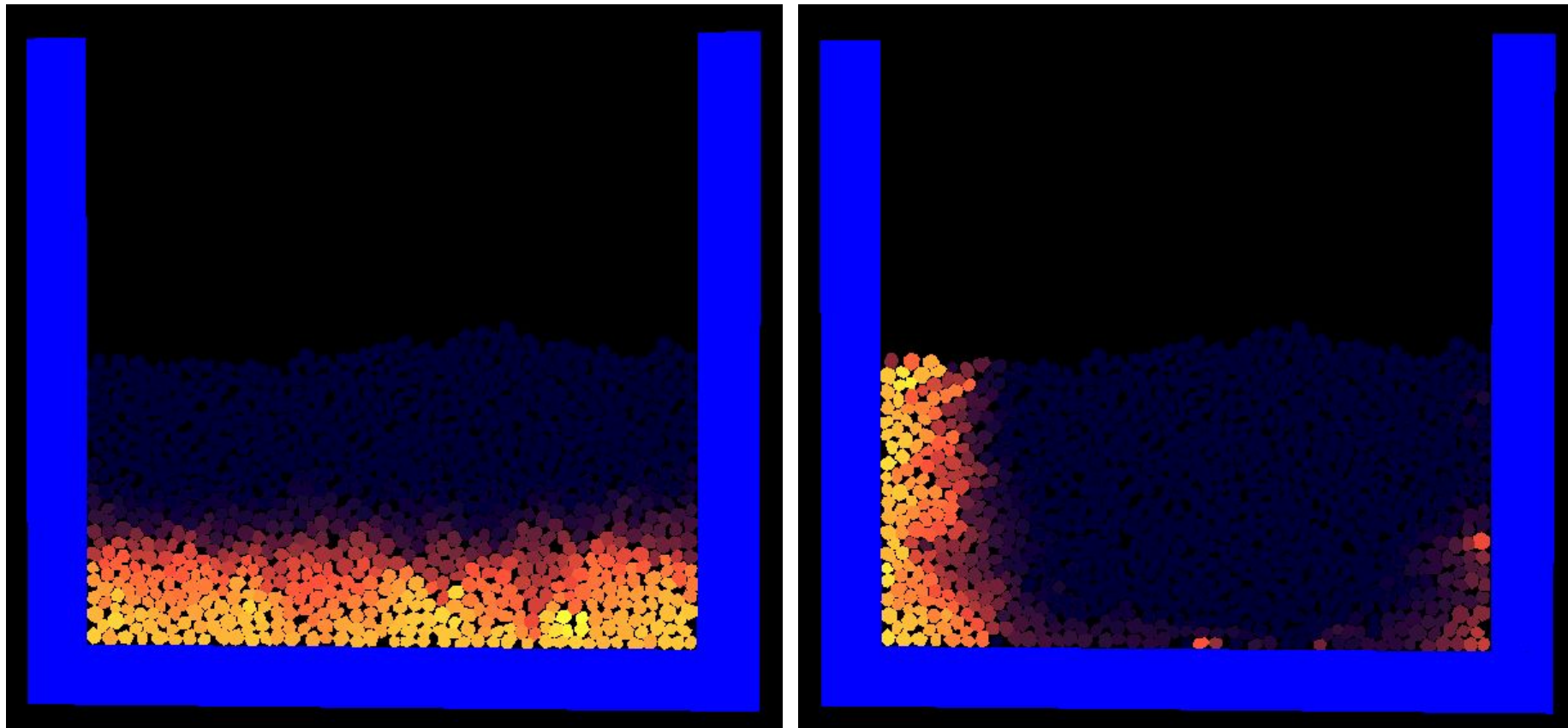
Моделирование гранулярной среды включает:

- создание частиц с учетом статистики;
- заполнение заданного объема;
- уплотнение.

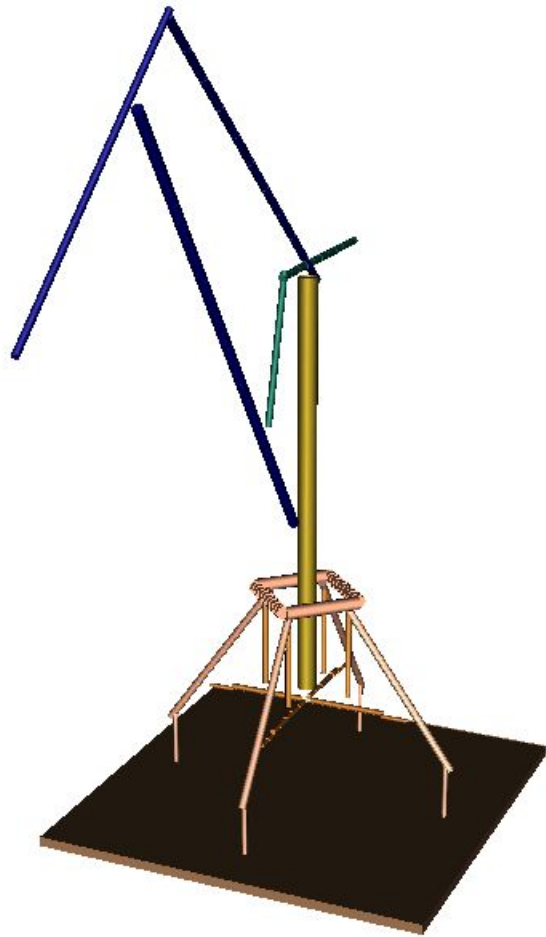
Разгрузка хоппера



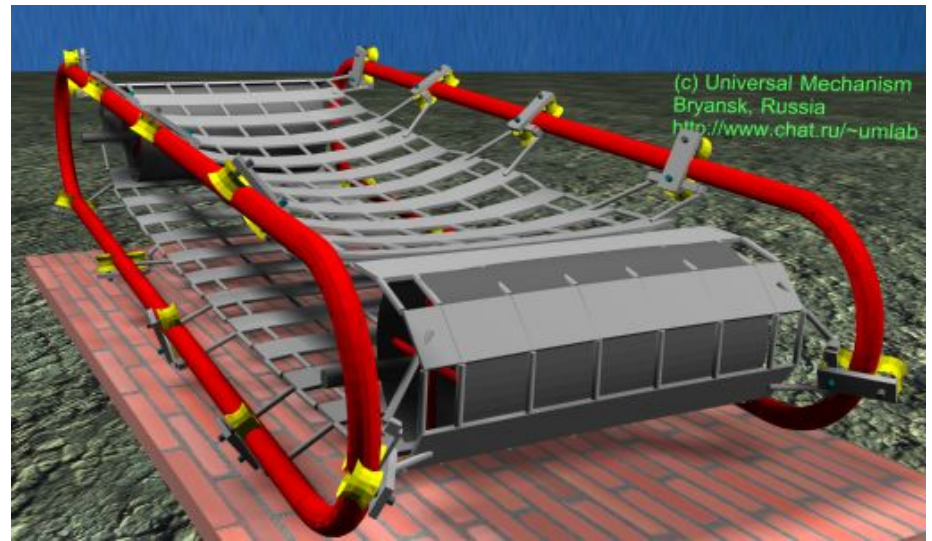
Виброуплотнение



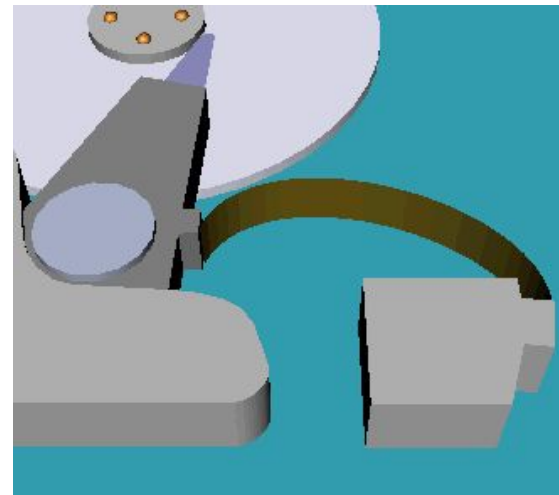
Моделирование упругих тел



Портовый кран: первая
собственная форма
Более 200 твердых тел

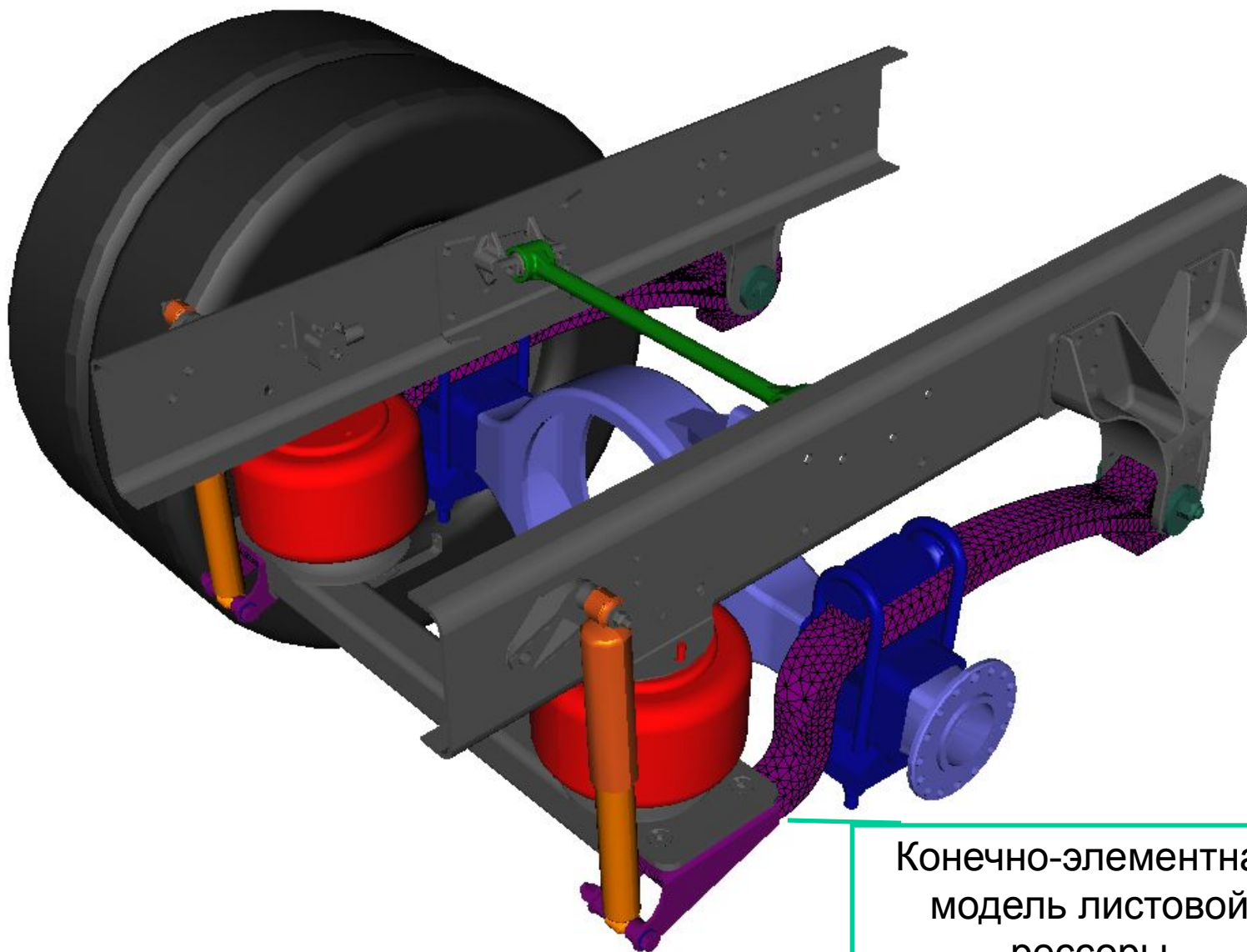


Ленточный конвейер
(202 тела, 495 степеней свободы)



Динамика упругого кабеля

UM FEM: Гибридная модель подвески грузовика

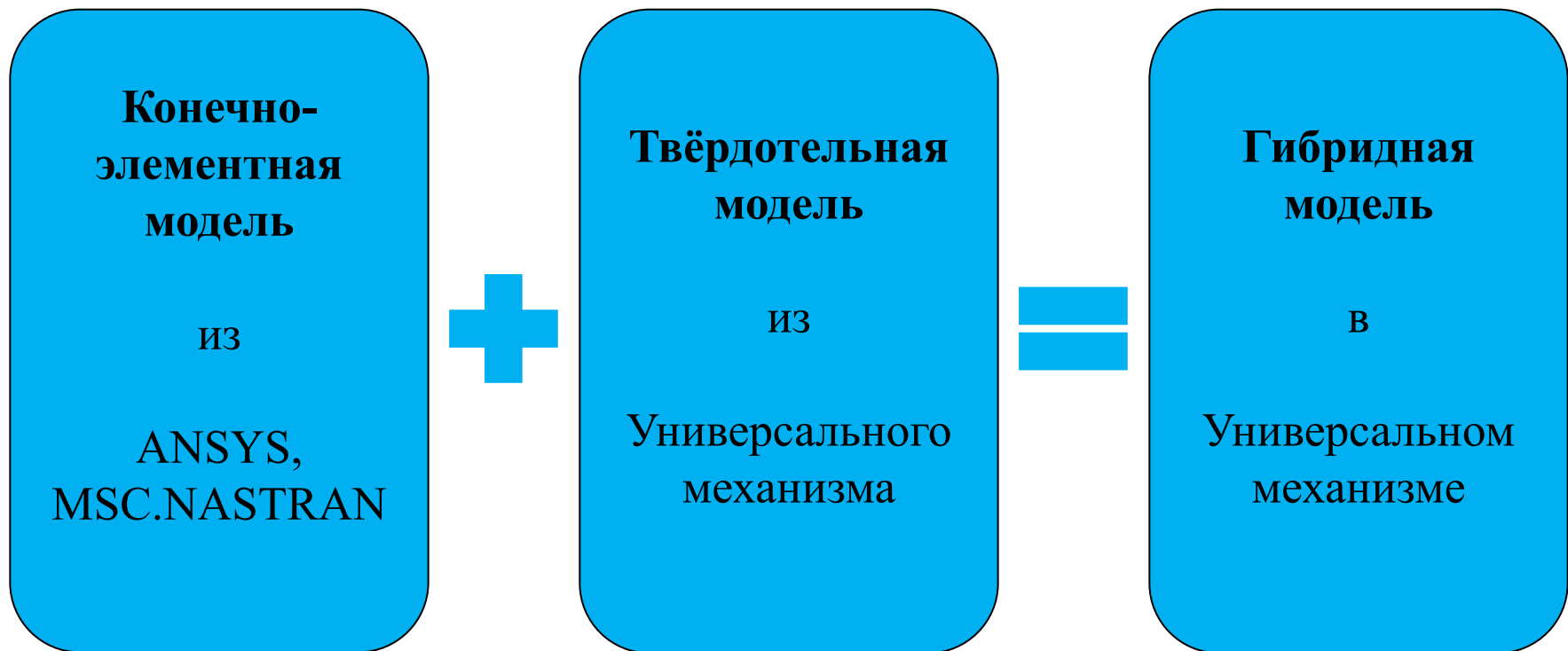


Конечно-элементная
модель листовой
рессоры

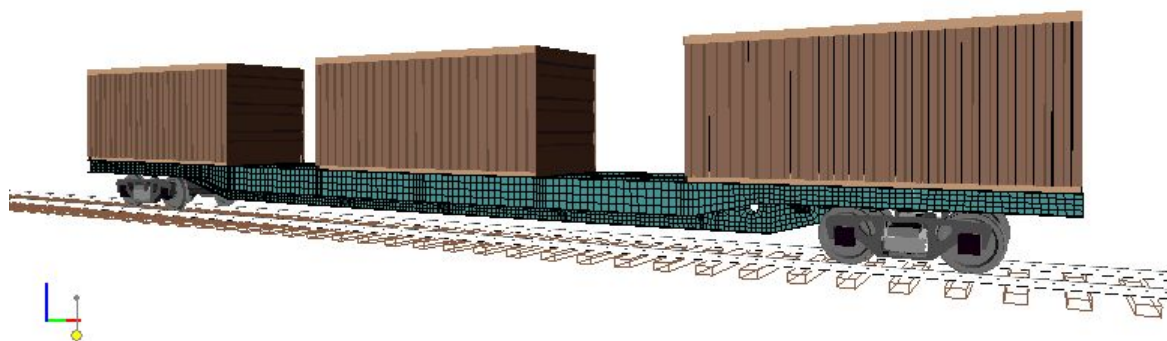
По заказу Hendrickson Pacific Ltd.

Моделирование гибридных систем (систем твёрдых и упругих тел)

Импорт динамических и статических форм из МКЭ-программ
(ANSYS, MSC.NASTRAN)



Моделирование гибридных систем Импорт динамических и статических форм из МКЭ-программ (ANSYS, MSC.NASTRAN)



- Примеры моделирования
- Механическая система как объект моделирования
- Создание моделей
- Анализ динамики моделей
- Верификация программного комплекса

Порядок создания и исследования модели

1

Исходная механическая система

2

Формирование исходных данных и концепции модели

3

Формирование кинематической схемы модели

4

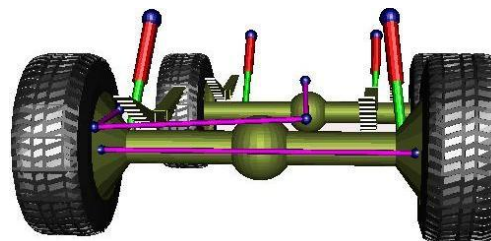
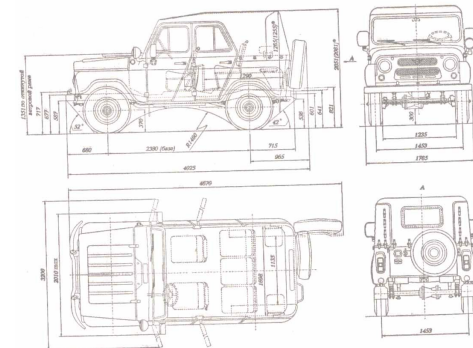
Формирование динамической схемы модели

5

Автоматический вывод уравнений движения

6

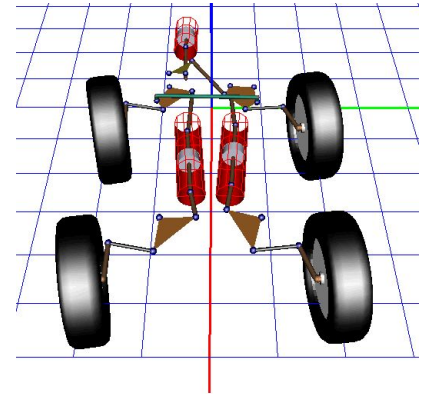
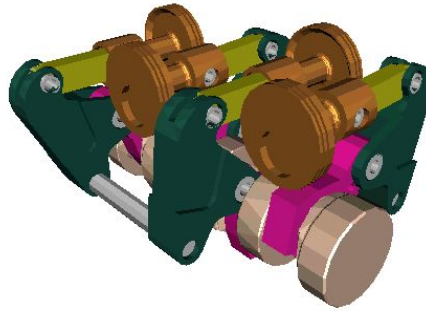
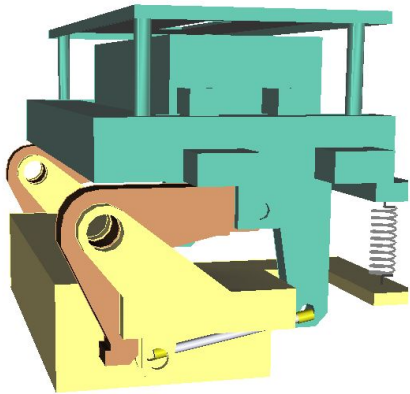
Исследование динамики модели



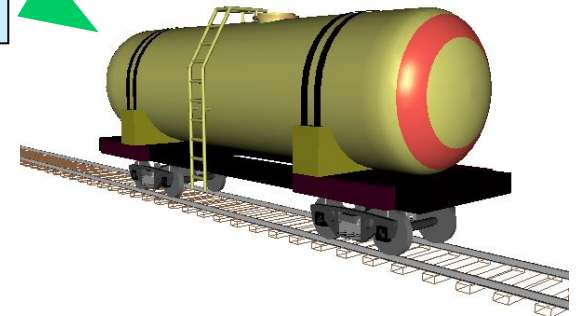
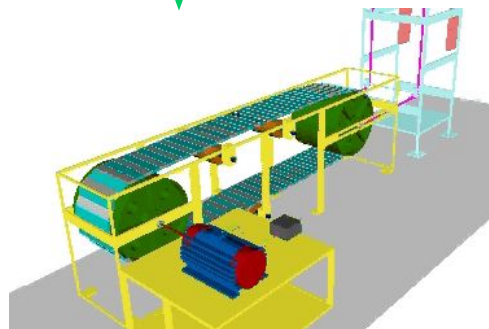
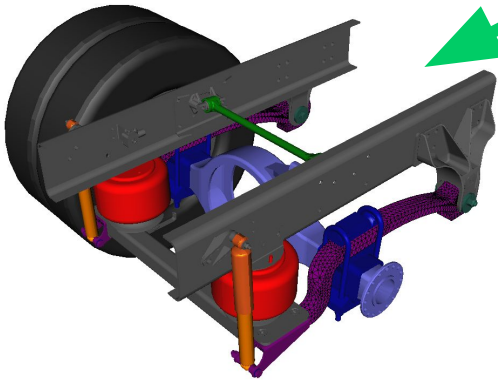
$$M(q)\ddot{q} + k(q, \dot{q}) = Q(q, \dot{q}, t)$$



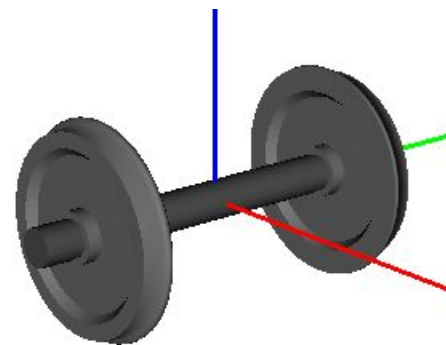
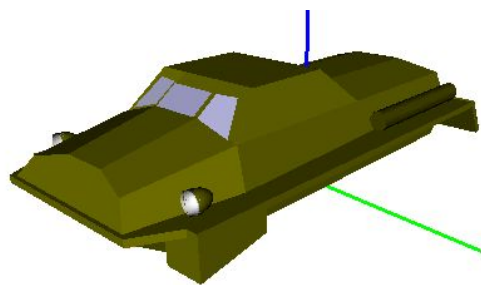
Механическая система как объект моделирования



Тела
+
Шарниры
+
Силовые элементы

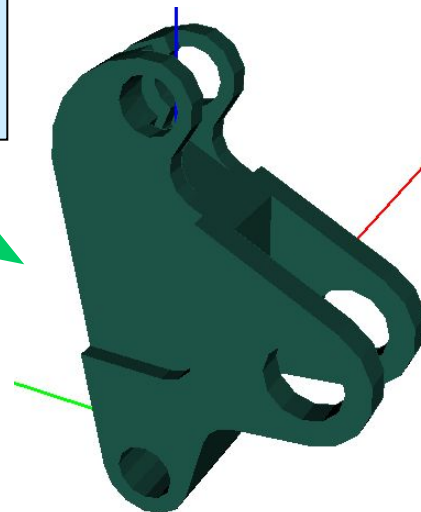
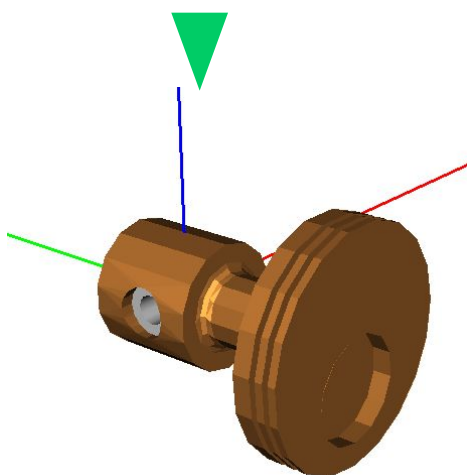
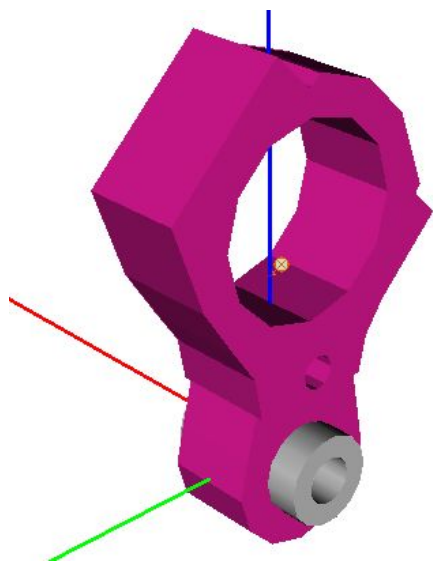


Твердые тела



Твердые тела:

- Графический образ
- Инерционные параметры

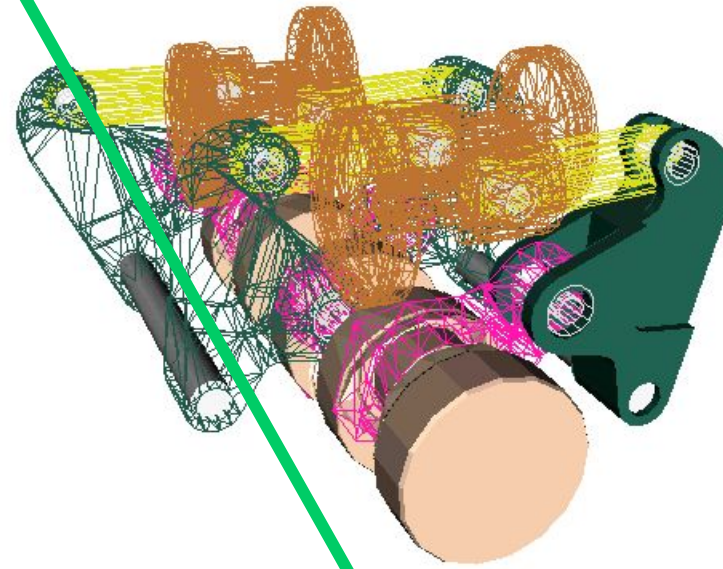
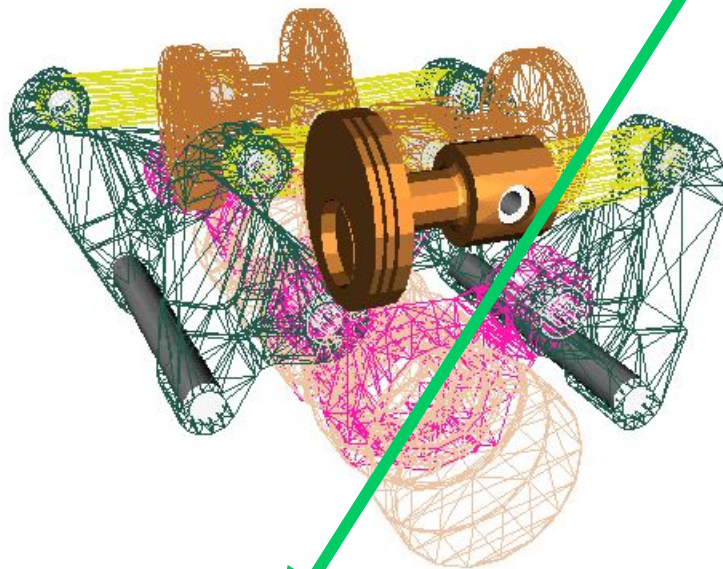


Шарниры

Шарниры

Поступательный

Вращательный



2 - 6 степеней
свободы

Стержень

Кватернионный

Силовые элементы



Сайлент-блок



Сайлент-блок



Пневмопружина



Демпфер

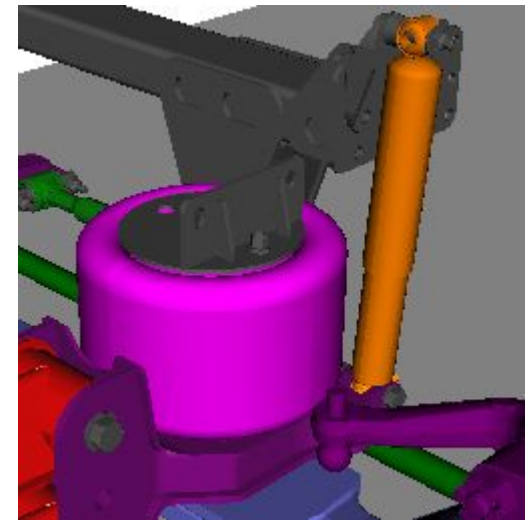
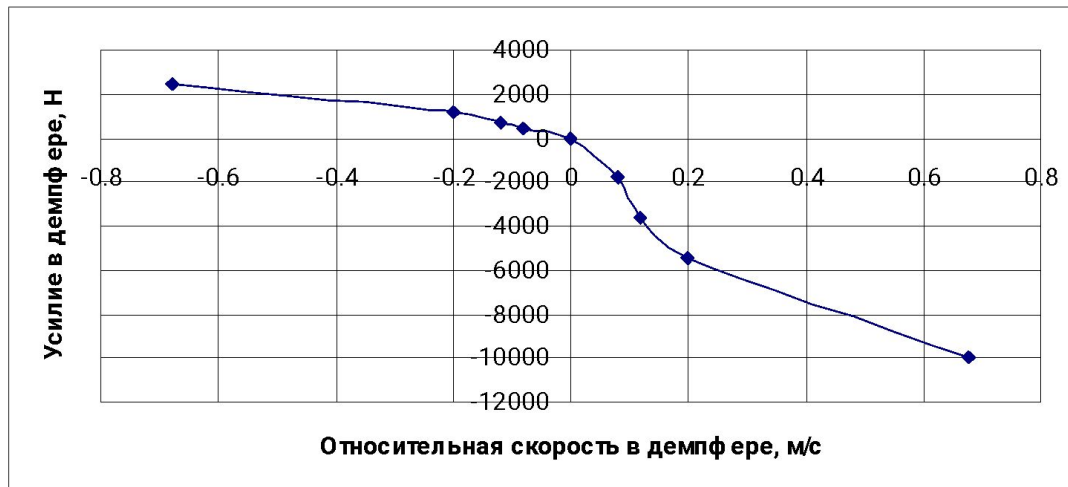


По заказу Hendrickson Pacific Ltd.

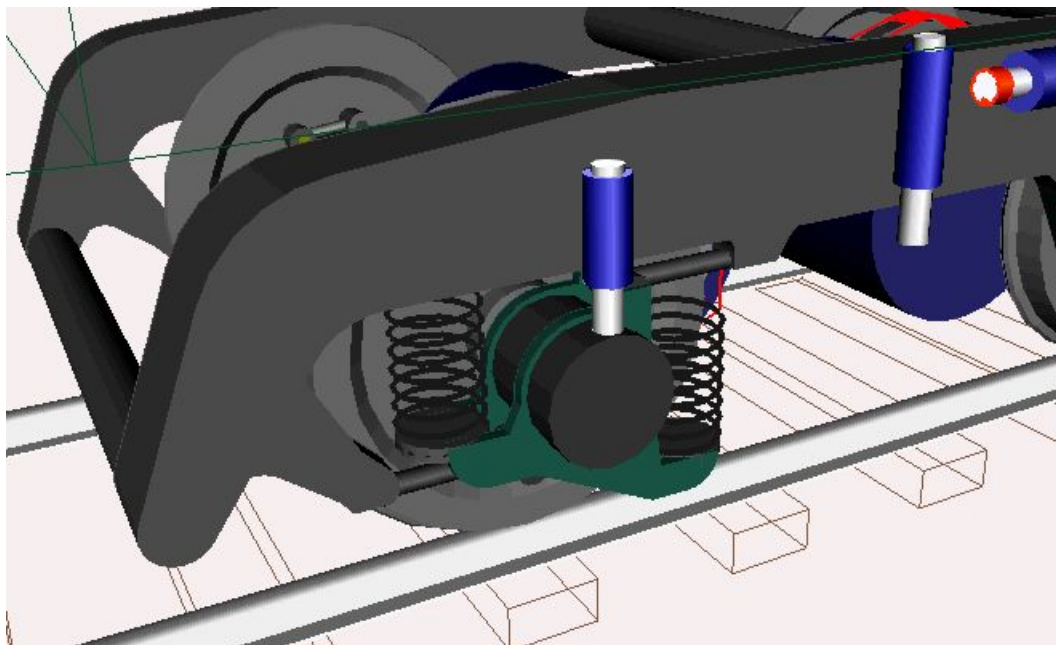
Пневмопружины



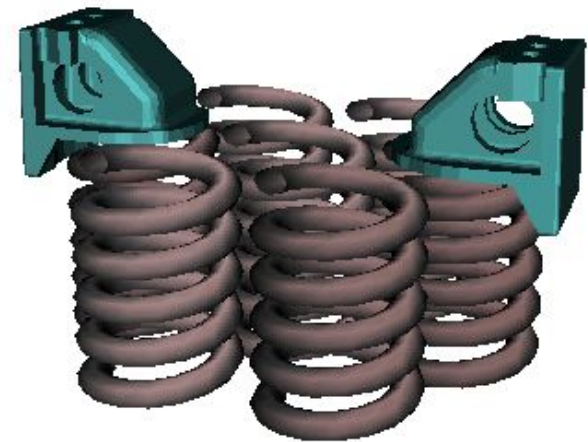
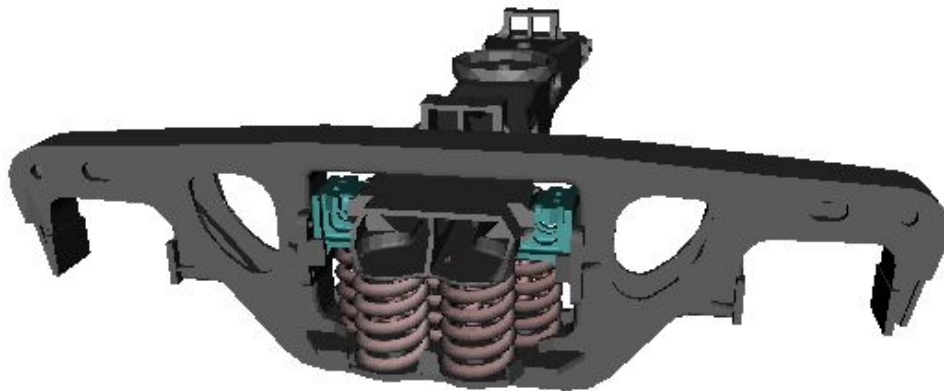
Демпферы



Линейный силовой элемент: пружины
Биполярный силовой элемент: демпферы, тяги и т.д.



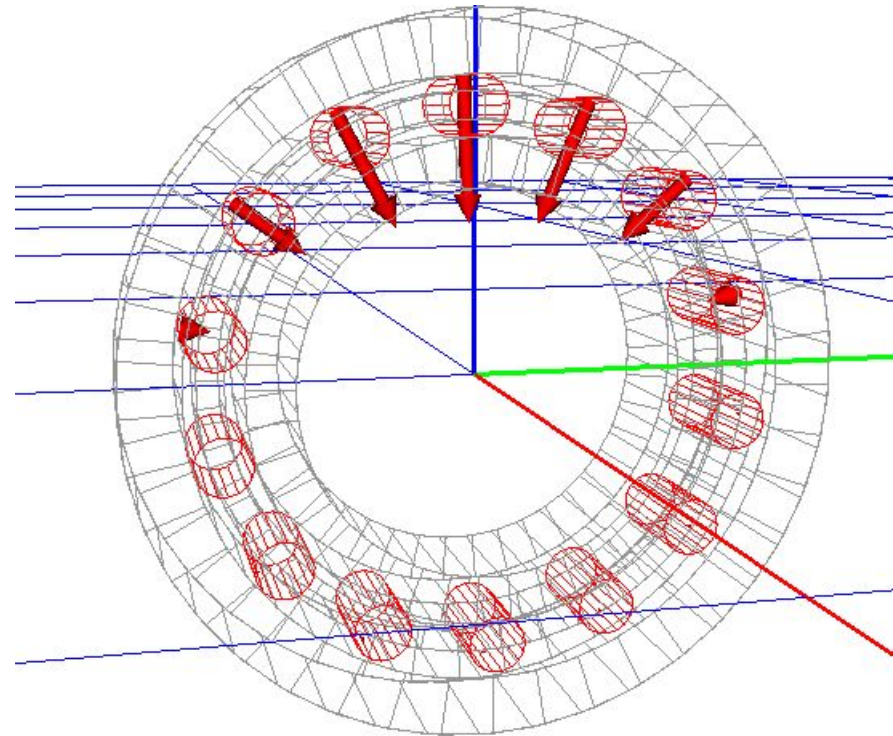
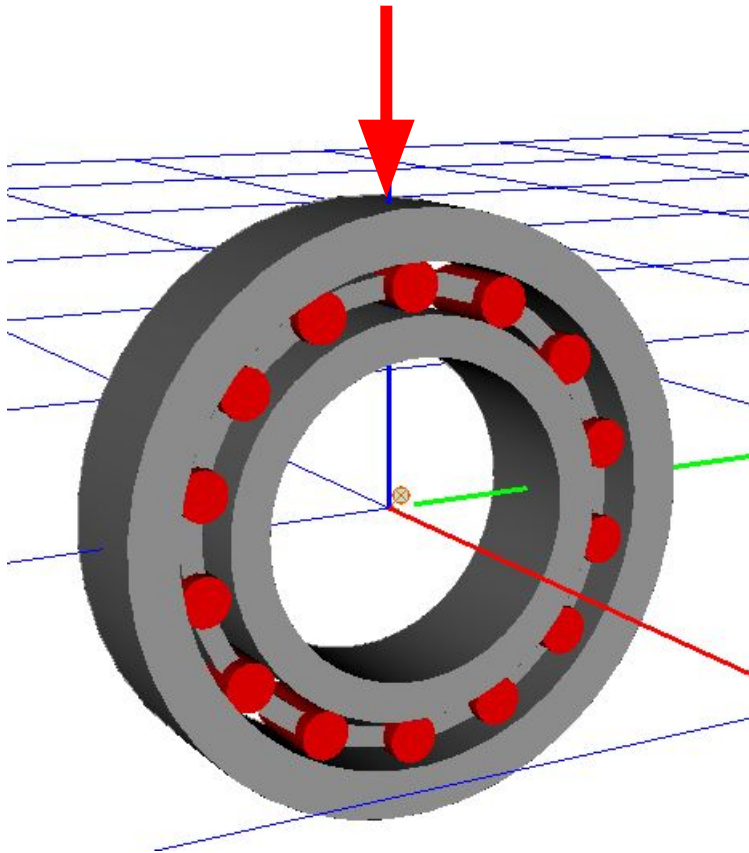
Контактные силы:
точка – плоскость, точка – Z-поверхность



Система фрикционного гашения трехэлементной тележки моделируется контактным взаимодействием между клиньями и надрессорной балкой и клиньями и боковой рамой

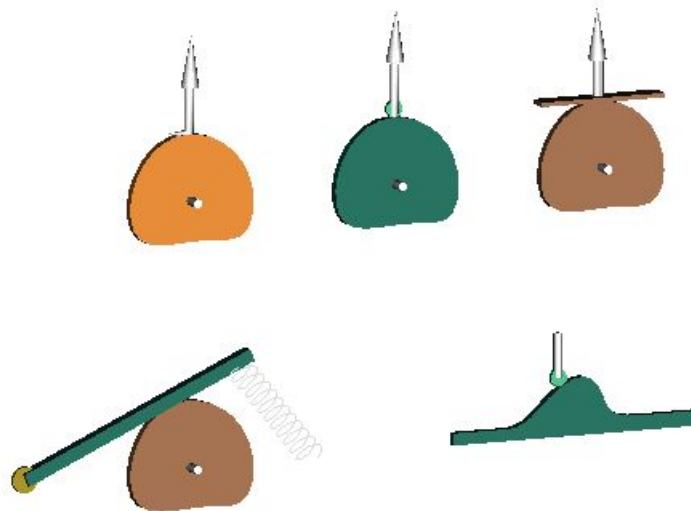
Контактные силы

Контактные силы: Окружность – Плоскость,
Окружность – Z-поверхность, Окружность – Цилиндр



Корпус подшипника под вертикальной нагрузкой

Специальные контактные силы: кулачки



Доступные типы кулачков

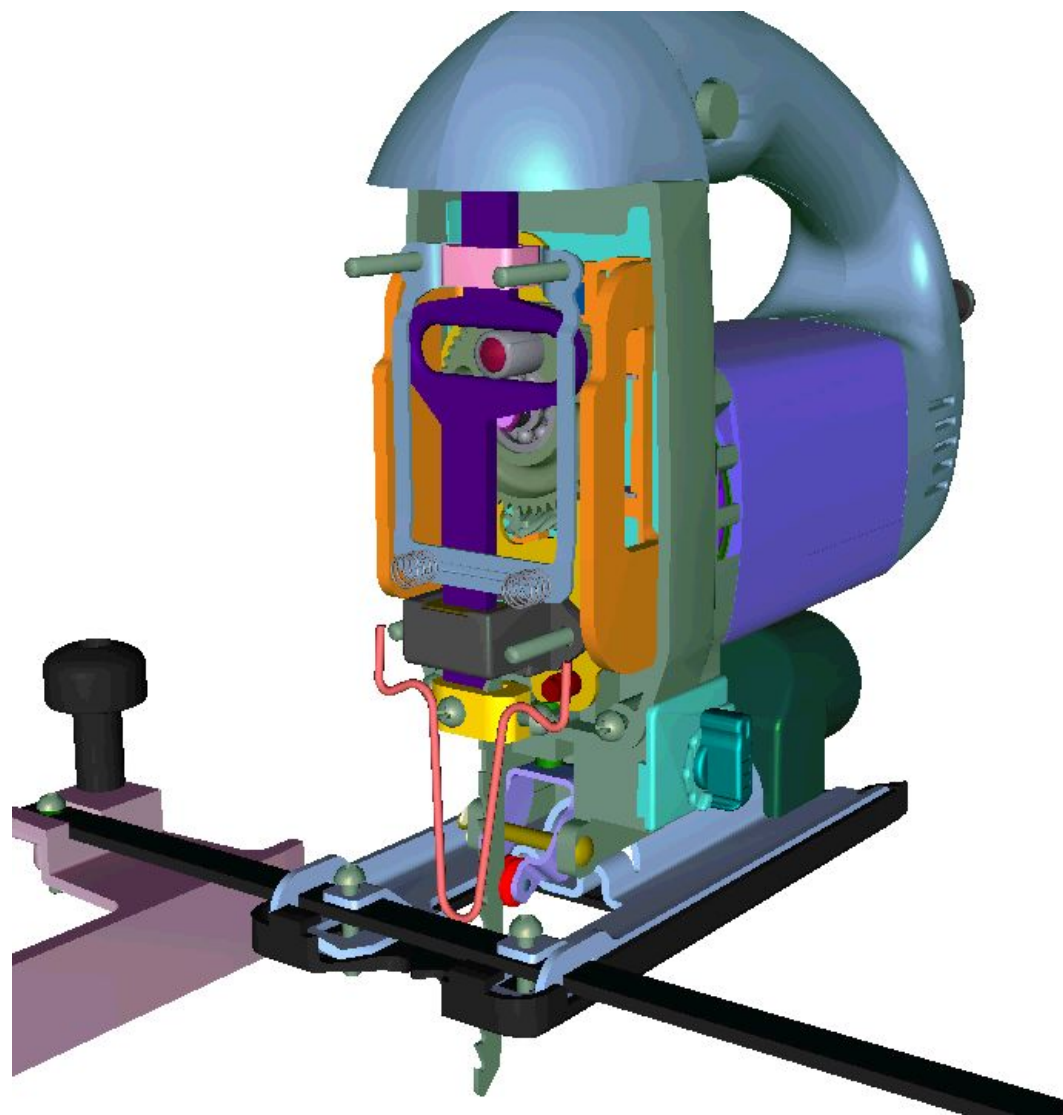
Интерфейс «Компас 3D – Универсальный механизм»

The screenshot displays the KOMPAS-3D V7 Plus software interface. The main window shows a 3D model of a mechanism with a blue and orange color scheme. The interface includes a menu bar (Файл, Редактор, Вид, Операции, Спецификация, Сервис, Окно, Справка, Библиотеки), a toolbar, and a main workspace. A panel on the left shows a tree view of the model's structure, including components like Шатун, Цилиндр, Втулка, and Шарниры. A central panel displays simulation parameters: "Время моделирования" (100.000), "Шаг представления результатов" (0.001), and "Погрешность" (1E-6). Below this, a "Графики" (Graphs) window shows a plot of a variable over time, with a y-axis labeled $\times 10^4$ and x-axis values 0, 0.4, and 0.8. A table below the graph lists kinematic data for various joints:

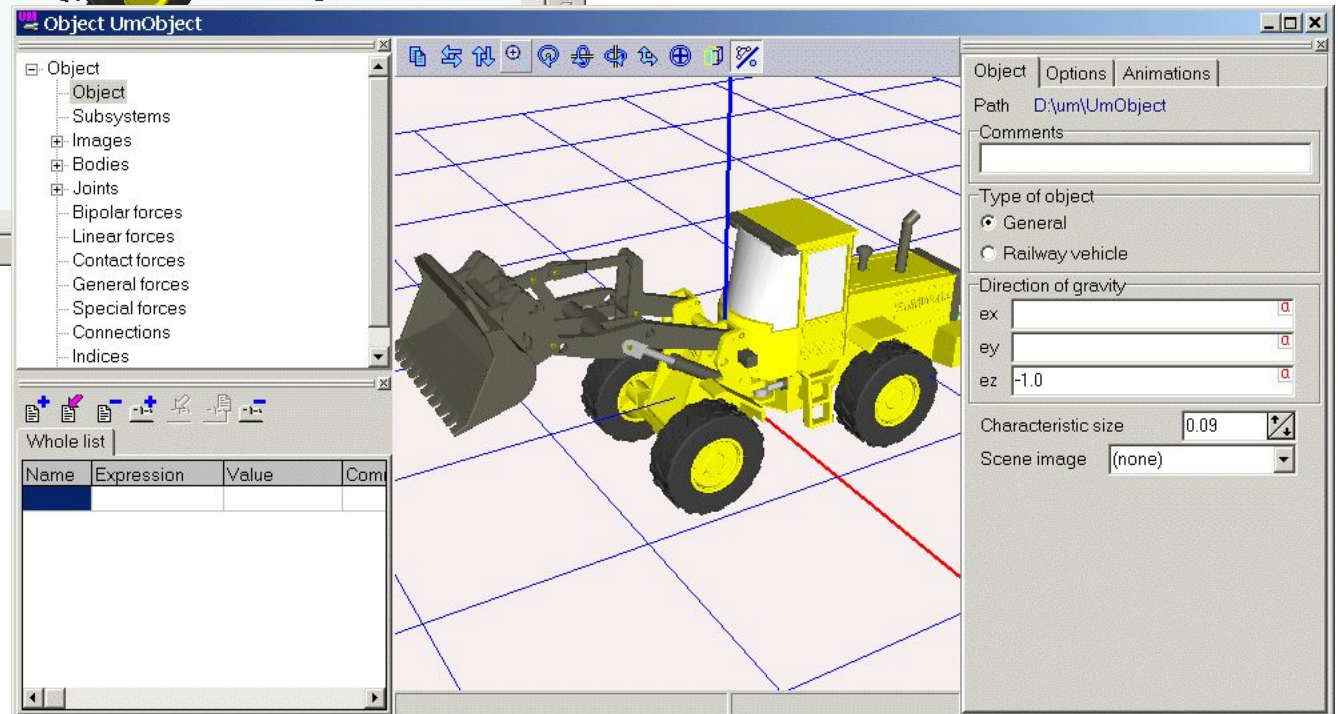
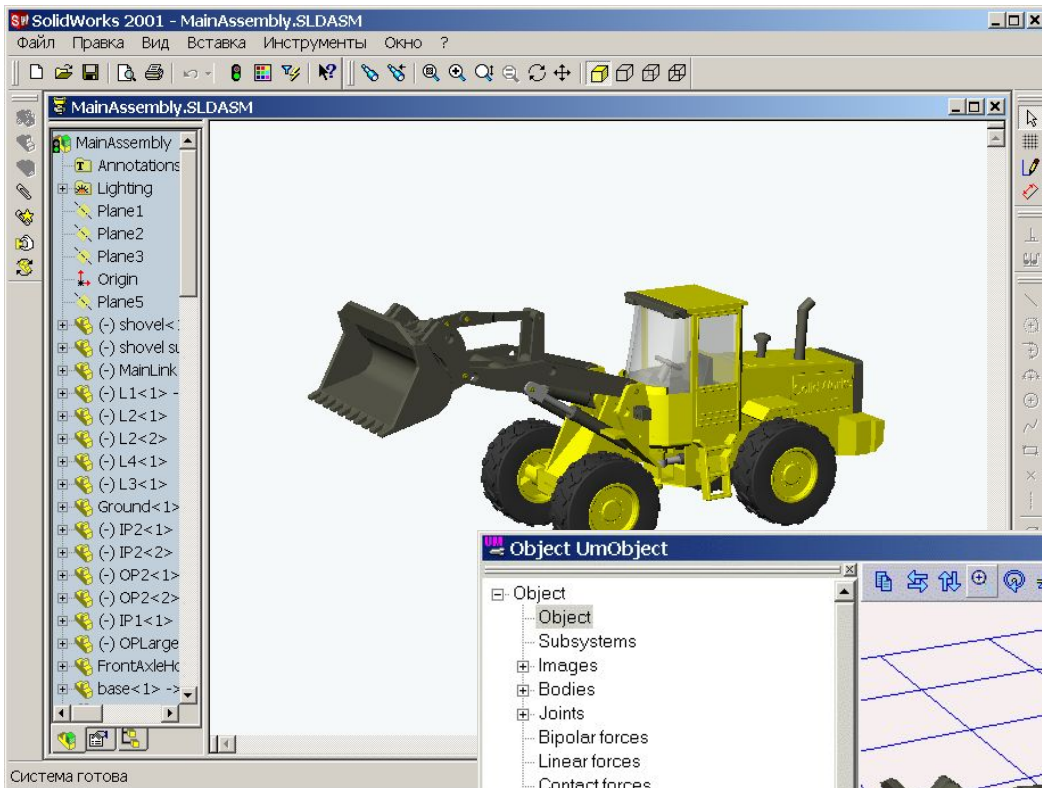
Переменная	Шарнир	Тип данных	Координат
Кинематика	jШатун->Щека пре	x	9 Transl.
Реакция	jЩека левая->Щек	v	5 Rotat.
Координата	jПоршень->Цилин	a	6 Transl.
	jЩека правая->Ци		
	jВтулка->Щека пр		

At the bottom, a "Менеджер библиотек" (Library Manager) window shows options for "Динамика с УМ" (Dynamics with UM), including checkboxes for "Динамический объект" (Dynamic object) and "Экспорт графики в УМ" (Export graph to UM). An "Анимационное окно" (Animation window) is also visible, showing a 3D model of the mechanism in a different configuration.

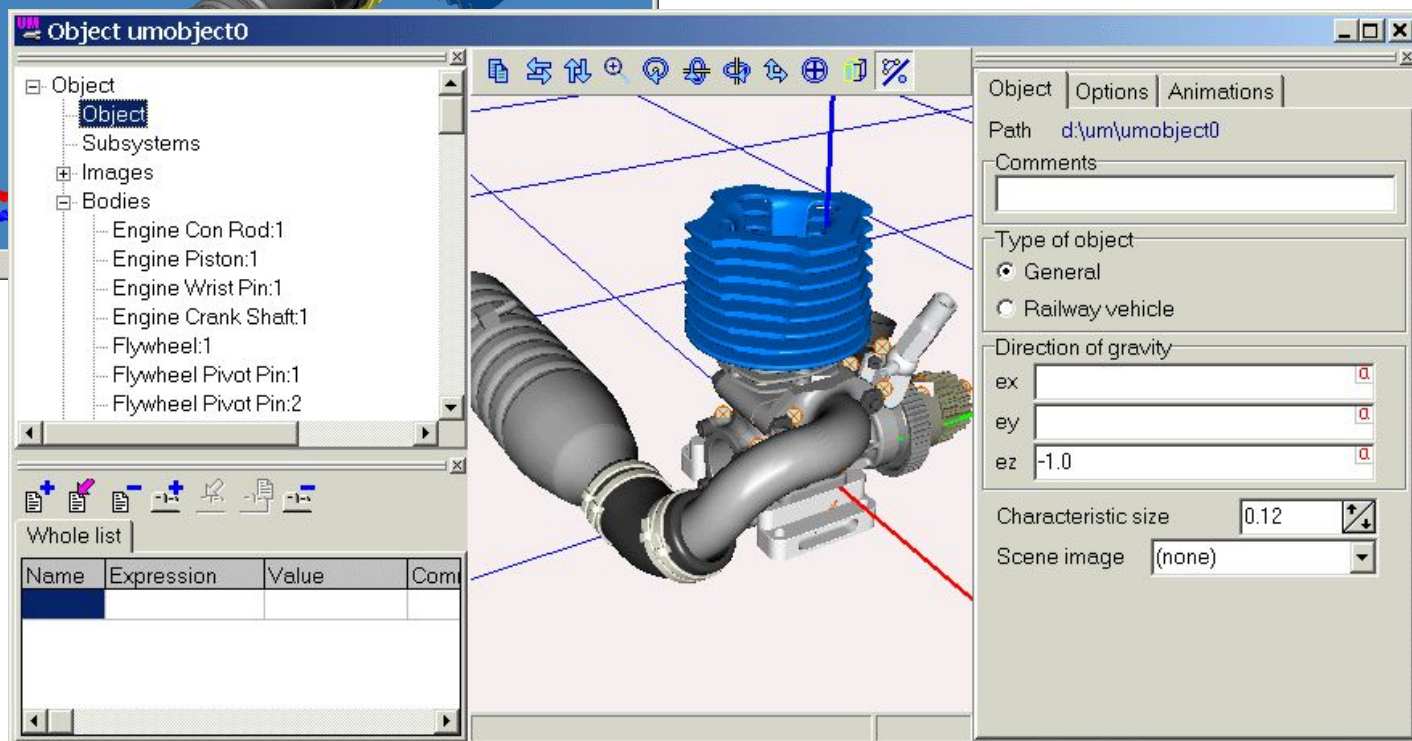
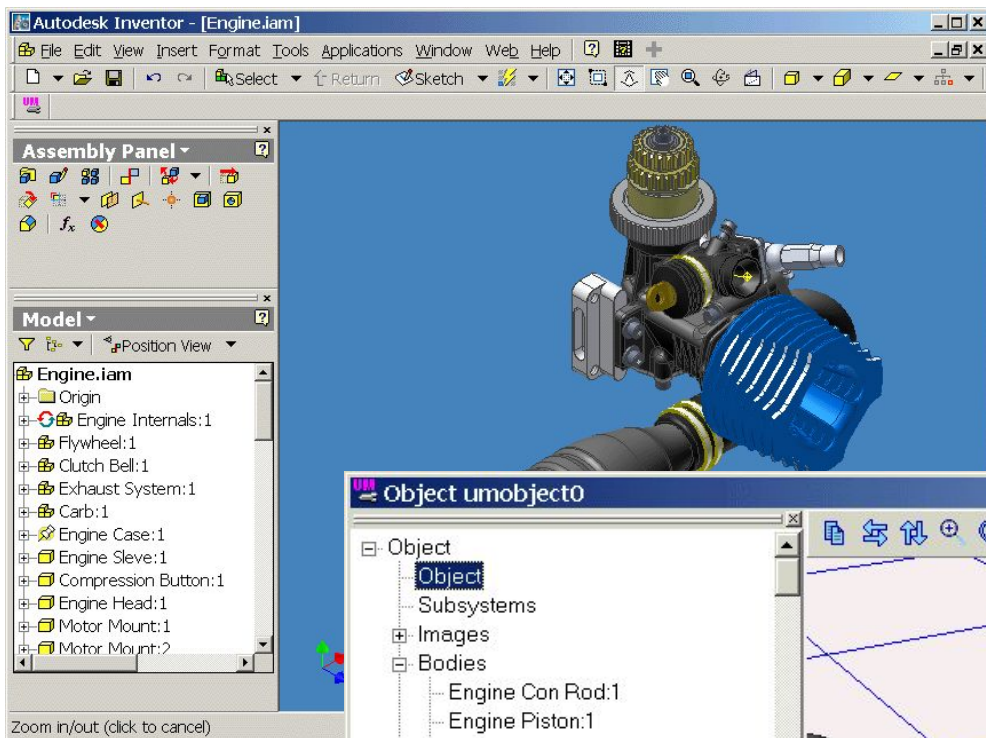
Лобзик
Динамическая
библиотека для САПР
КОМПАС
«Универсальный
Механизм - Express»



Интерфейс «SolidWorks – Универсальный механизм»



Интерфейс «Autodesk Inventor – Универсальный механизм»



Пример 1. Стабилизация перевернутого маятника

Задача: управляя силой F стабилизировать перевернутый маятник в вертикальном положении

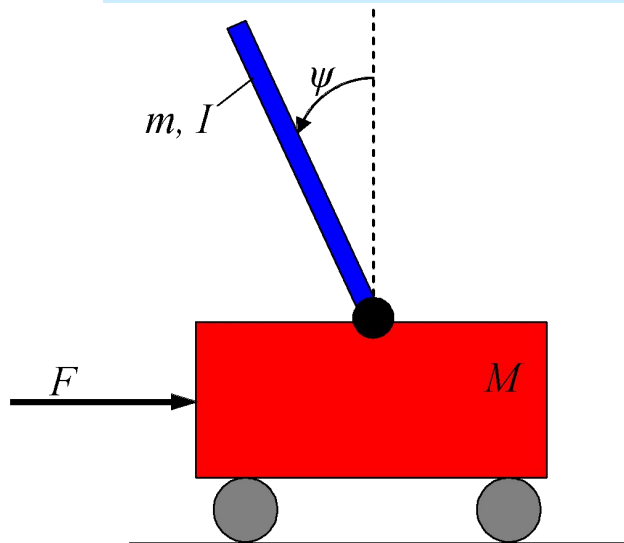


Схема модели

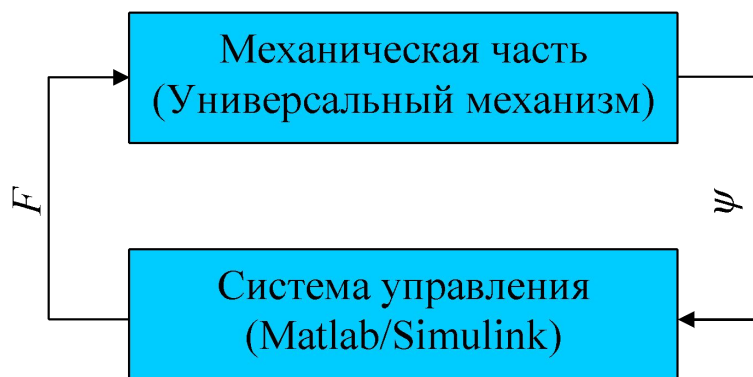
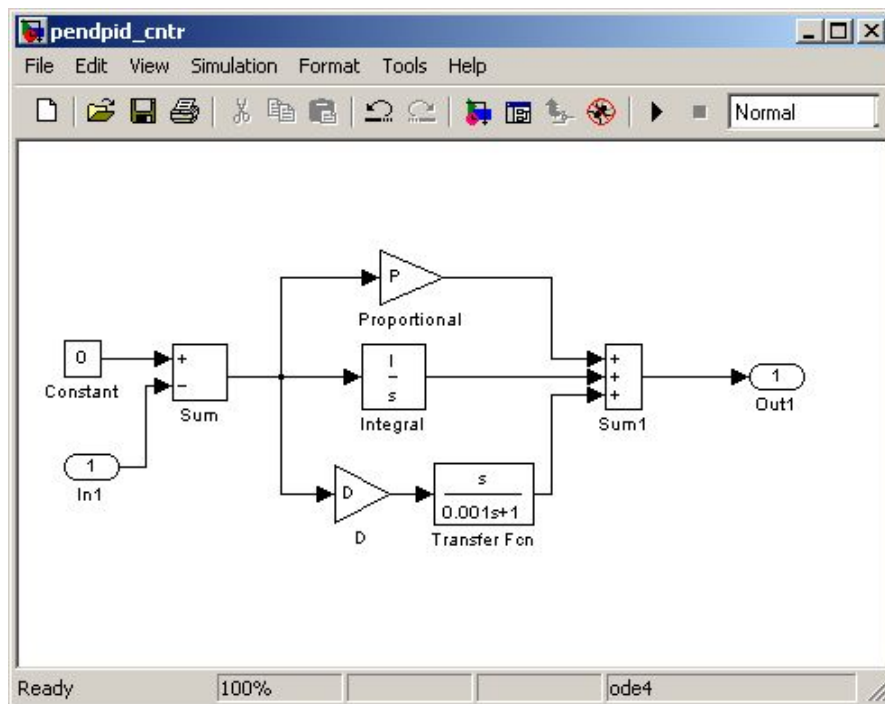
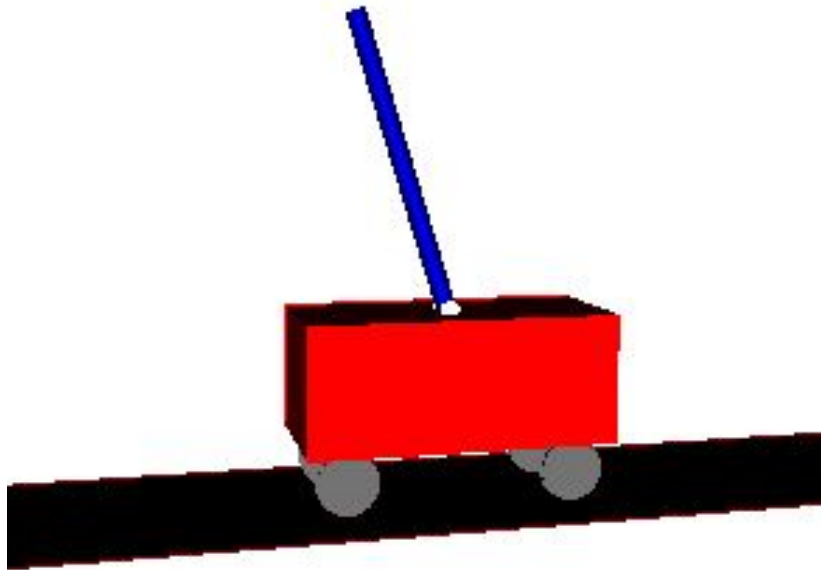


Схема передачи данных

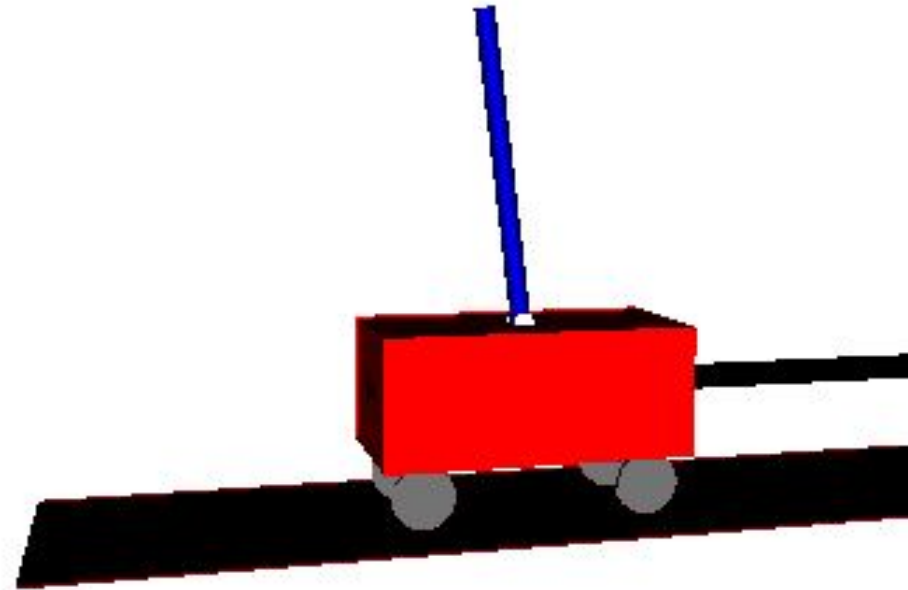


Модель системы управления в Matlab/Simulink

Пример 1. Результаты моделирования

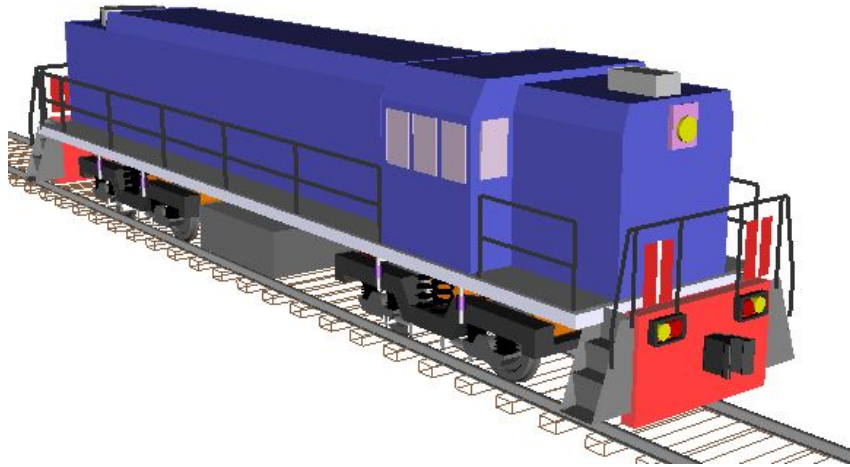


Неуправляемое движение

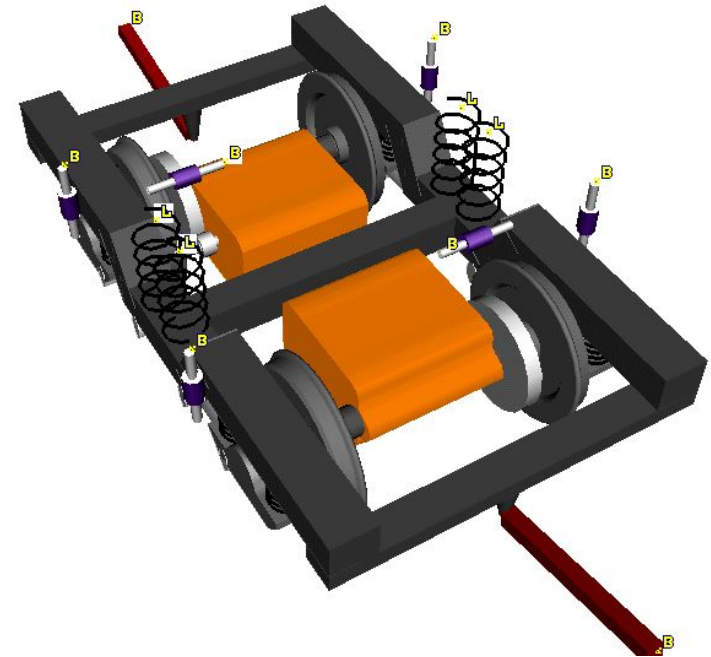


Управляемое движение

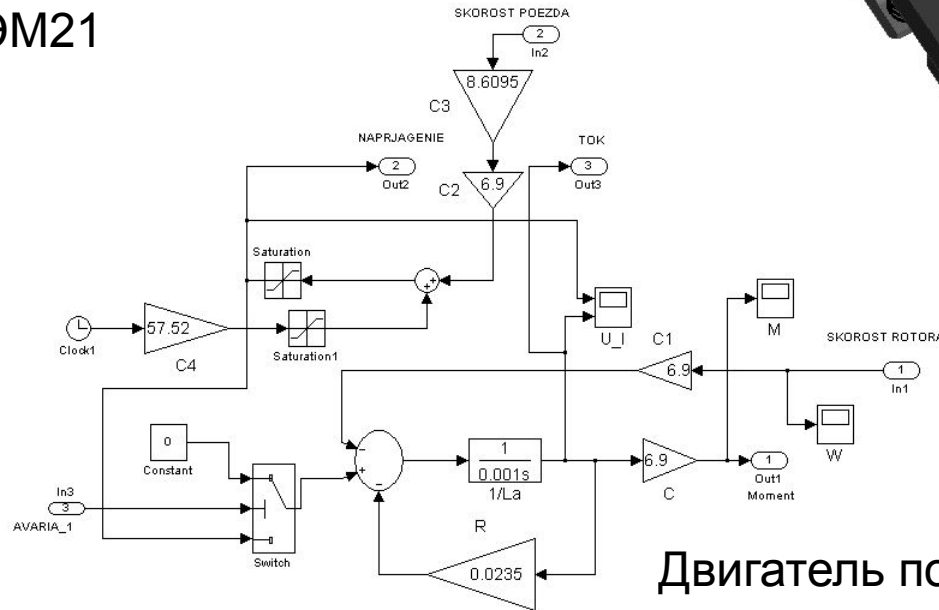
Пример 2. Тяговый привод маневрового локомотива



Локомотив ТЭМ21



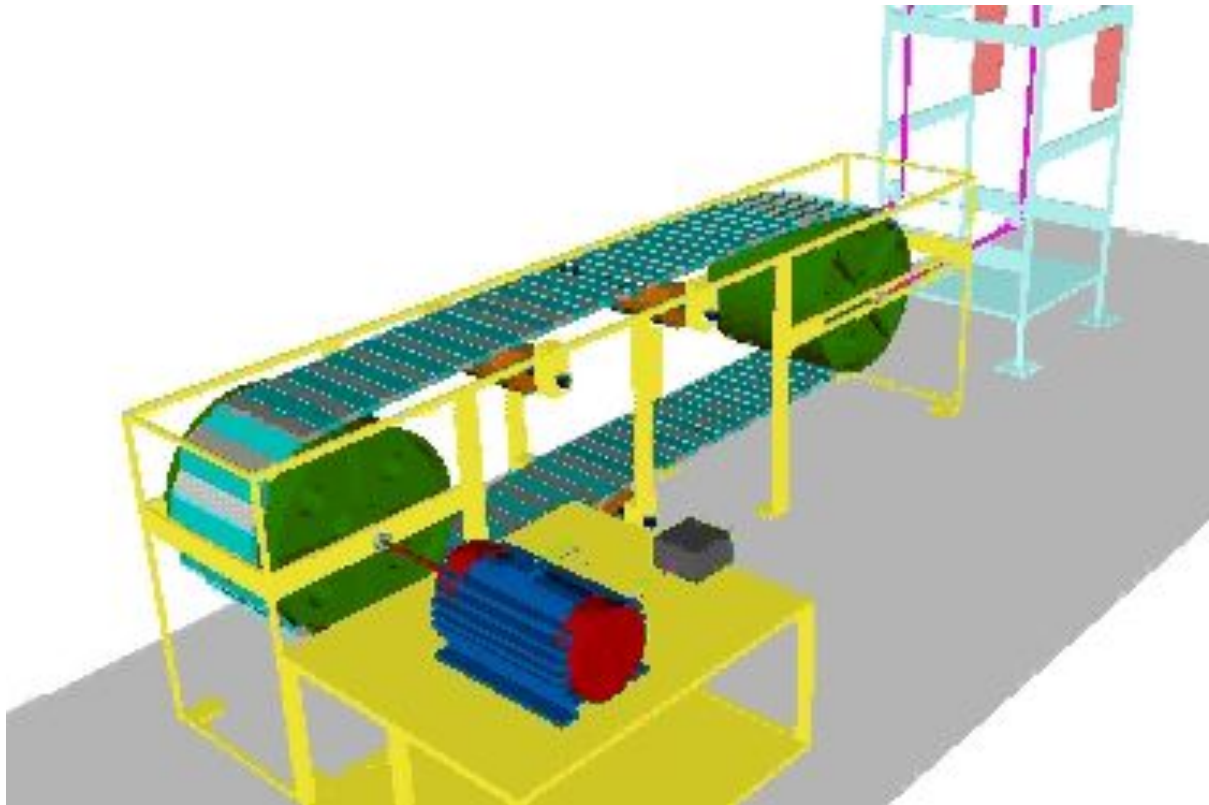
Тележка



Двигатель постоянного тока

Пример 3. Электропривод конвейера

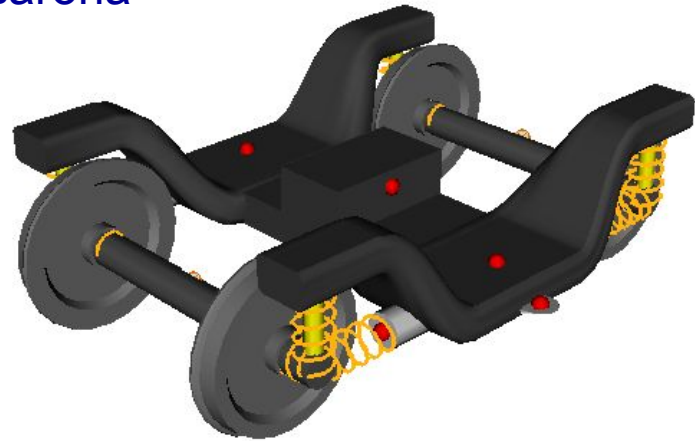
Автор – инж. Мясников А.А., каф. ПТМ, БГТУ



Плоская модель конвейера. Модель асинхронного двигателя импортирована из Matlab/Simulink.

Цель работы: исследование процесса пуска конвейера, оптимизация системы управления асинхронным двигателем

Модель пассажирского вагона



В центральную ступень подвески пассажирского вагона добавлен управляемый силовой элемент. Модель системы управления реализована в Matlab/Simulink.

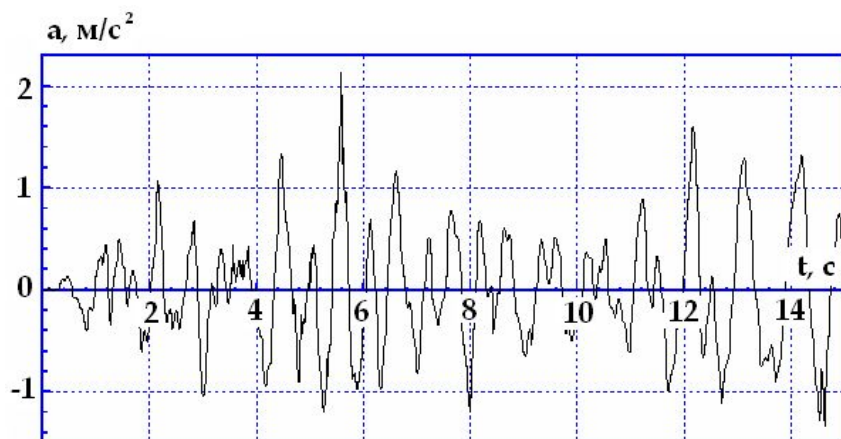
Разработал к.т.н. Буйвал А.К.

Схема передачи данных

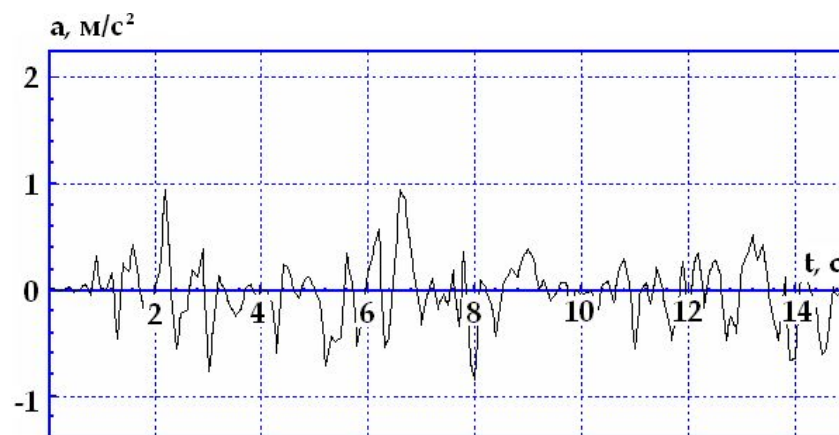


Ускорения пола кузова

Неуправляемая система



Управляемая система



- Примеры моделирования
- Механическая система как объект моделирования
- Создание моделей
- Анализ динамики моделей
- Верификация программного комплекса

Создание моделей: Модуль ввода

Список элементов

Список идентификаторов

Инспектор данных

Имя	Выражение	Значение	Ко
v0	20		
rpincouplir	0.06		
r1pincoupl	0.055		
lrod	3.07961		
cLocking	1.00000E+0005		

Шарнирные точки	
Truck	
-7.55	-0.6
Dolly	
0.7	0.426 0.7

Вид программы описания моделей

Автоматический синтез уравнений движения

Вывод уравнений в символьной форме и использованием встроенной системы компьютерной алгебры

Численно-итерационный метод

```
.....  
_Frc_Vctr[1] := _ap[3]*_ix+_ap[3]*_mass*_c2*  
_c3*_length*_length+_ap[3]*_mass*_c3*_length  
*_length-_ap[3]*_mass*_length*_length*  
_s2*_s3+_ap[3]*_mass*_length*_length-0.1634*  
_ap[3]*_mass*_c2*_c3*_length-0.1634*_ap[3]*  
_mass*_c3*_length+0.1634*  
_ap[3]*_mass*_length*_s2*_s3-0.3268*  
_ap[3]*_mass*_length+0.02669956*_ap[3]*_mass  
+2*_ap[2]*_ix+_ap[2]*_mass*_c2*_c3*  
_length*_length+2*_ap[2]*_mass*_c3*_length*  
_length+2*_ap[2]*_mass*_c2*_length  
*_length-_ap[2]*_mass*_length*_length*_s2*_s3  
.....
```

Элементы уравнений движения синтезируются на каждом шаге численного интегрирования

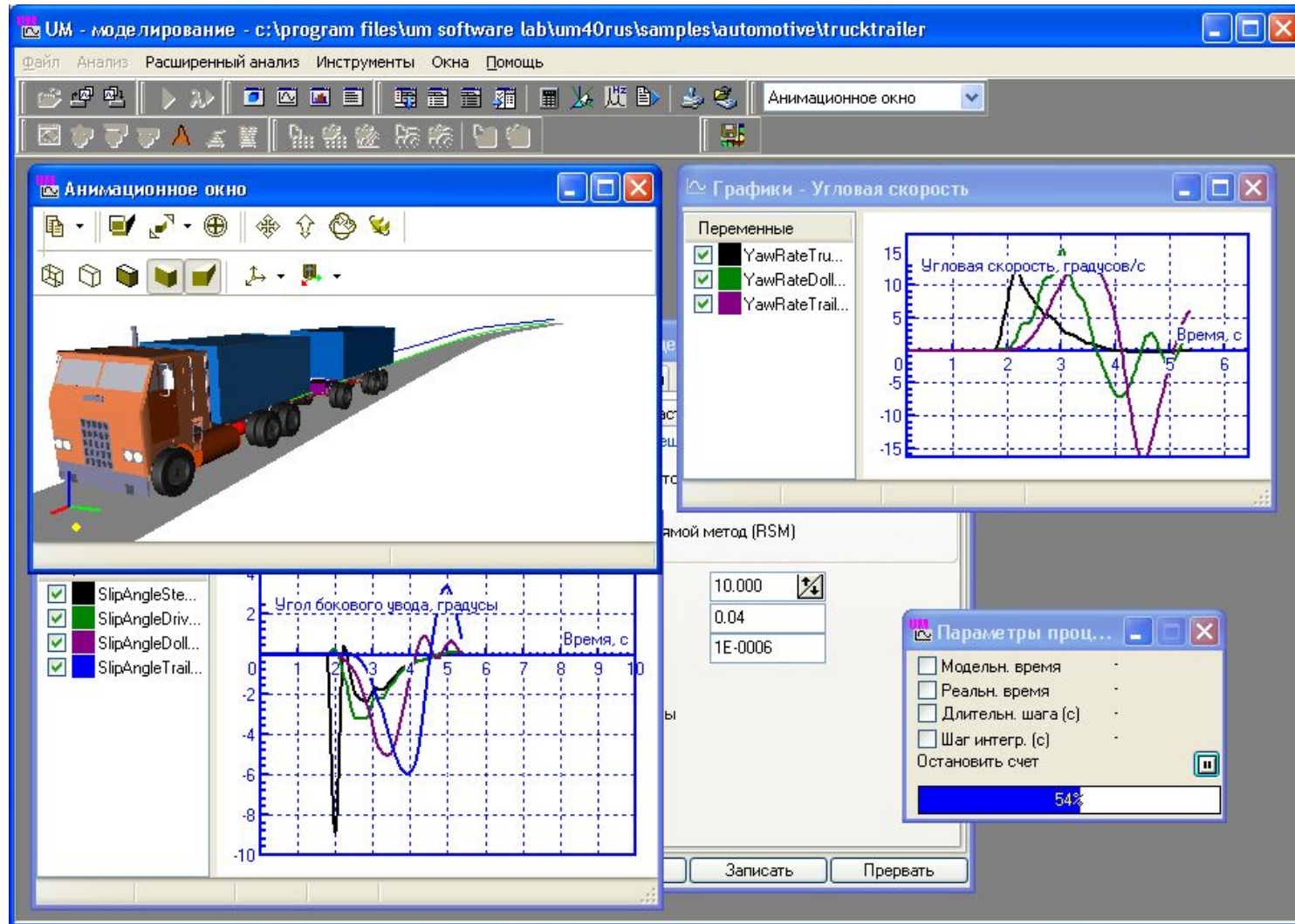
✓ Более широкие возможности

✓ Быстрота численного моделирования

Синтез уравнений движения в символьной форме и последующая компиляция в DLL – это одна из причин того, что УМ быстрее аналогов

- Примеры моделирования
- Механическая система как объект моделирования
- Создание моделей
- Анализ динамики моделей
- Верификация программного комплекса

Анализ динамики моделей

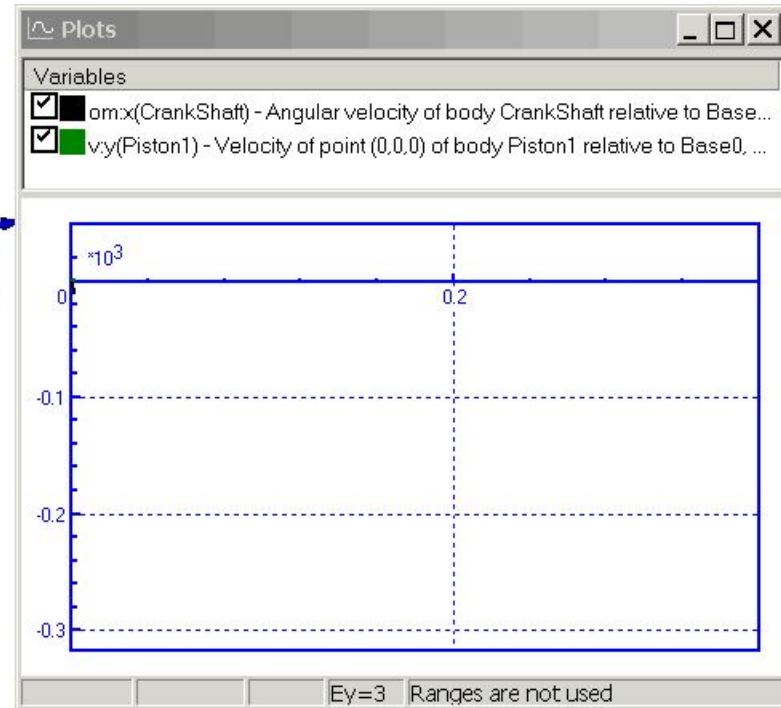
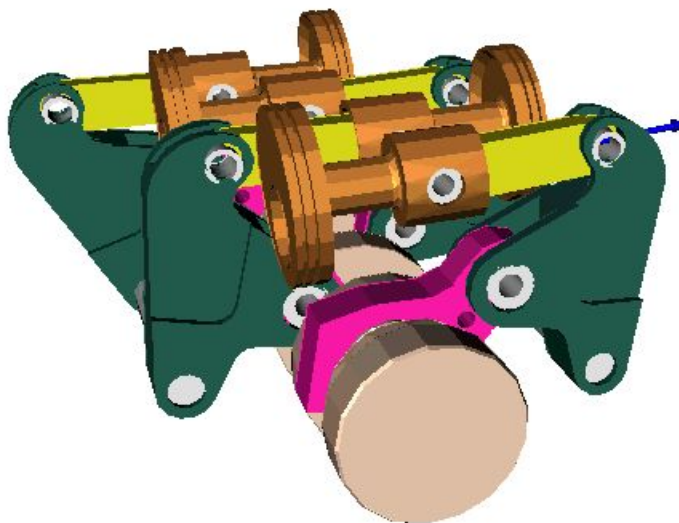


Вид программы моделирования

✓ Любое число анимационных и графических окон

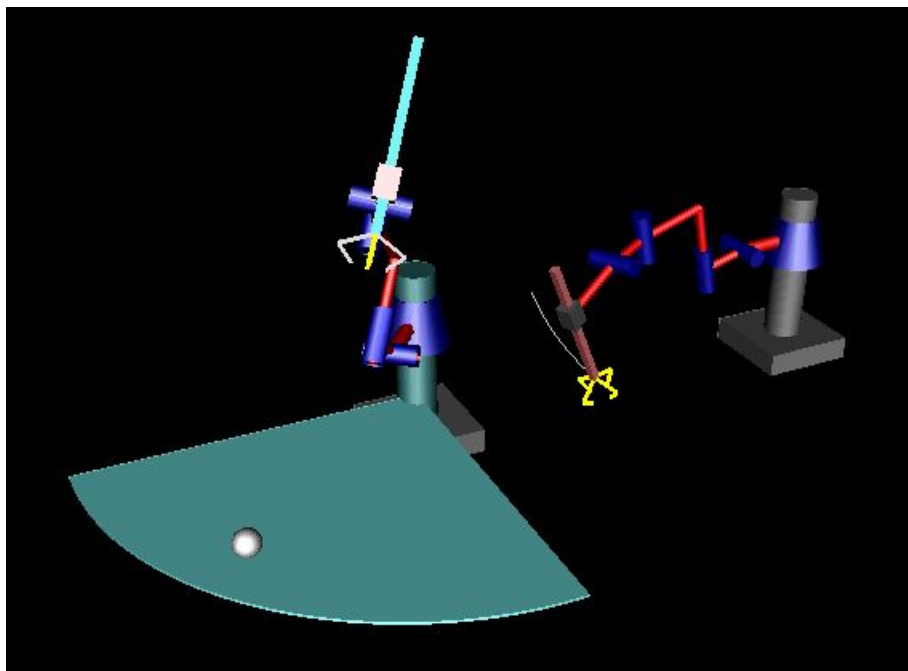
Непосредственное представление результатов

- 3D анимация движения системы;
- 3D анимация векторов (силы, скорости, ускорения и т.д.);
- 3D анимация траекторий;
- графики (координаты, скорости, ускорения, активные силы и т.д.)



Двигатель: прямая задача динамики

Решение прямой и обратной задачи кинематики

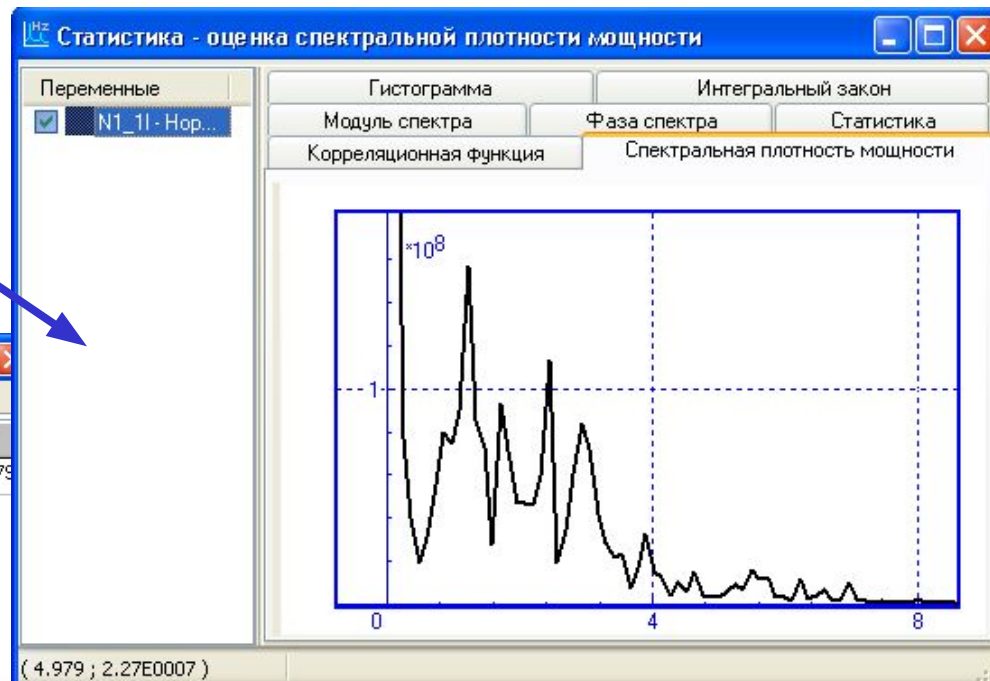


Анимация движения и траекторий

Анализ переменных (динамических показателей)

Каждая переменная может быть обработана с помощью

- Табличного процессора
- Статистического анализатора



Процессор переменных

Табличный процессор | Преобразование переменных

	Ampl	Integral	LastOrdinate	Max	Mean
N1_11 - Норм...	47635.984	2270981.5	151645.19	181018.38	133579

Integral

LastOrdinate

Max

MaxAbs

Max_Min

Max_Min_2

Mean

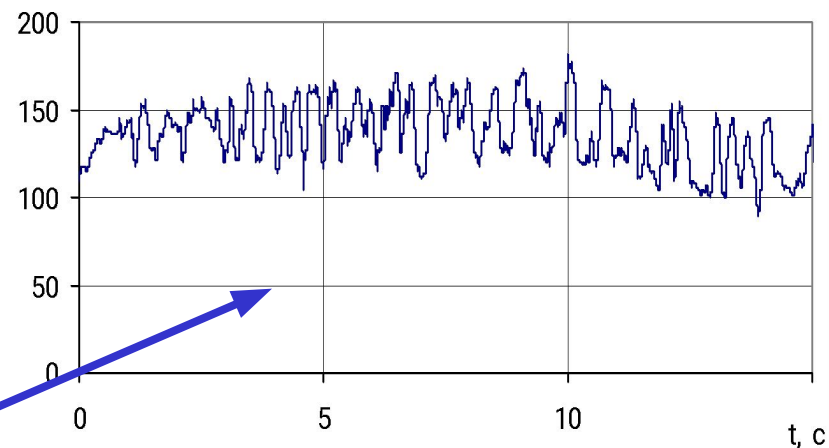
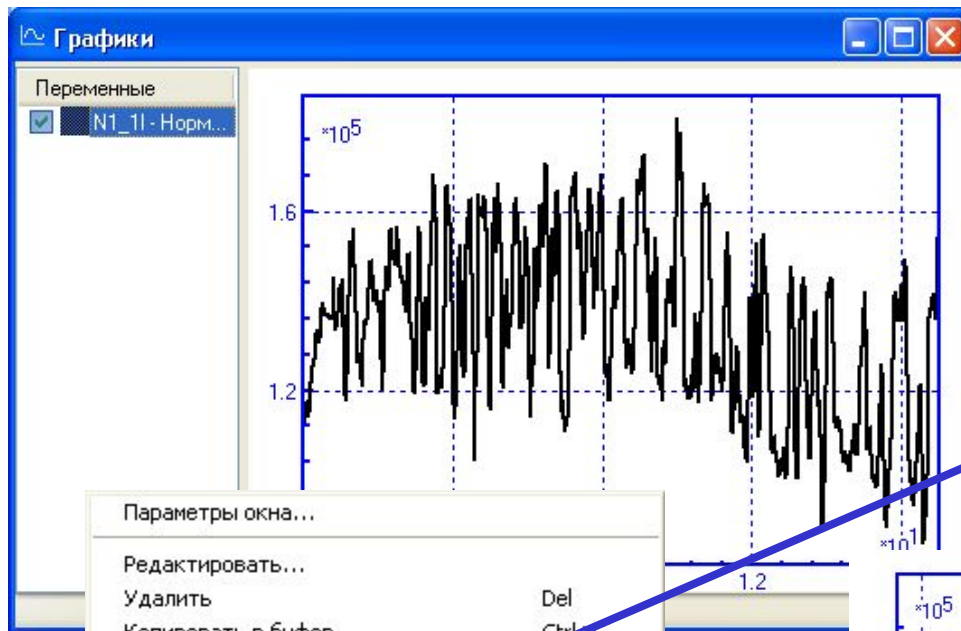
Mean_plus_3RMS

Min

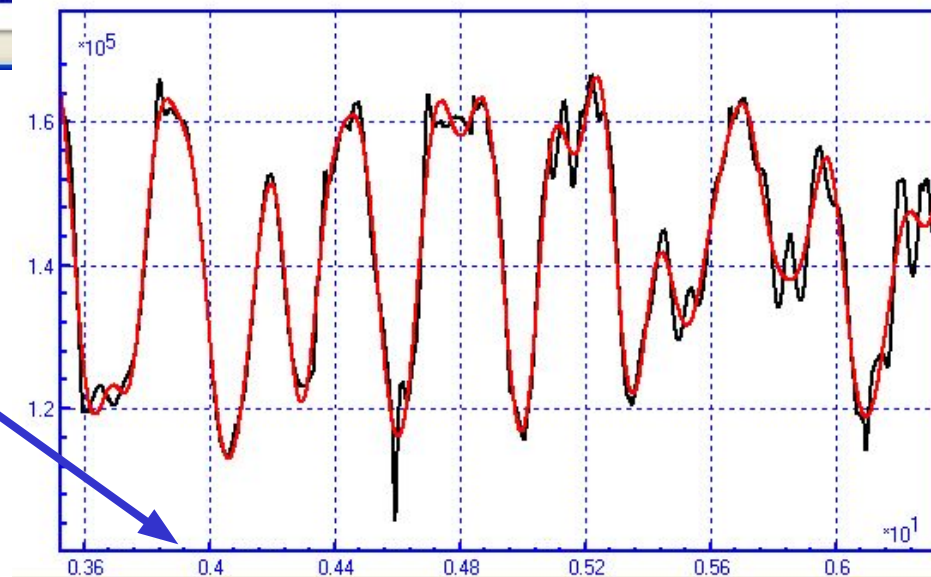
MinAbs

RMS

Инструменты моделирования



- Параметры окна...
- Редактировать...
- Удалить Del
- Копировать в буфер Ctrl+C
- Копировать в активную книгу MS Excel Ctrl+E
- Фильтровать переменные Ctrl+F**
- Скопировать как статические Ctrl+S
- Сохранить в текстовый файл... Ctrl+T
- Сохранить в файл переменных... Ctrl+V
- Прочитать из текстового файла...
- Отложить переменную по абсциссе
- Отложить "время" по абсциссе
- Удалить все Ctrl+Del
- Выделить все Ctrl+A
- Скрыть/Показать ▶
- Положение ▶

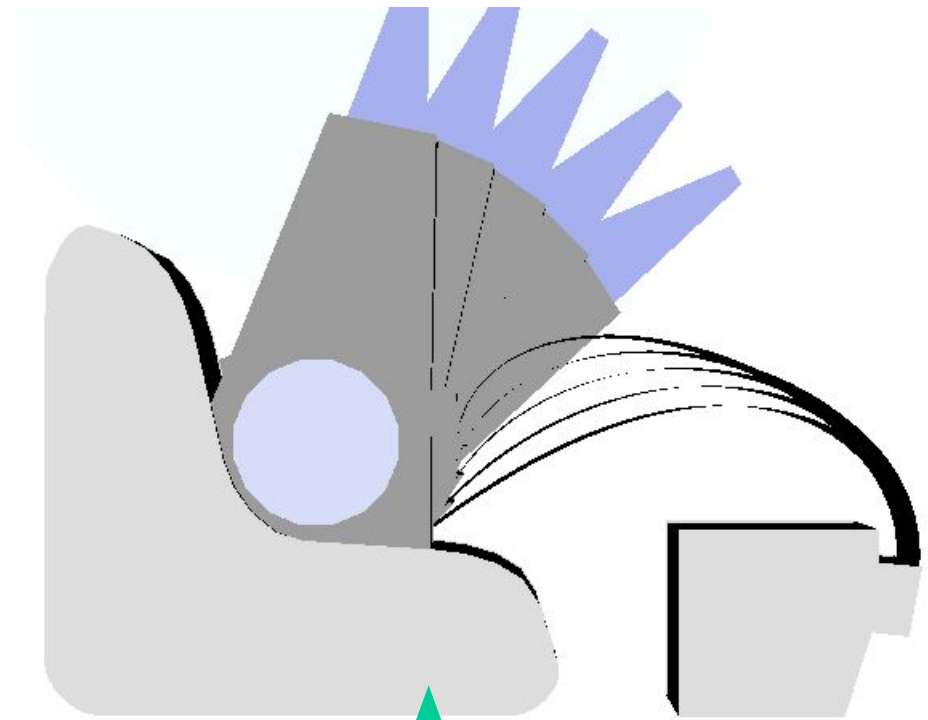
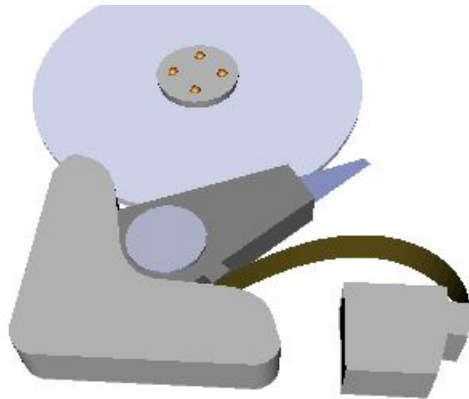


Исходный

Отфильтрованный

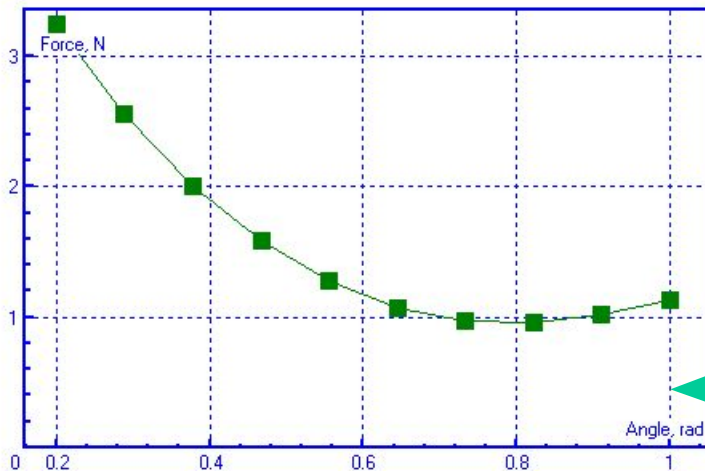
Положение равновесия

Динамика жесткого диска

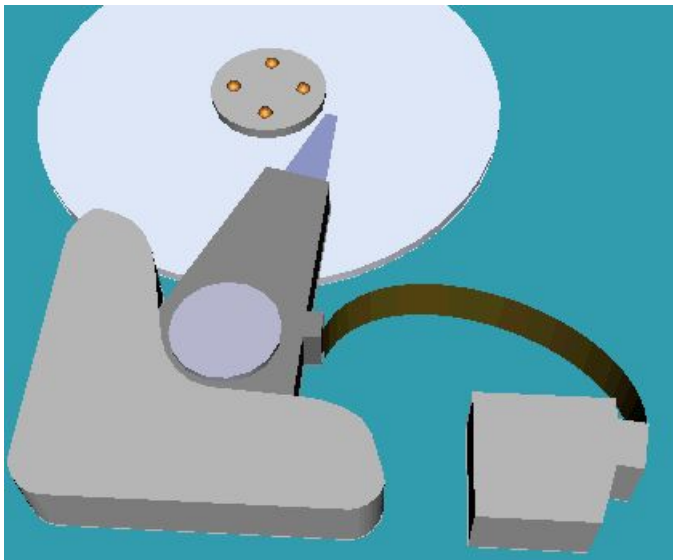
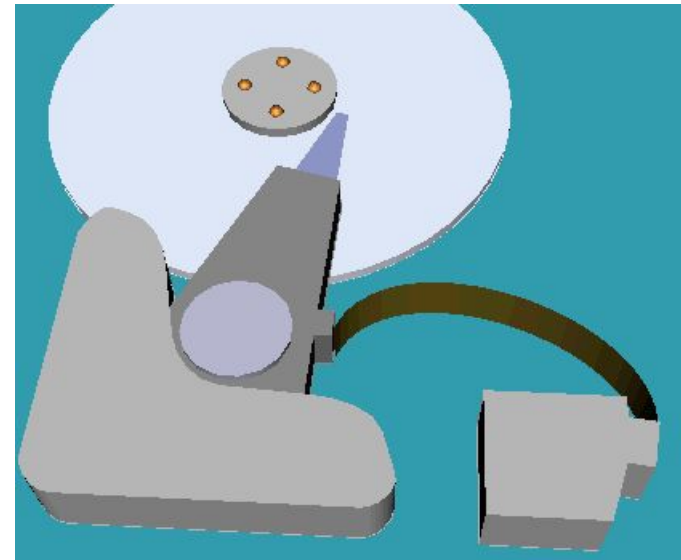
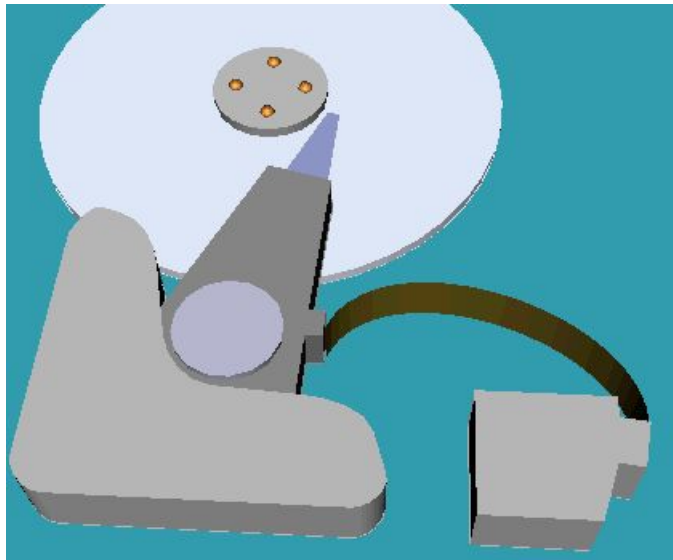


Положение равновесия
кабеля в зависимости от
положения головки

Силы, действующие на головку
жесткого диска со стороны кабеля

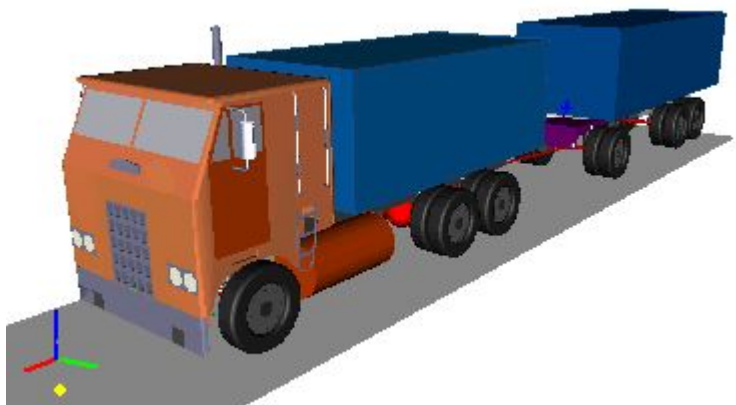


Линейный анализ

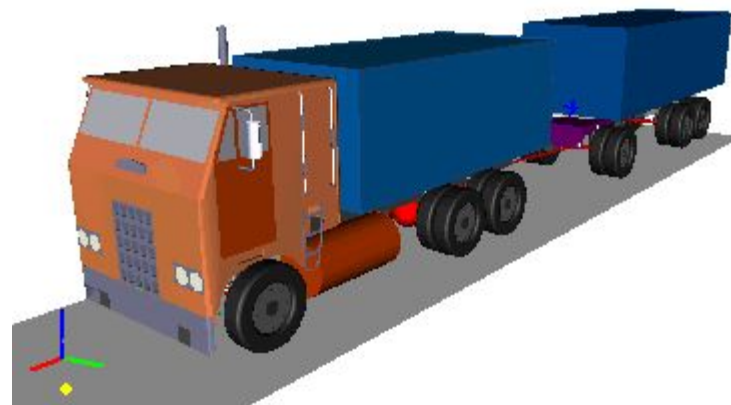


Формы свободных колебаний

Собственные формы и частоты колебаний



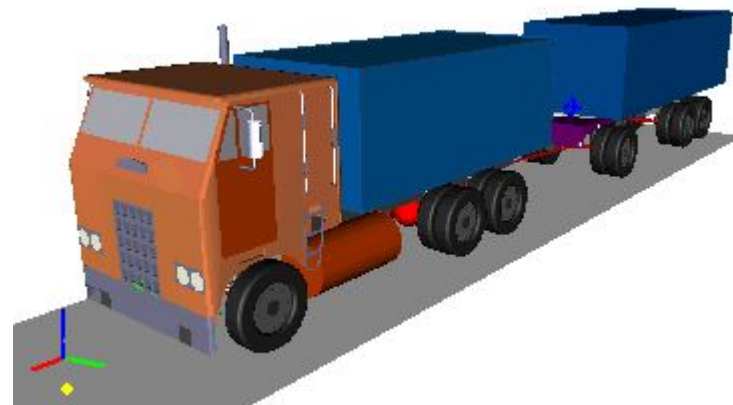
0,40 Гц



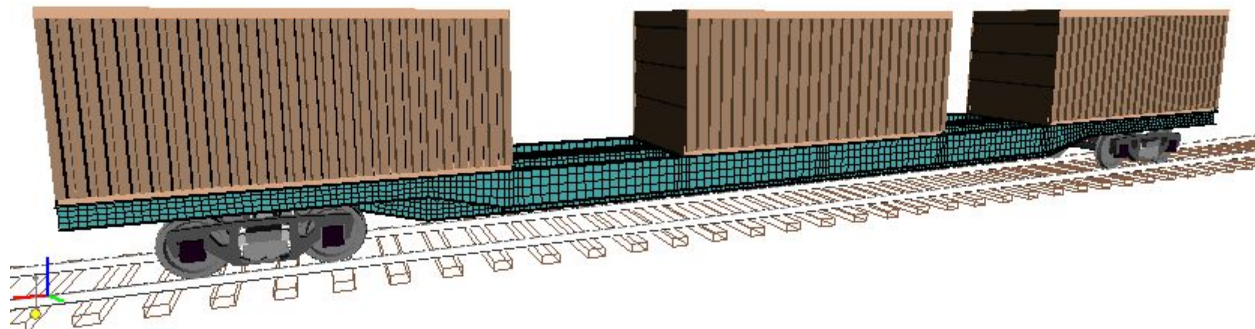
0,82 Гц



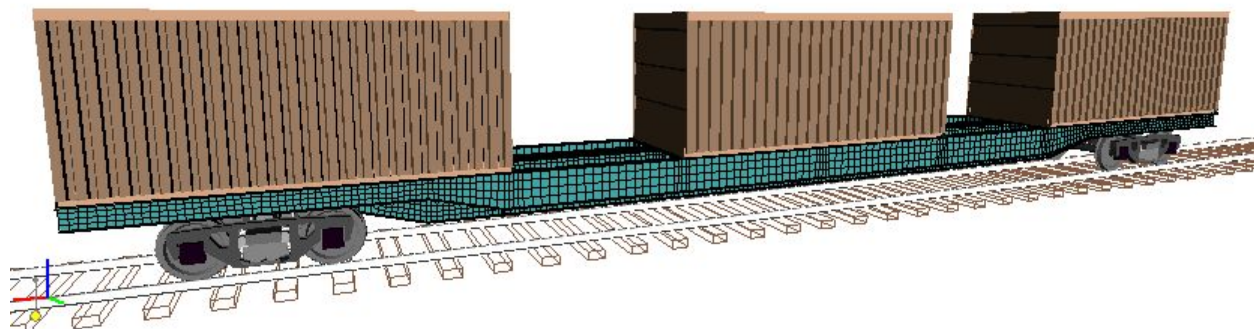
1,10 Гц



1,39 Гц



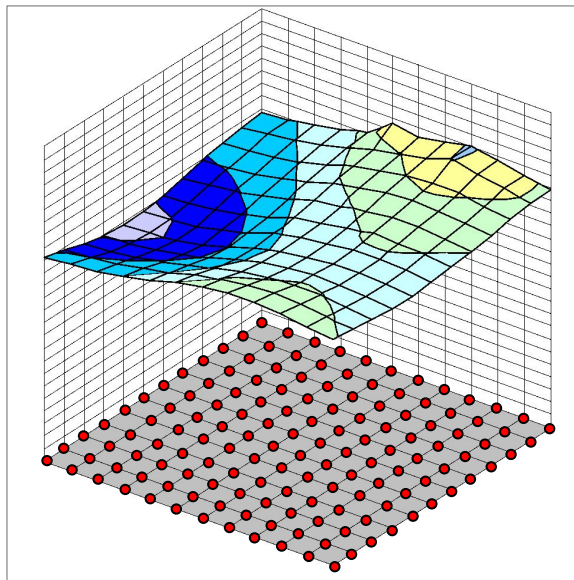
Собственная форма колебаний платформы с частотой 3,57 Гц



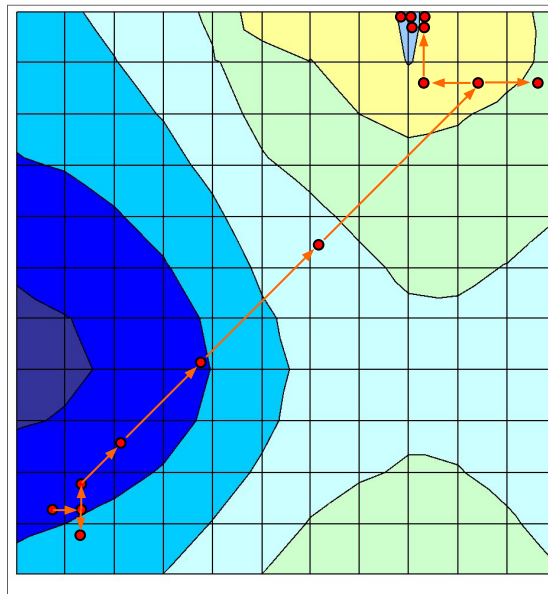
Собственная форма колебаний платформы с частотой 4,55 Гц

Для расширенного анализа динамики механической системы и оптимизации ее параметров доступны следующие инструменты: сканирование, оптимизация, аппроксимация

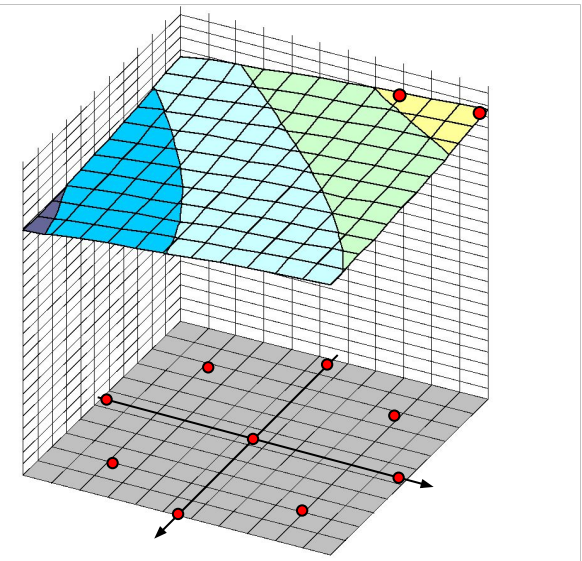
Сканирование



Оптимизация

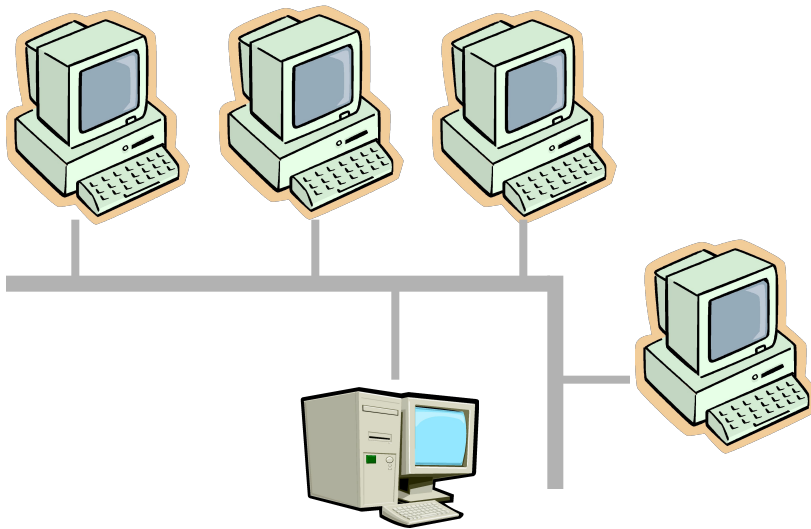


Аппроксимация



Служба распределенных вычислений

Программный комплекс «Универсальный механизм» + модуль оптимизации + служба распределенных вычислений



UM сервер кластера

Пуск
Стоп
0 программ

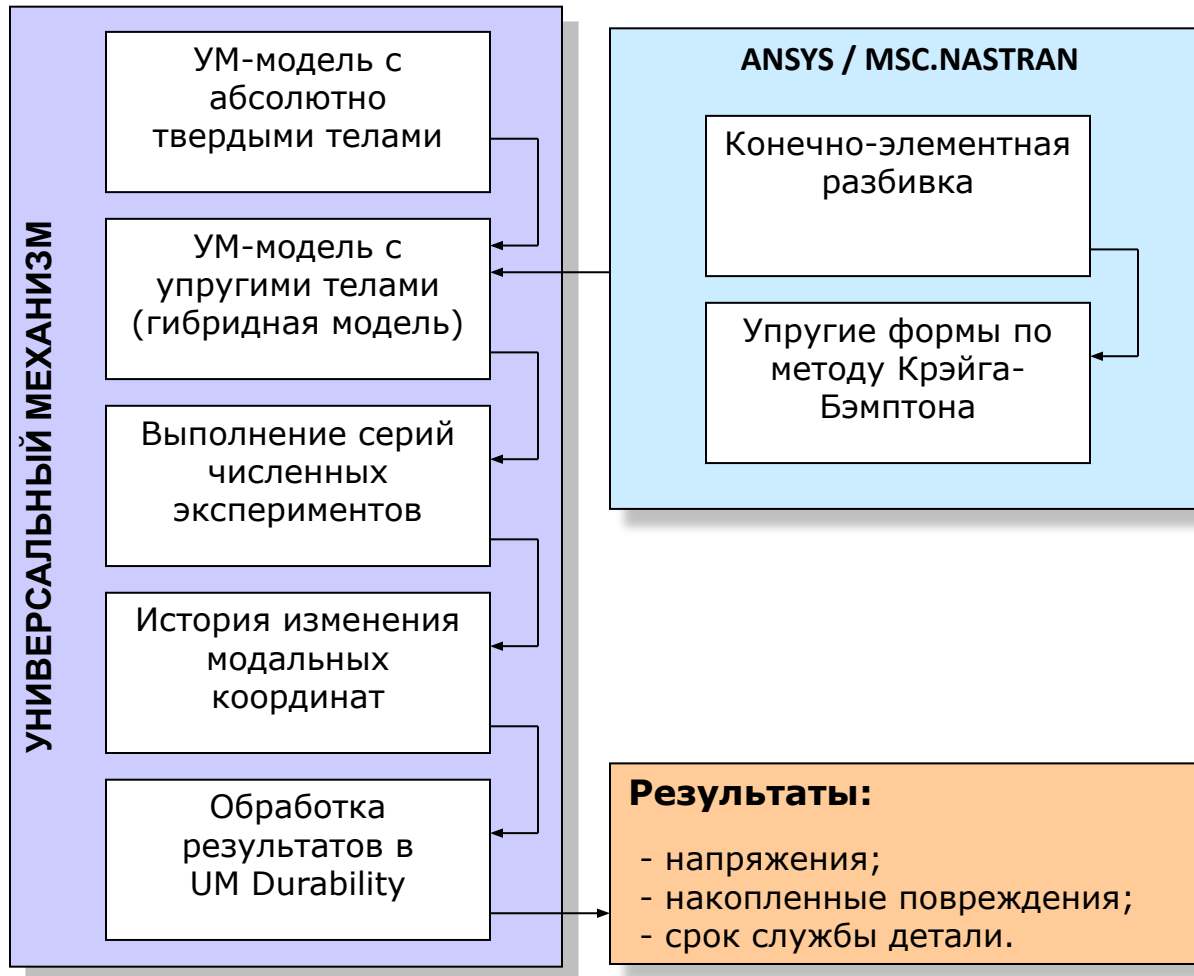
Клиент	Статус	Выполнено заданий	Прогресс
<input checked="" type="checkbox"/> CHEBYSHEV	обработка	15	57%
<input checked="" type="checkbox"/> LOCALHOST	обработка	15	14%
<input type="checkbox"/> ROVERBOOK	?	0	0
<input type="checkbox"/> SUVOROV	?	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> ZHUKOVSKY	обработка	7	89%
<input type="checkbox"/> RAYLEIGH	?	0	0
<input type="checkbox"/> LOCOVICH	?	0	0
<input checked="" type="checkbox"/> EULER	обработка	19	25%

Отчет:

```
EULER : готов
EULER : отправка задачи #52 : OK
LOCALHOST : получение результата #50 : OK
LOCALHOST : готов
LOCALHOST : отправка задачи #53 : OK
CHEBYSHEV : получение результата #49 : OK
CHEBYSHEV : готов
CHEBYSHEV : отправка задачи #54 : OK
```

Выполнение больших «промышленных» расчетов,
сканирование по многим параметрам, гигабайты данных,
сутки расчетов

Схема работы модуля



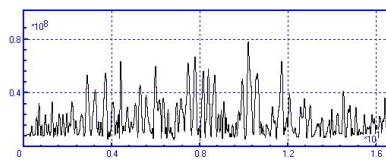
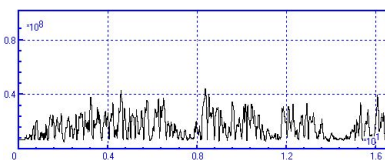
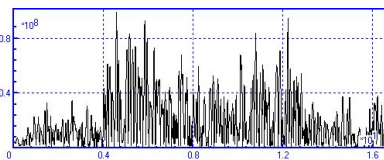
Долговечность: анализ эксплуатационной нагруженности

Выделение частных режимов эксплуатации



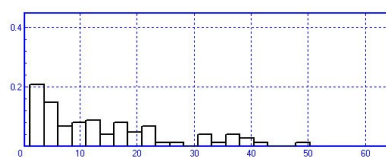
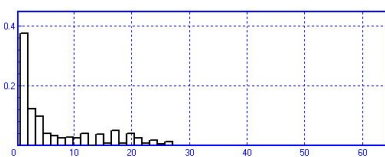
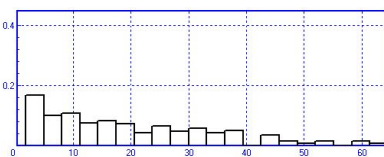
Режимы эксплуатации

Создание моделей и проведение численных экспериментов (средствами UM FEM и UM Optimization)



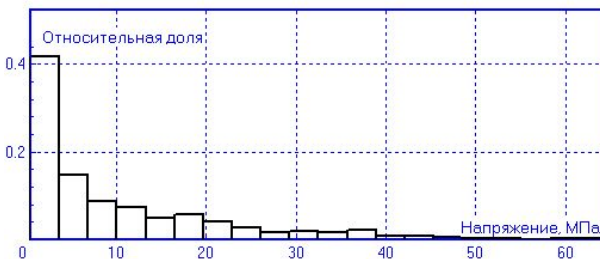
Реализации напряжений

Анализ динамической нагруженности для частных режимов эксплуатации



Частные блоки нагружения

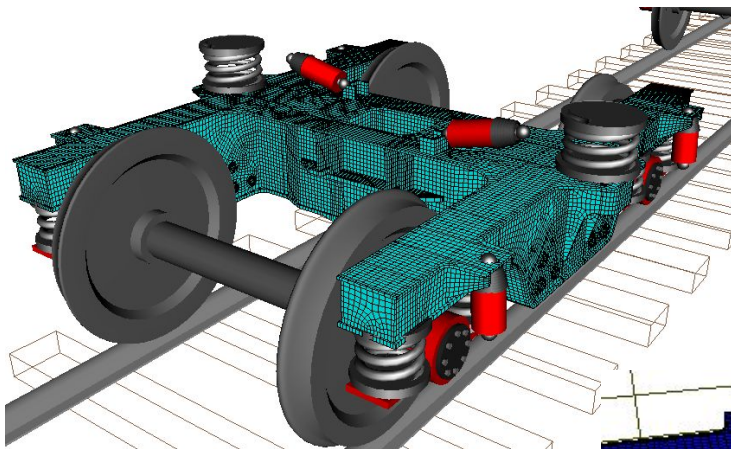
Расчет эксплуатационной нагруженности



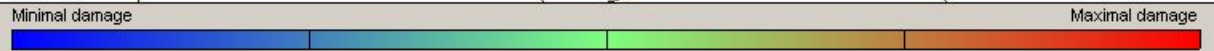
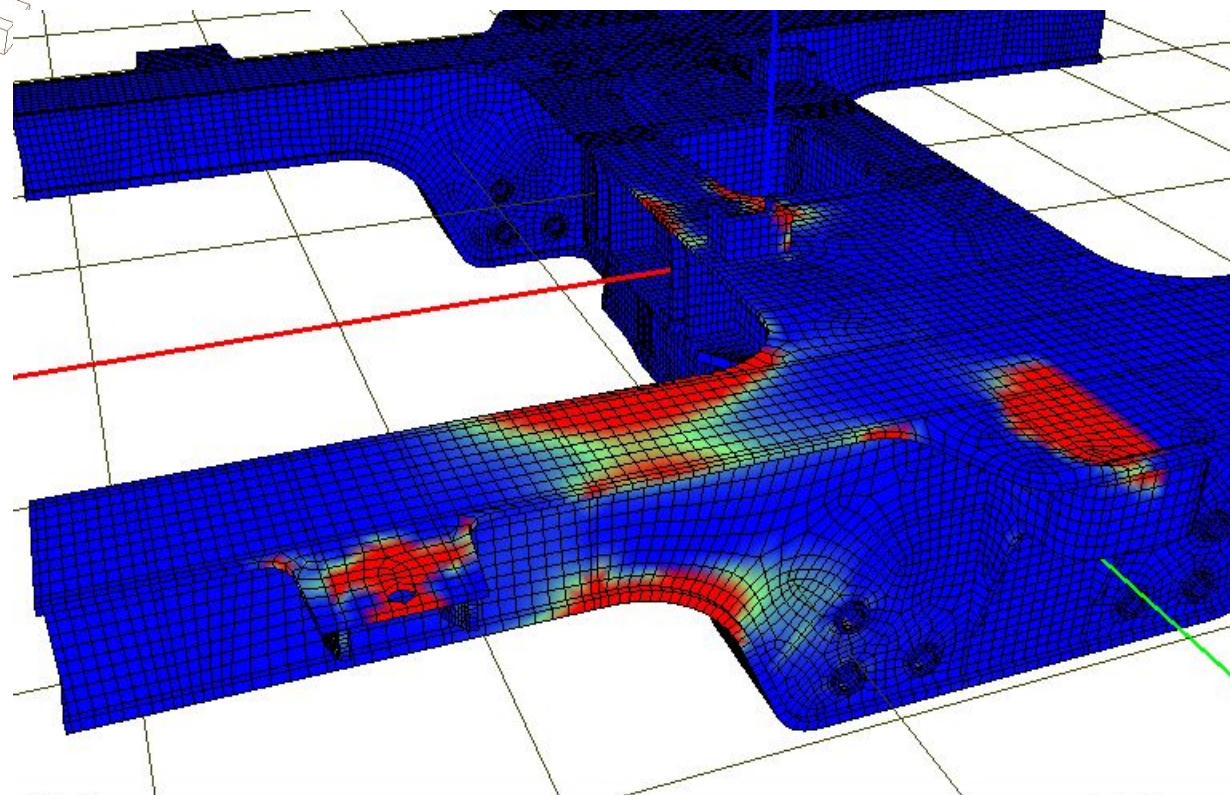
Смешанный блок нагружения

Результаты расчета долговечности: рама тележки локомотива

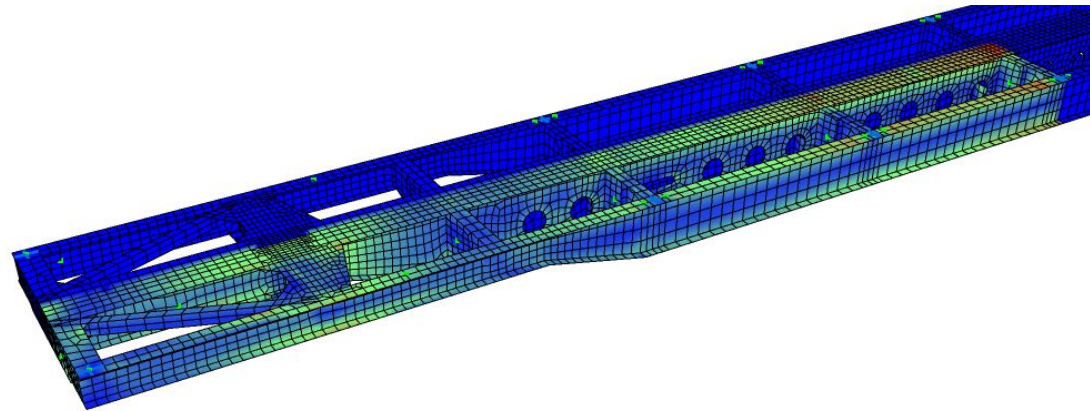
Рама тележки локомотива, VOSSLOH, Испания



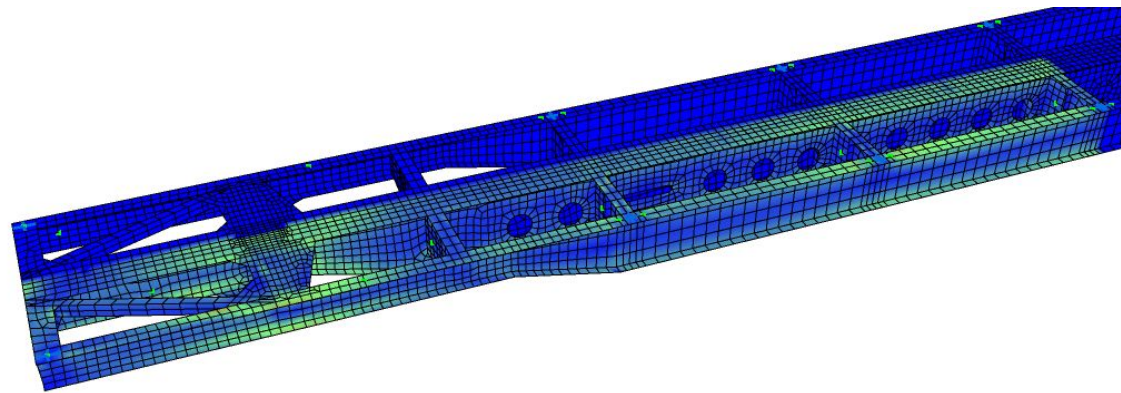
Накопленные
усталостные
повреждения



Результаты расчета долговечности: рама платформы



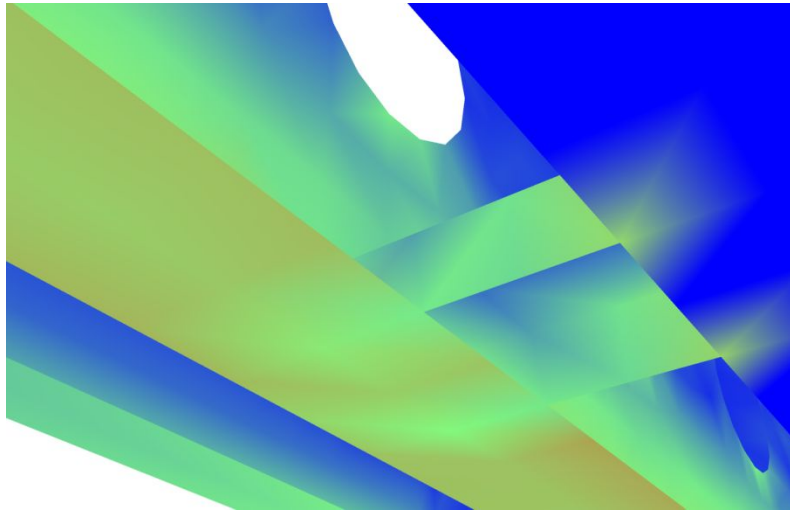
Распределение максимальных динамических напряжений, МПа



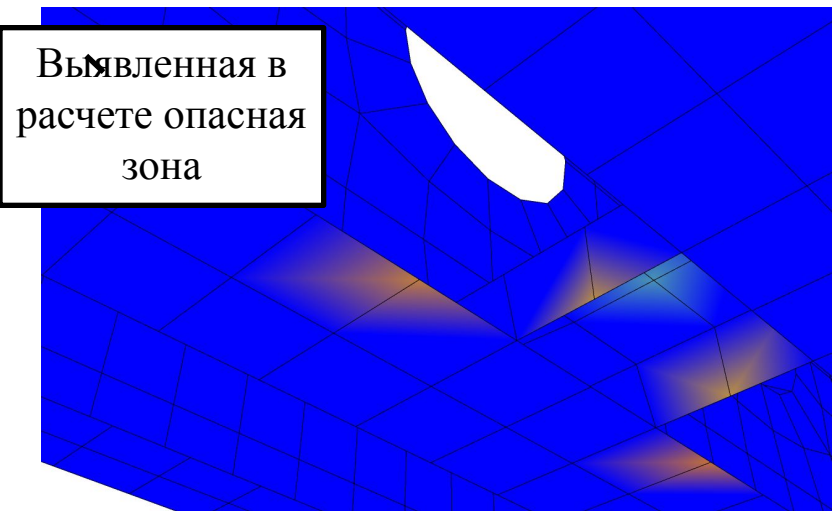
Распределение максимальных амплитуд динамических напряжений, МПа

Долговечность: сравнение с экспериментом

Результаты расчета



Распределение максимальных амплитуд



Выявленная в
расчете опасная
зона

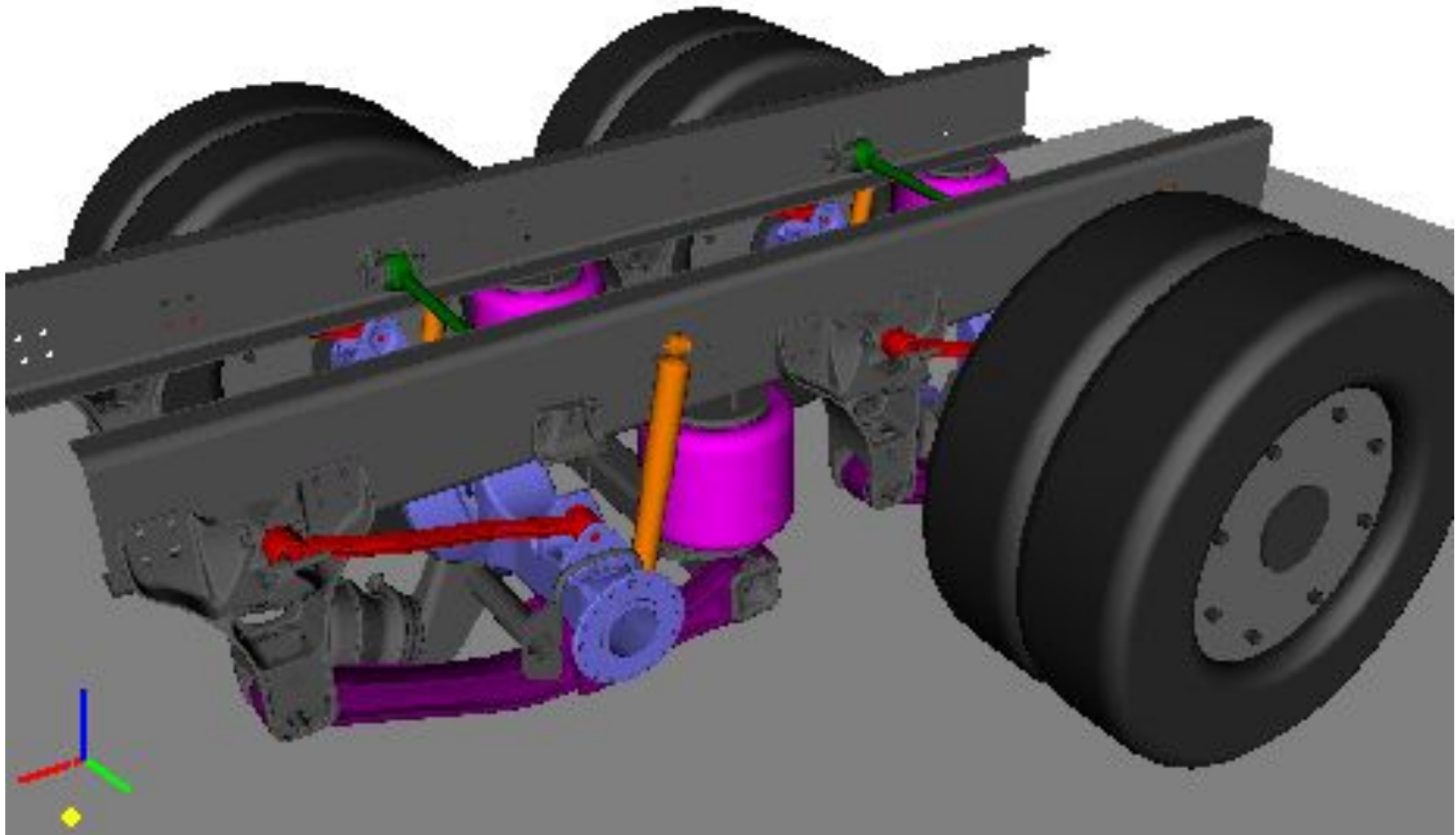
Приведенные эквивалентные амплитуды

Рама контейнеровоза: сравнение
с экспериментом

Трещина в раме
по результатам
стендовых
испытаний



Картина разрушения



Движение по булыжному покрытию, $V=100$ км/ч.

Модели шин

Магическая
формула
Пасейки

Модель
Fiala

Табличные и
эксперименталь-
ные зависимости

Неровности дорожного полотна

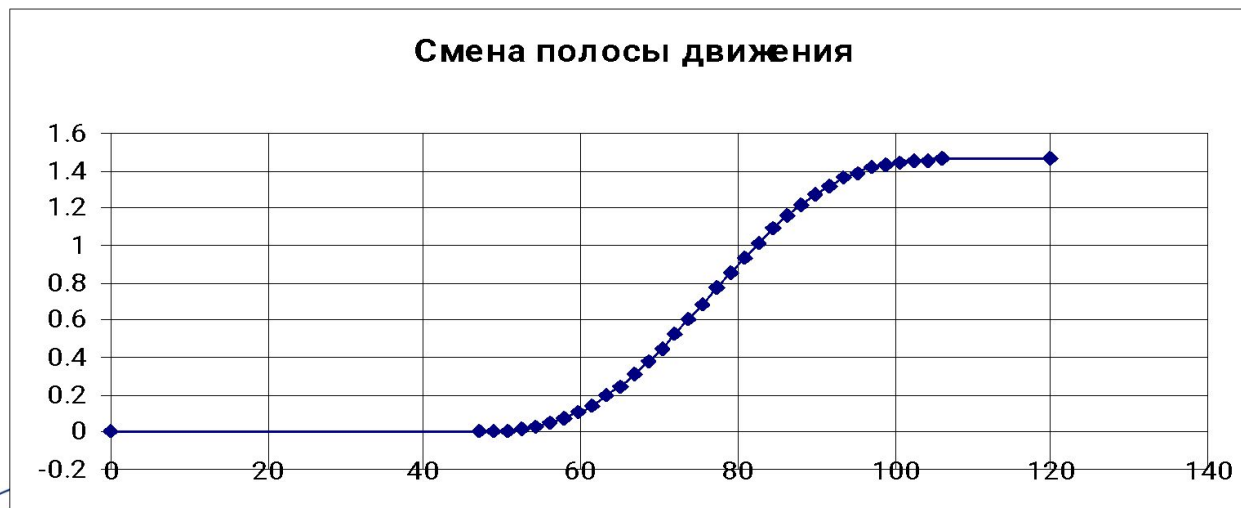
Поточечное
задание профиля
для промеренных
участков

Неровности,
заданные
аналитическими
функциями

Синтез
неровностей по
спектральной
плотности и
библиотека
спектров дорог с
различным
покрытием

Маневры с замкнутым контуром системы управления

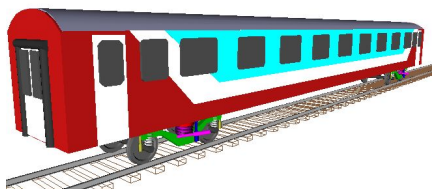
Траектория движения
+
Модель водителя
(модель МакАдама, с предвиденьем 2-го порядка)



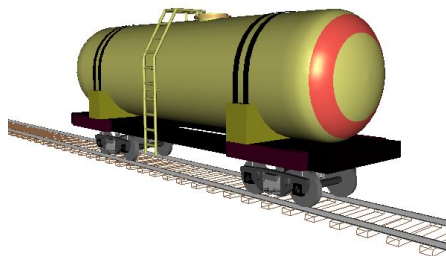
Железнодорожный модуль

Модуль моделирования железнодорожных экипажей:
более 30 моделей

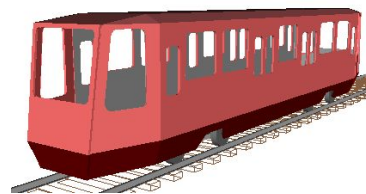
Пассажирский вагон



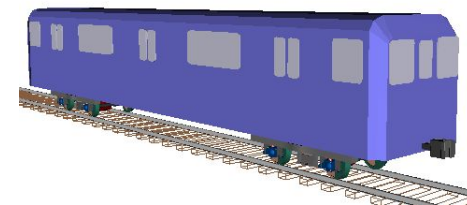
Цистерна



Трамвай



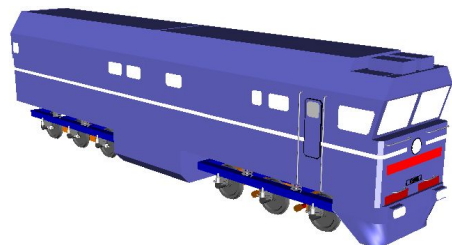
Вагон метро



Электровоз

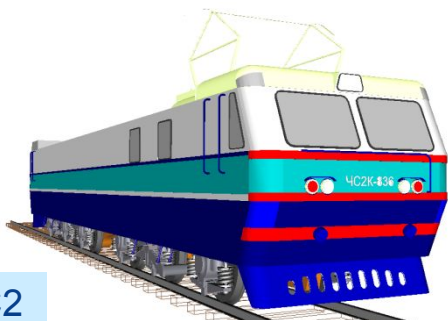


Тепловоз

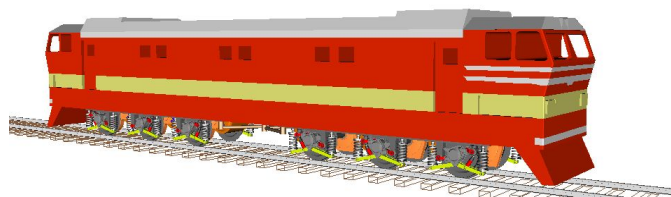


Железнодорожные экипажи: база моделей локомотивов России

В 2006 г. совместно с ВНИКТИ МПС разработаны 17 моделей локомотивов. Таким образом, создана база компьютерных моделей, не имеющая аналогов в мире.



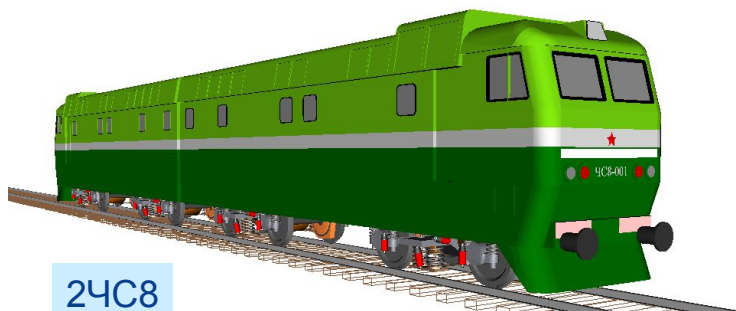
ЧС2



ЧС4



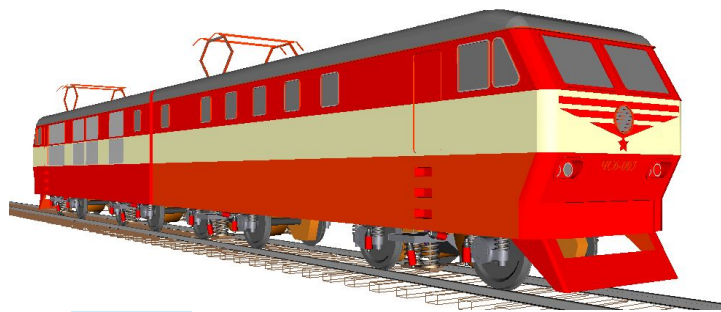
ЧМЭЗ



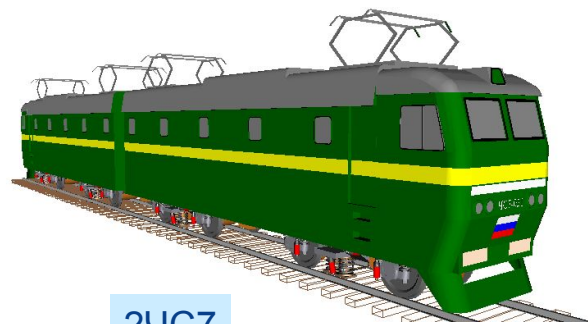
2ЧС8



ЧС200

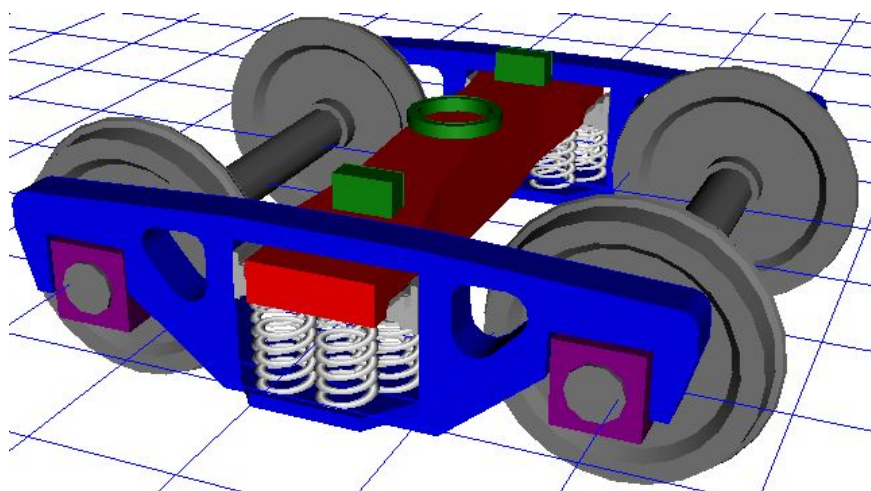
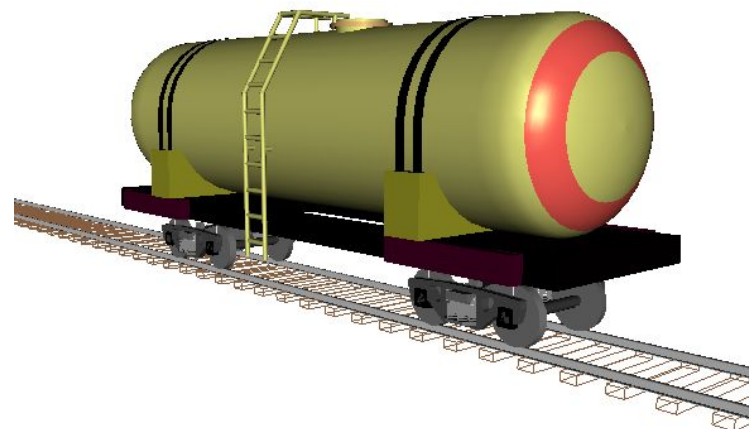
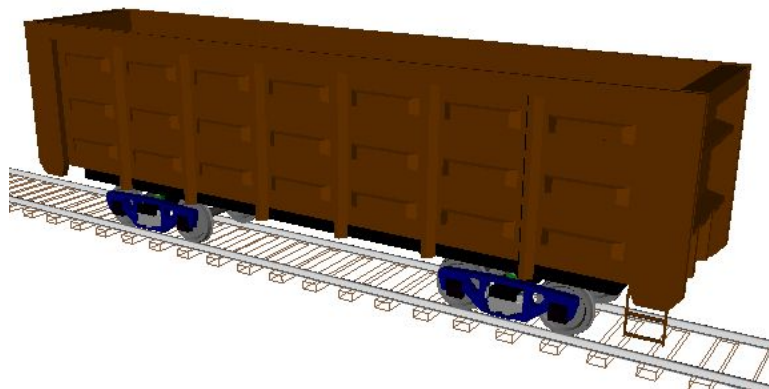


ЧС6

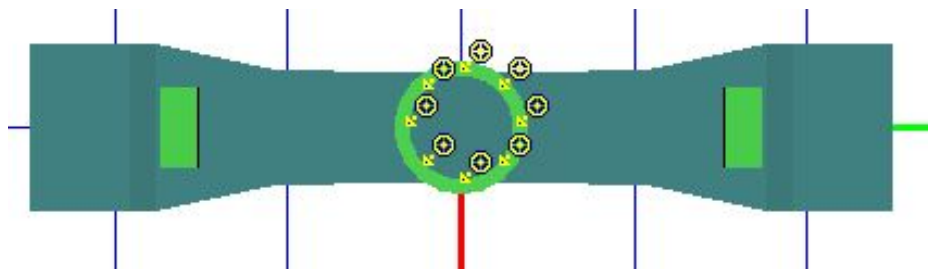


2ЧС7

Модель грузового вагона

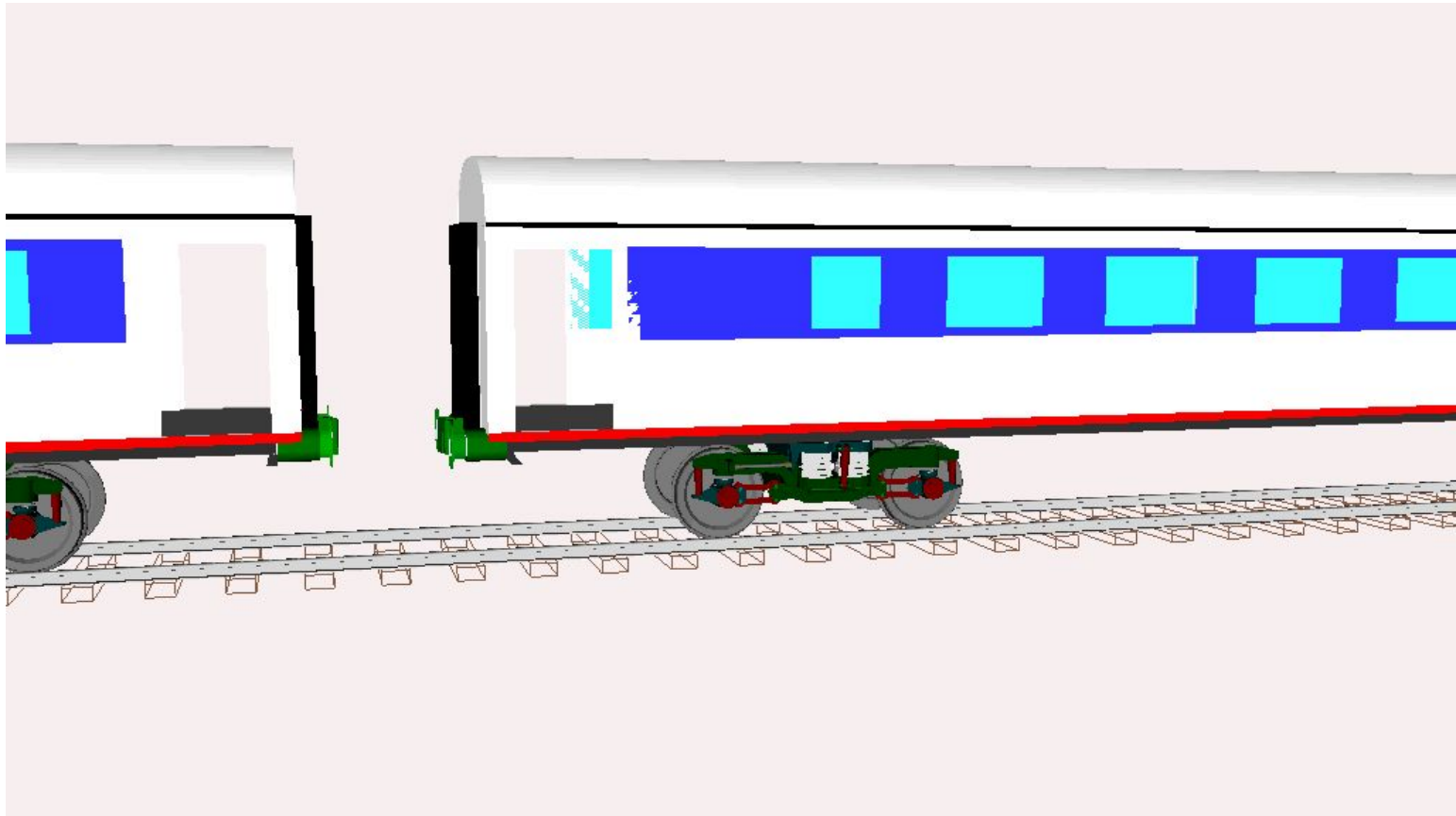


Трехэлементная тележка (18-100, 18-578 и др.)



Контактные точки на пятнике

Соударение вагонов



- Примеры моделирования
- Механическая система как объект моделирования
- Создание моделей
- Анализ динамики моделей
- Верификация программного комплекса

Грузовые автомобили



NATIONAL ROAD TRANSPORT COMMISSION

Национальная комиссия по
автомобильному транспорту Австралии



Модель2: Автопоезд



Модель 1: Грузовик с прицепом

- ADAMS CAR
- UMTRI's Yaw/Roll
- AUTOSIM

- Универсальный Механизм



Смена полосы движения, 88км/ч

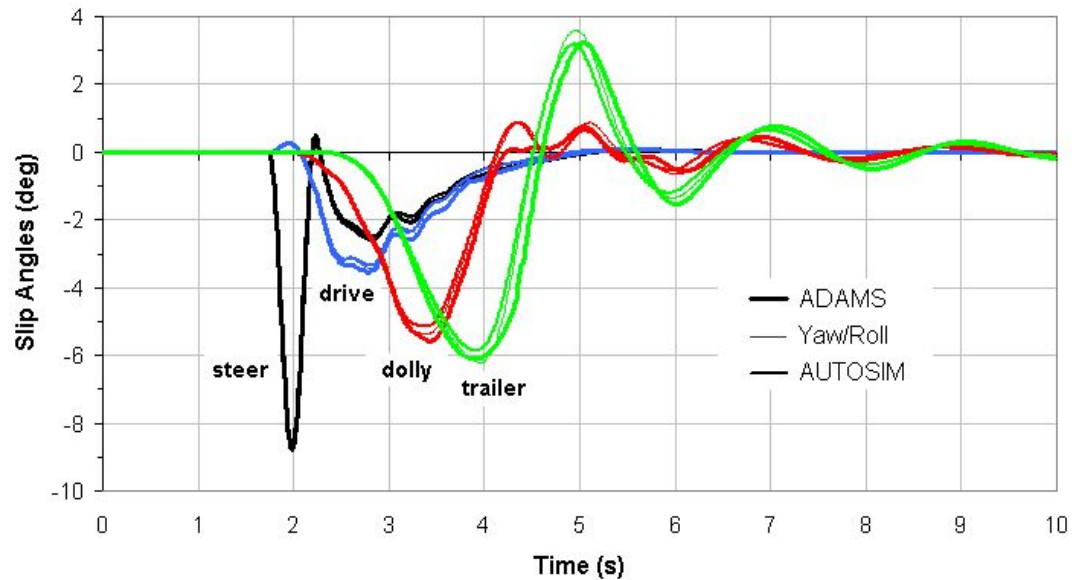
Результаты моделирования: рывок руля

Угол бокового
увода, град.

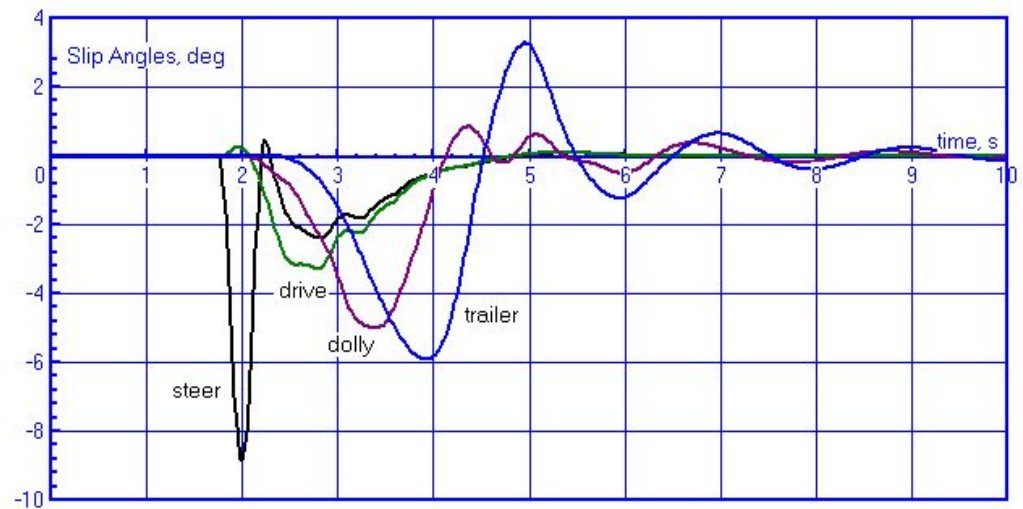
ADAMS

Yaw/Roll

AUTOSIM



UM



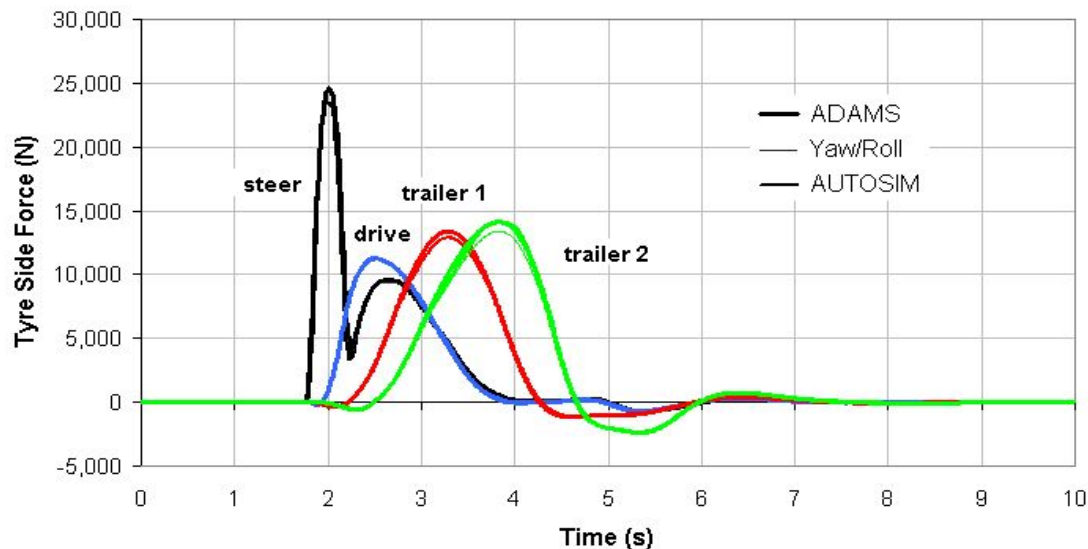
Результаты моделирования: рывок руля

Поперечные силы
в шинах, Н

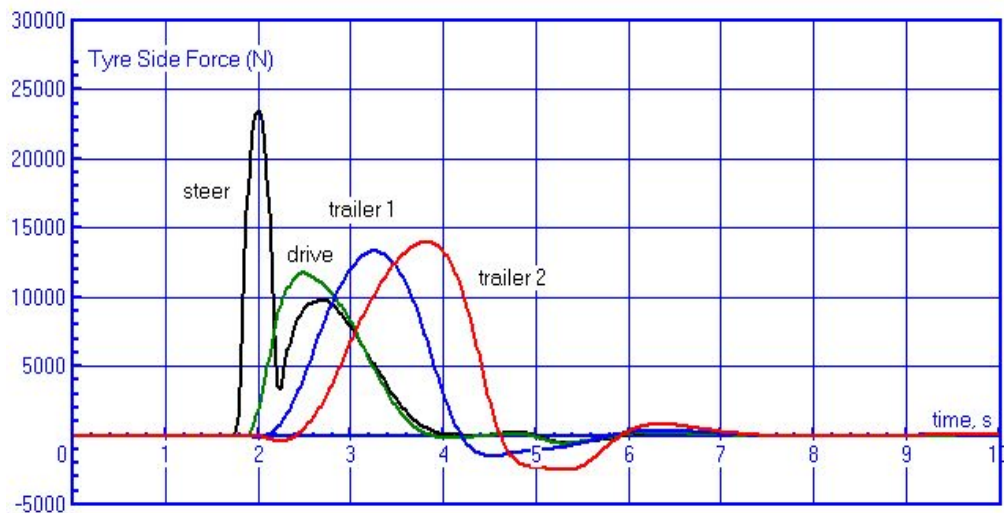
ADAMS

Yaw/Roll

AUTOSIM

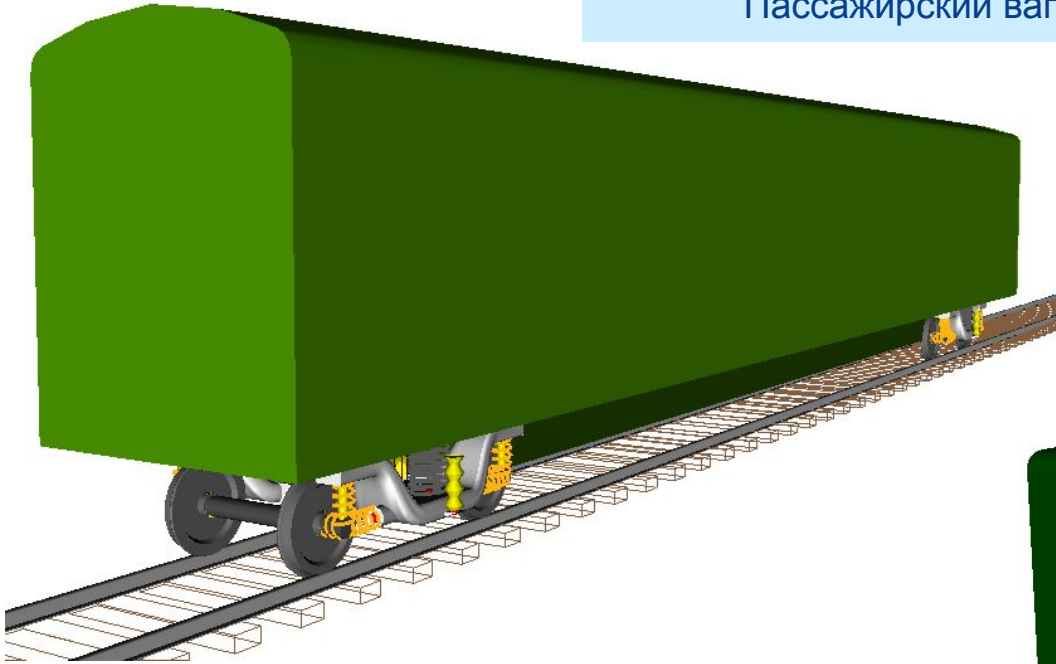


UM

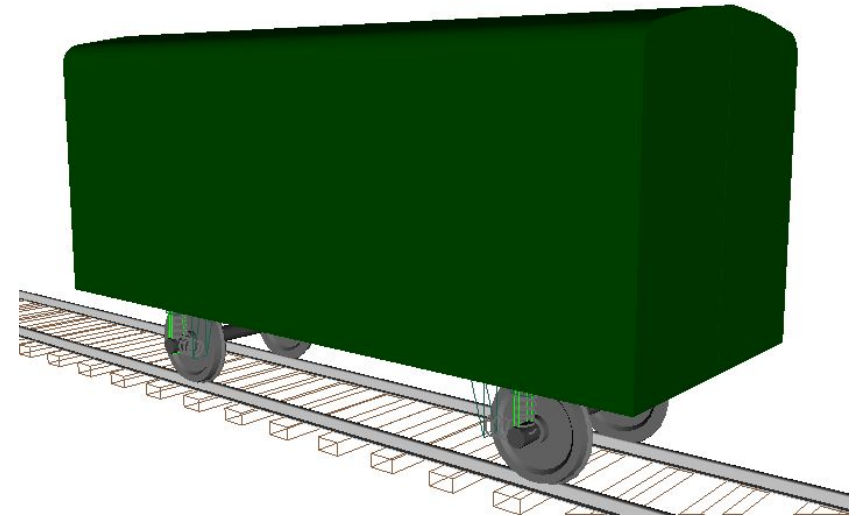


Железнодорожные экипажи: Манчестерские тесты

Манчестерский тест – Экипаж 1:
Пассажирский вагон



Manchester Metropolitan University
Rail Technology Unit

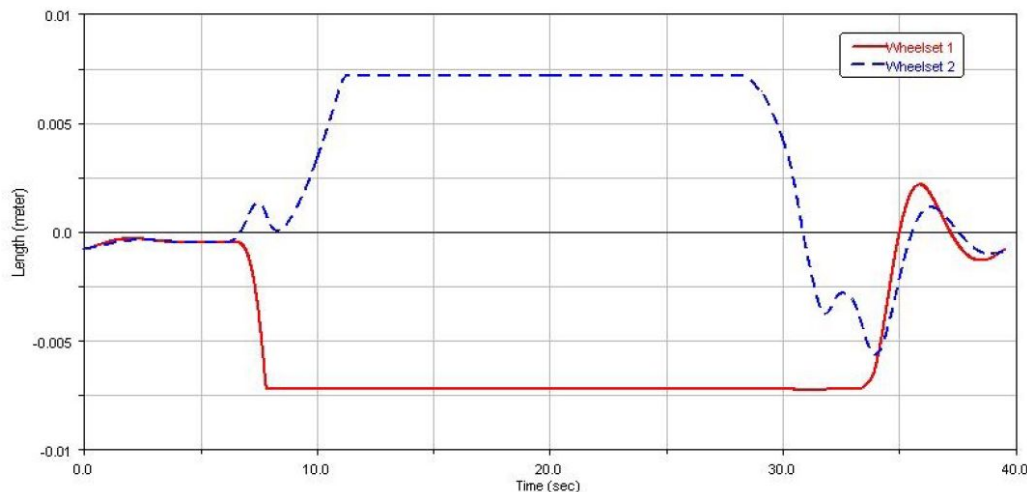


Манчестерский тест – Экипаж 2:
Грузовой вагон

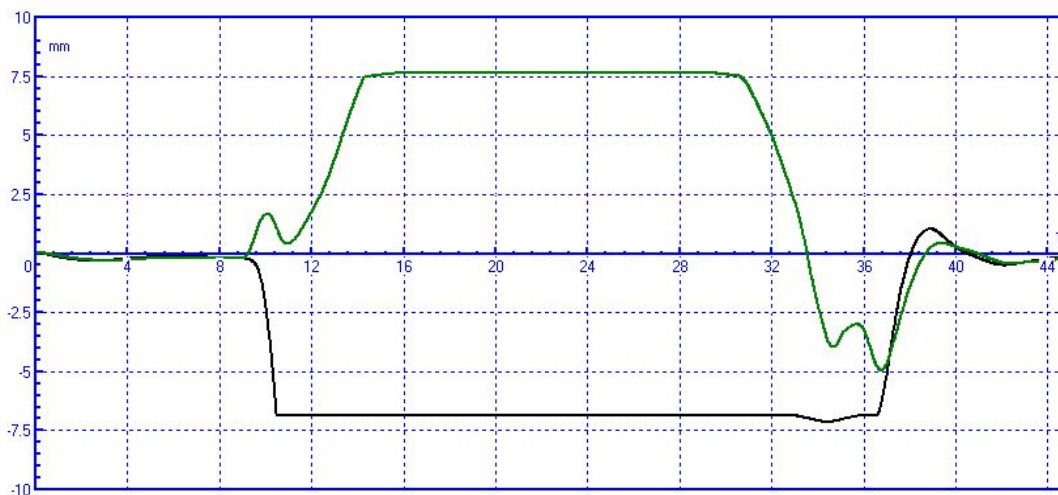
Манчестерские тесты: сравнение результатов

Экипаж 1, Путь 1

Поперечное смещение колесных пар 1, 2



ADAMS/Rail

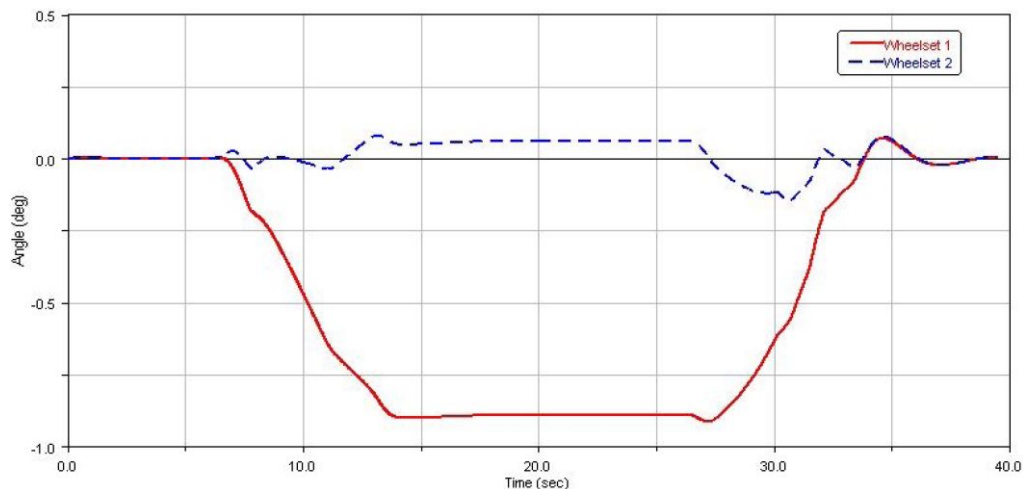


UM

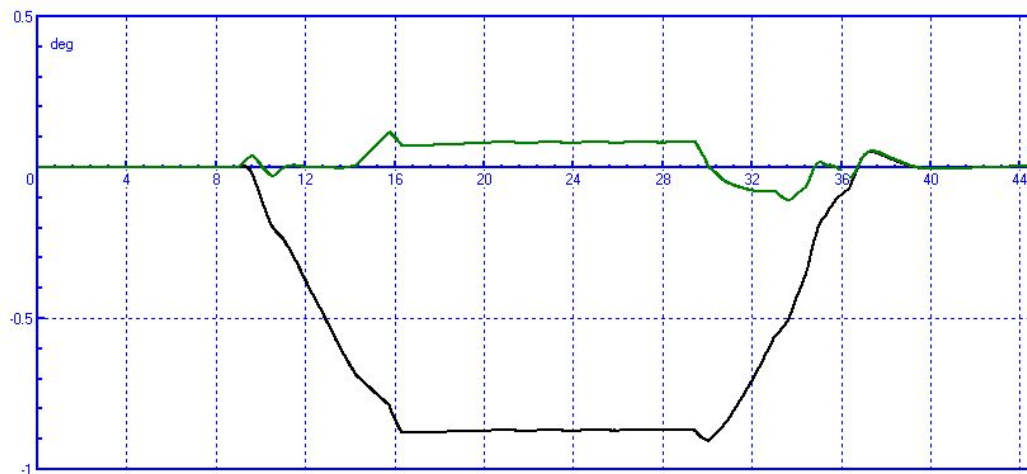
Манчестерские тесты: сравнение результатов

Экипаж 1, Путь 1

Угол виляния колесных пар 1, 2



ADAMS/Rail

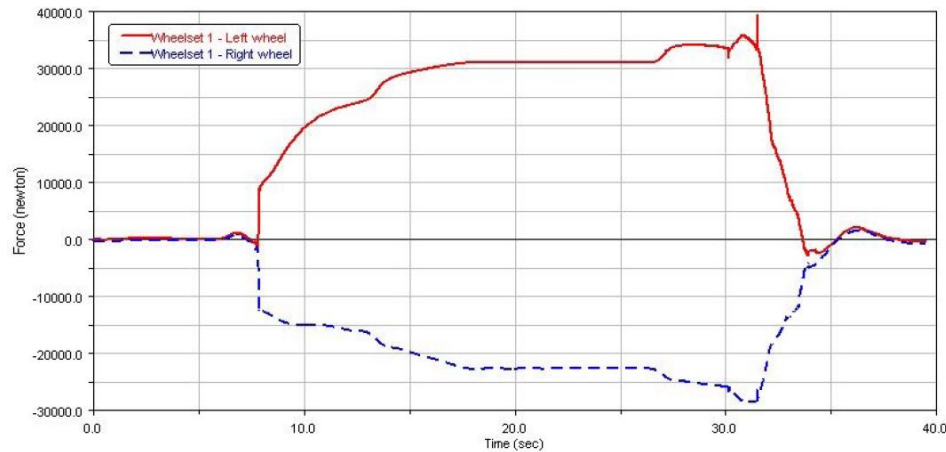


UM

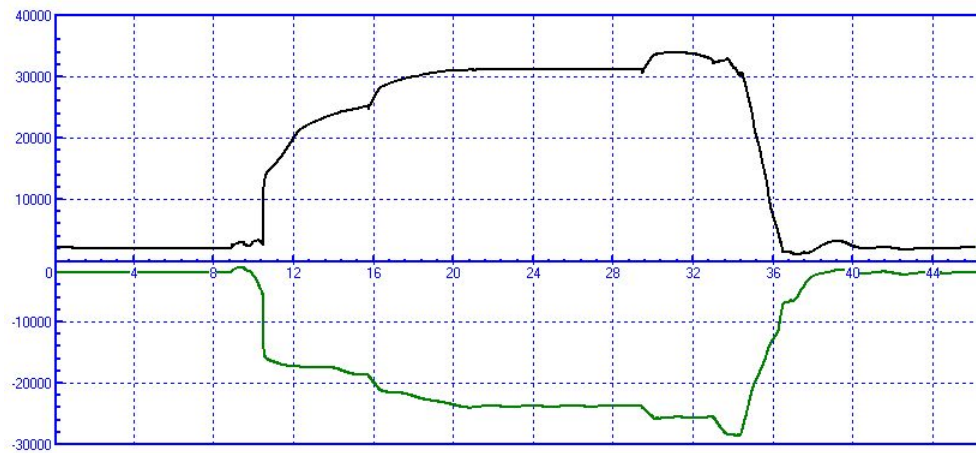
Манчестерские тесты: сравнение результатов

Экипаж 1, Путь 1

Направляющие силы на колесной паре 1



ADAMS/Rail



UM

Сравнение с экспериментами



Сакало
Владимир
Иванович, д.т.
н., БГТУ,
Брянск

- В работах В.И. Сакало и В.С. Коссова рассматривается динамика локомотива ТЭ116 и отмечается, что «достигнута удовлетворительная сходимость теоретических и экспериментальных значений всех рассматриваемых показателей, в том числе рамных сил. Расхождение результатов моделирования и эксперимента для прямых и кривых участков пути не превышает **15%**.»



Павлюков
Александр
Эдуардович, д.
т.н., УрГУПС,
Екатеринбург

- В работе А.Э. Павлюкова и др. проводились эксперименты с грузовой тележкой типа 18-100. Отмечается сходимость результатов в пределах **10%**.



Дмитrochenко
Олег
Николаевич, к.
ф.-м.н., МГУ,
Москва

- В работе О.Н. Дмитrochenко рассматривается тонкий упругий стержень. С целью достоверного определения положений равновесия, собственных частот и форм колебаний были проведены стендовые эксперименты. Сравнение результатов численных и стендовых экспериментов показало, что первые собственные частоты колебаний балки совпадают с точностью **1-2%**.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

www.umlab.ru

um@umlab.ru