

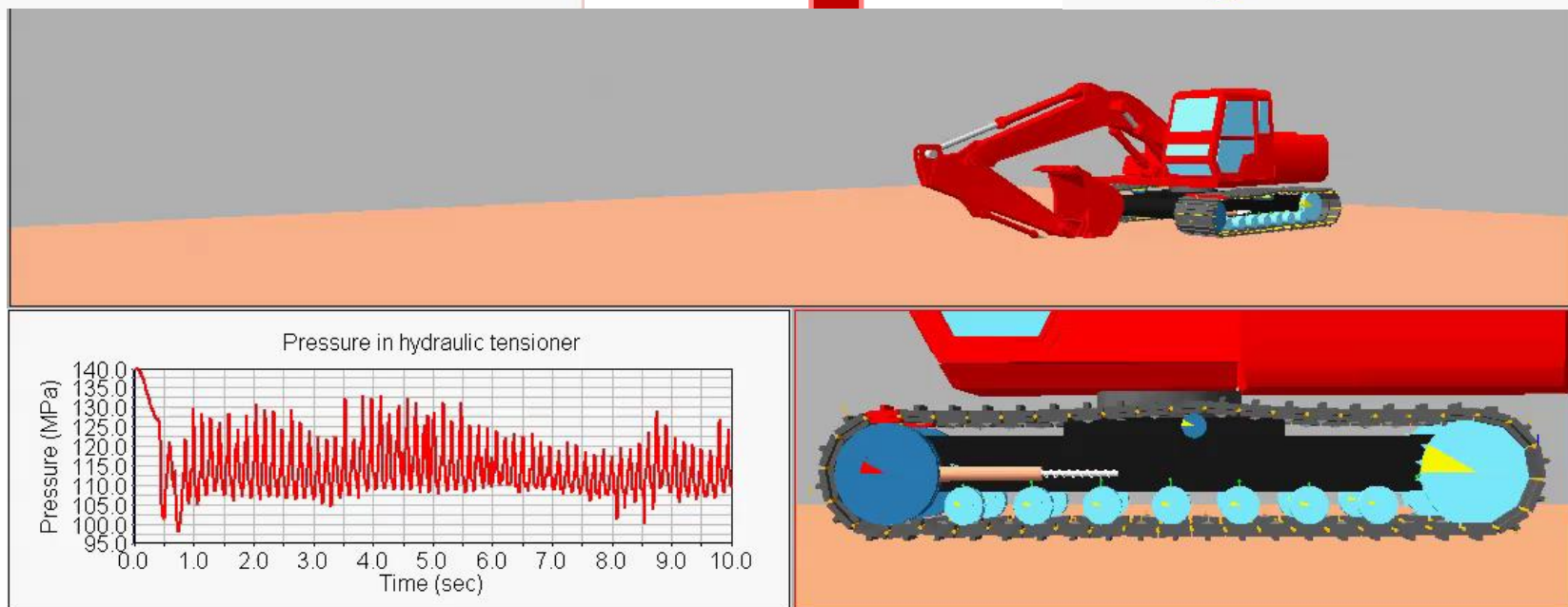
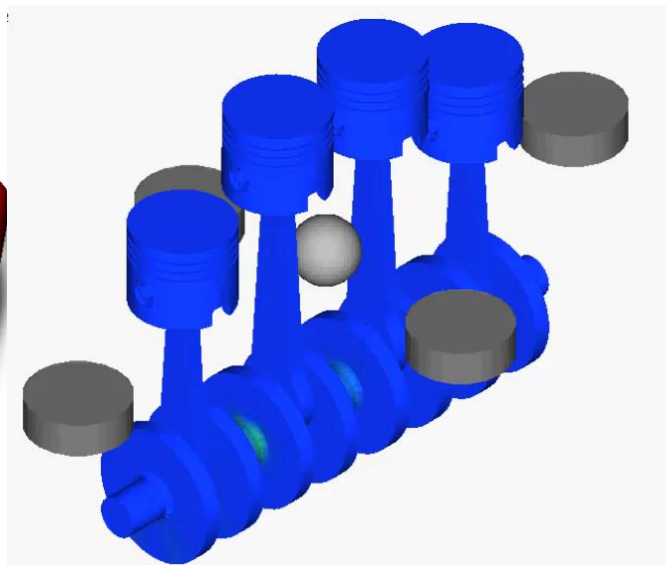
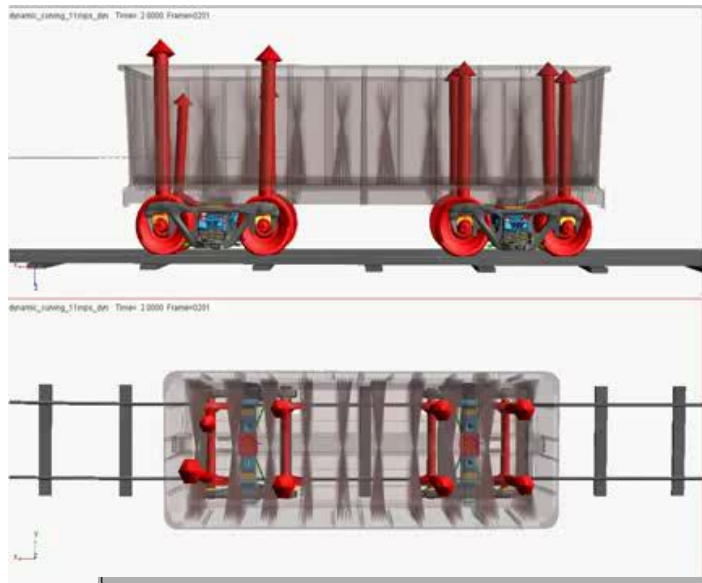


# Adams

Передовые инструменты виртуального  
моделирования работы машин и механизмов

Нехаев Д.В.  
MSC Software RUS

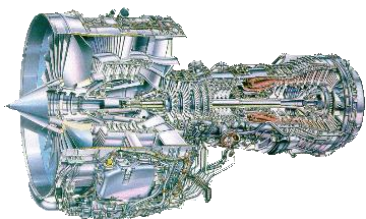
# Решаемые задачи



# Области применения



Космос



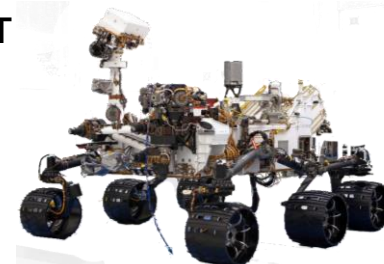
Двигатели



Автомобильный транспорт



Авиация



Робототехника



Оборонная техника



Сельхозмашиностроение



Общее машиностроение  
Станкостроение



ЖД транспорт



Судостроение

# Общие возможности Adams

Решение нелинейных задач динамики и кинематики  
многомассовых систем различными методами

Решение задач статики

классическим методом

методом динамического поиска равновесного состояния

Решение задач частотного отклика

«Встраивание» в расчетную модель Adams упругих тел,  
подготовленных в КЭ-системах | **MSC Nastran, Marc**

Возможность создания силовых, кинематических и др.  
элементов на основе данных из экспериментов

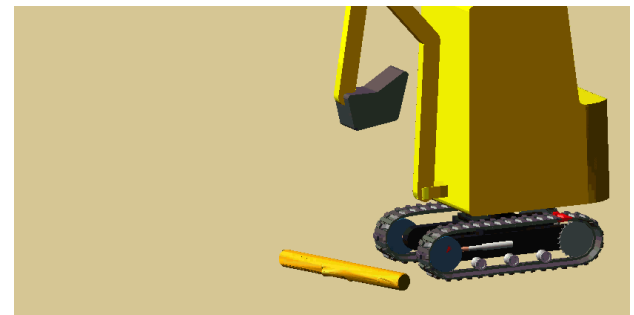
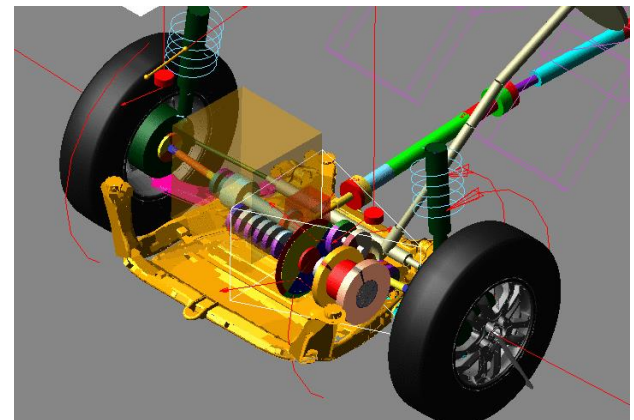
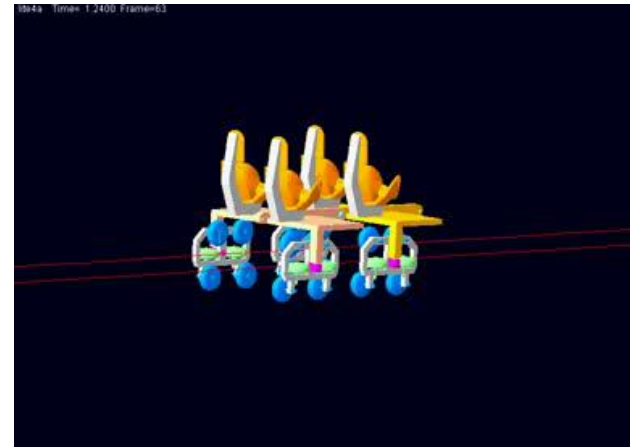
Экспорт данных об НДС упругих тел для последующего  
расчёта долговечности | **MSC Fatigue**

Экспорт расчетной модели (как линеаризированной, так  
и нелинейной) для «встраивания» её в программные  
комплексы моделирования систем управления |  
**Easy5**

Импорт системы управления для «встраивания» её в  
модель Adams и проведения расчетов с учетом  
влияния САУ | **Easy5, Simulink, FMI**

Возможно подключение собственных подпрограмм,  
написанных на языке **C** или **Fortran**

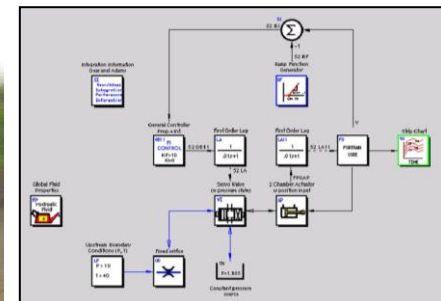
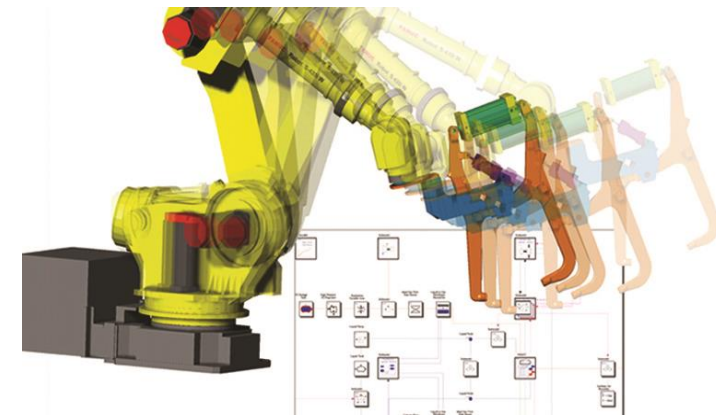
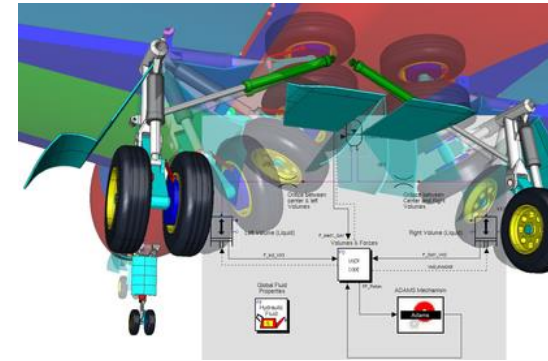
и многие другие возможности ...





# Adams/Controls – взаимодействие с системами управления

- Интерфейс, обеспечивающий взаимную передачу данных Adams в среду моделирования СУ
  - **Easy5**
  - Simulink
  - FMI interface (Functional Mock-up Interface - [www.fmi-standard.org](http://www.fmi-standard.org))
- **Adams/Controls** позволяет добавить в кинематическую модель системы управления в виде .dll библиотеки или экспортировать модель Adams для встраивания ее в модель системы управления
- Совместное решение (**co-simulation**) в рамках одного узла или через интерфейс TCP/IP
  - **Adams/Controls** работает на одном, а программа моделирования системы управления (например, **Easy5**) на другом
  - Существенное ускорение счёта
- Использование **Adams/Controls** позволяет проанализировать работу изделия в составе сложной системы с учётом взаимодействия системы управления

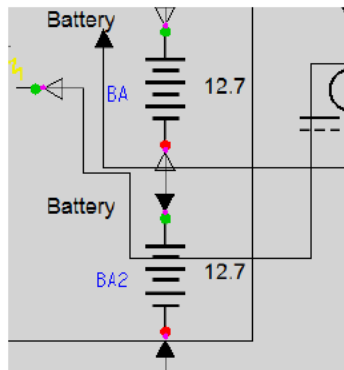


# Новое в Easy5 2015

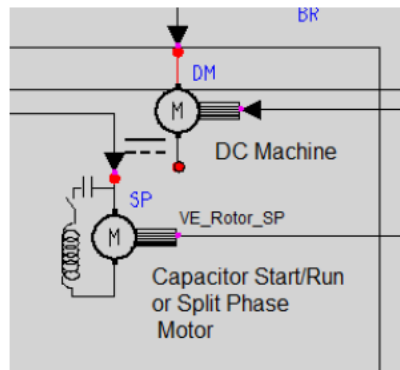


✓ Библиотека электрических устройств и компонентов

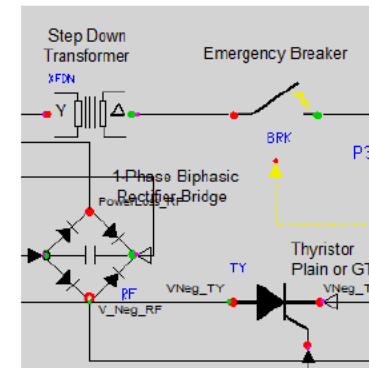
Аккумуляторы, батареи...



Электродвигатели постоянного, переменного тока...

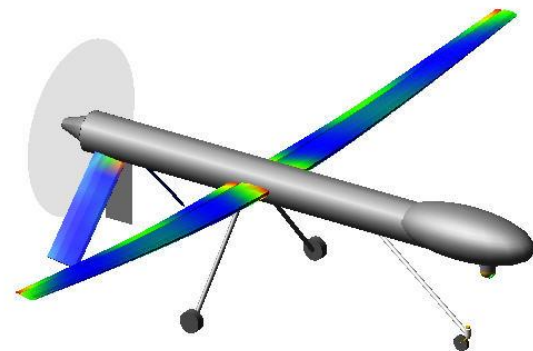


Электрические детали, компоненты...



Многие другие компоненты...

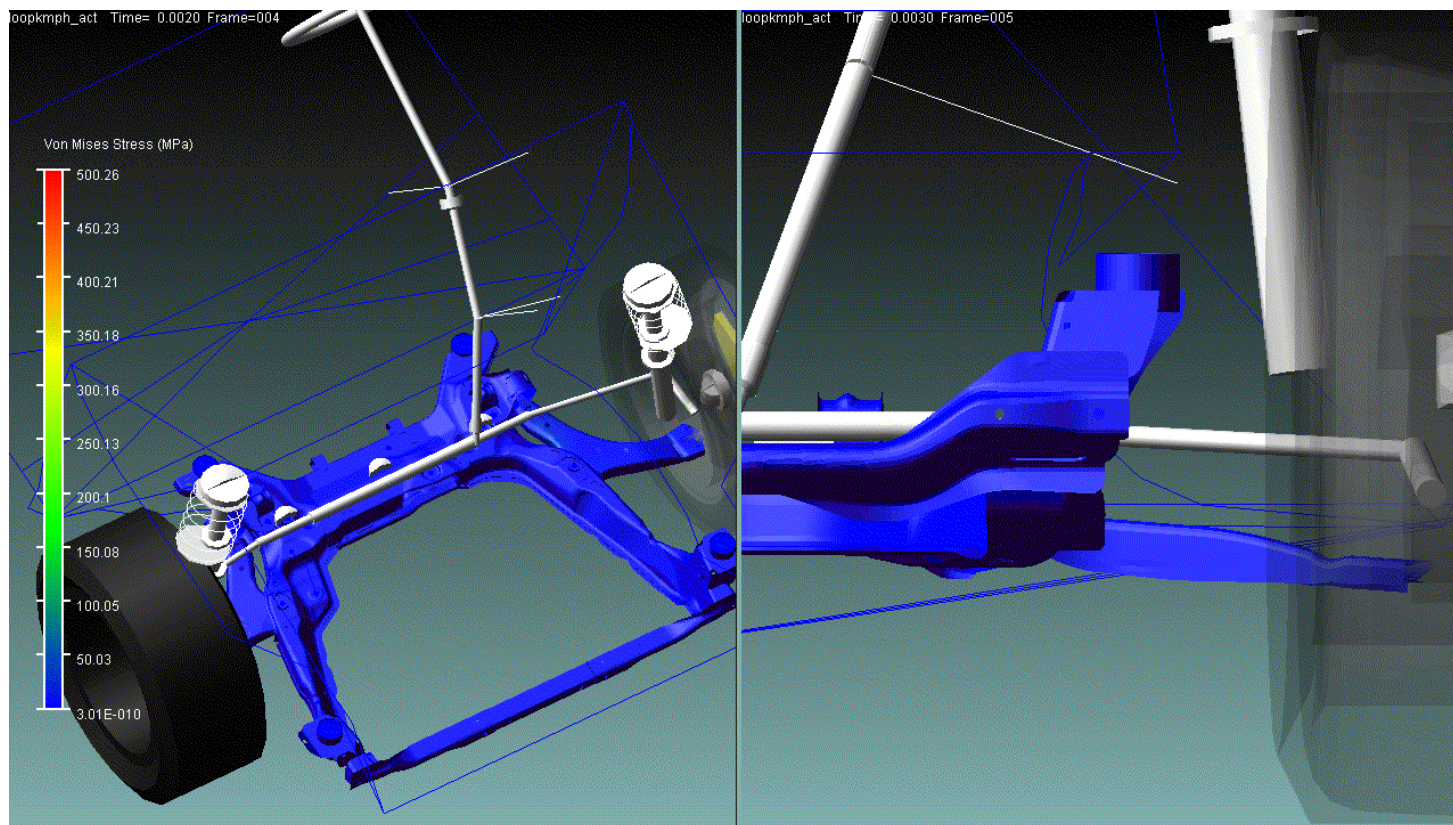
# MaxFlex





# Adams MaxFlex

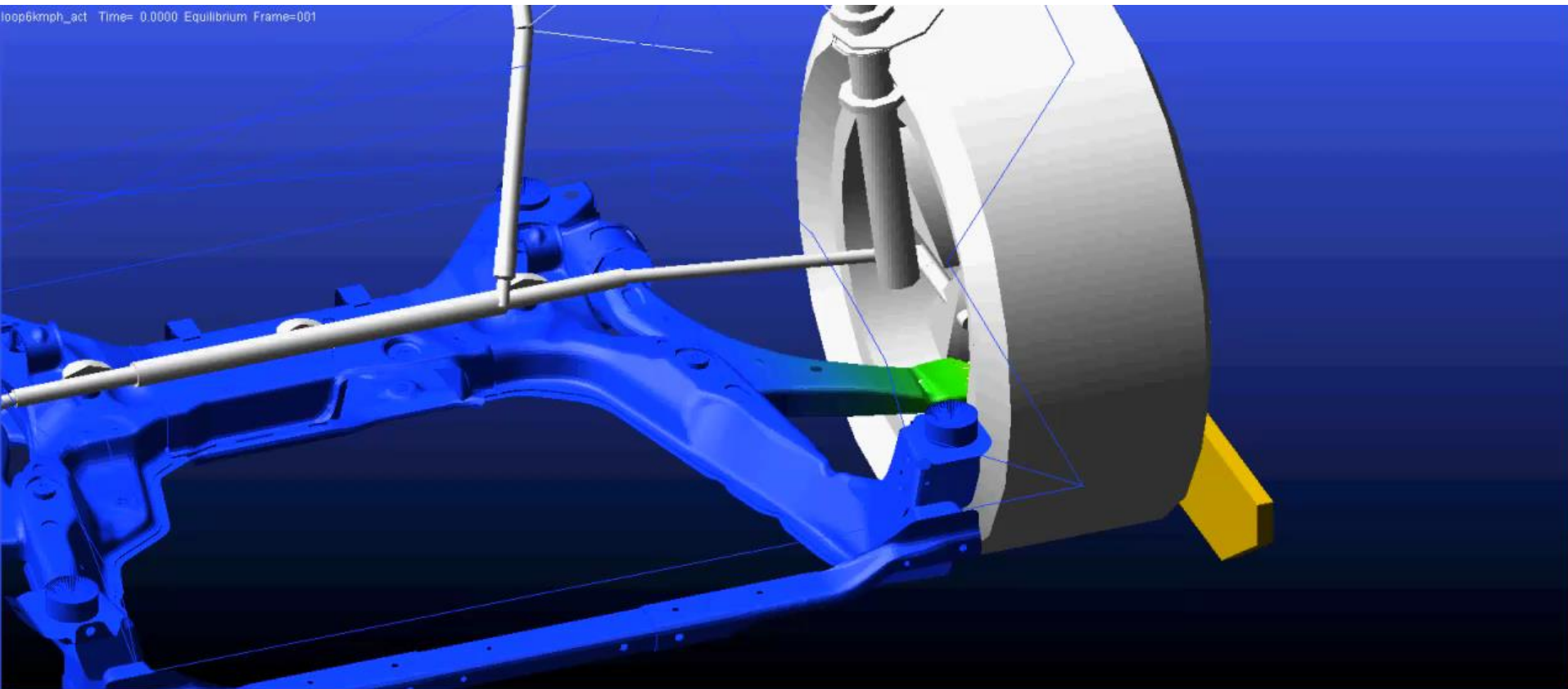
- Встроенная в решатель Adams возможность учёта физической, геометрической и ГУ нелинейностей





# Применение MaxFlex

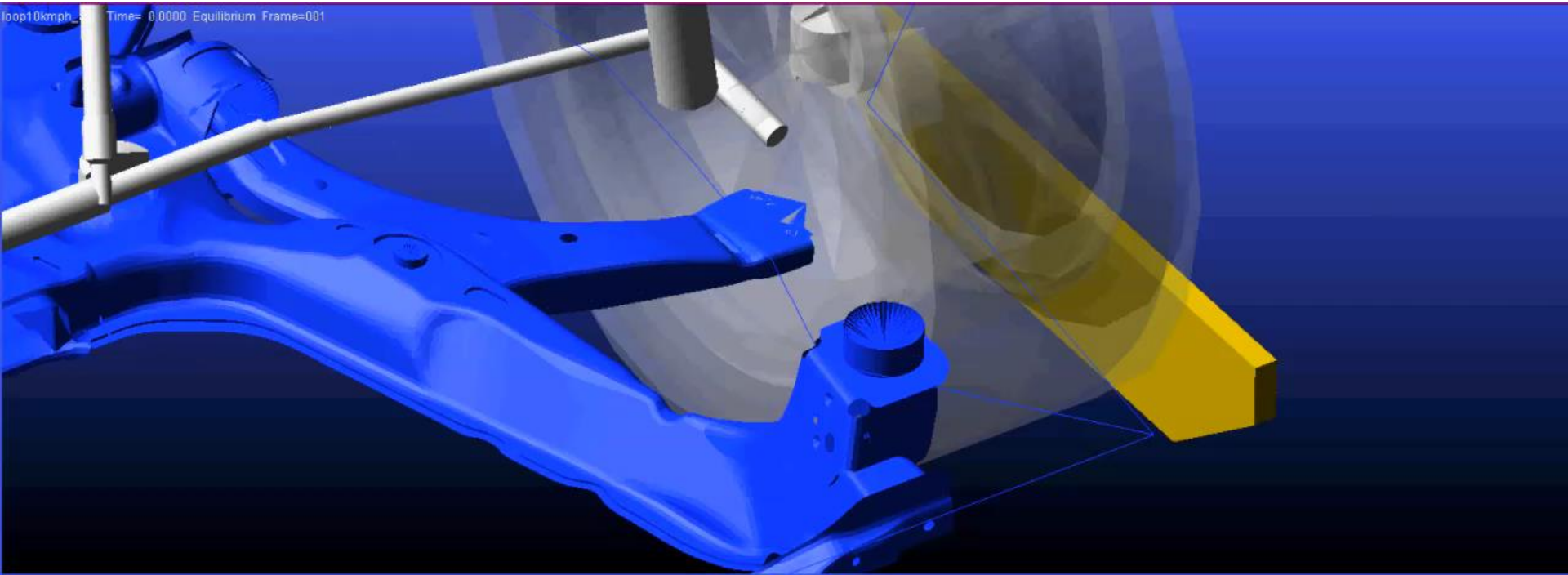
Удар в подвеску автомобиля – упругие тела *линейные*



Model provided by Volvo Cars

# Применение MaxFlex

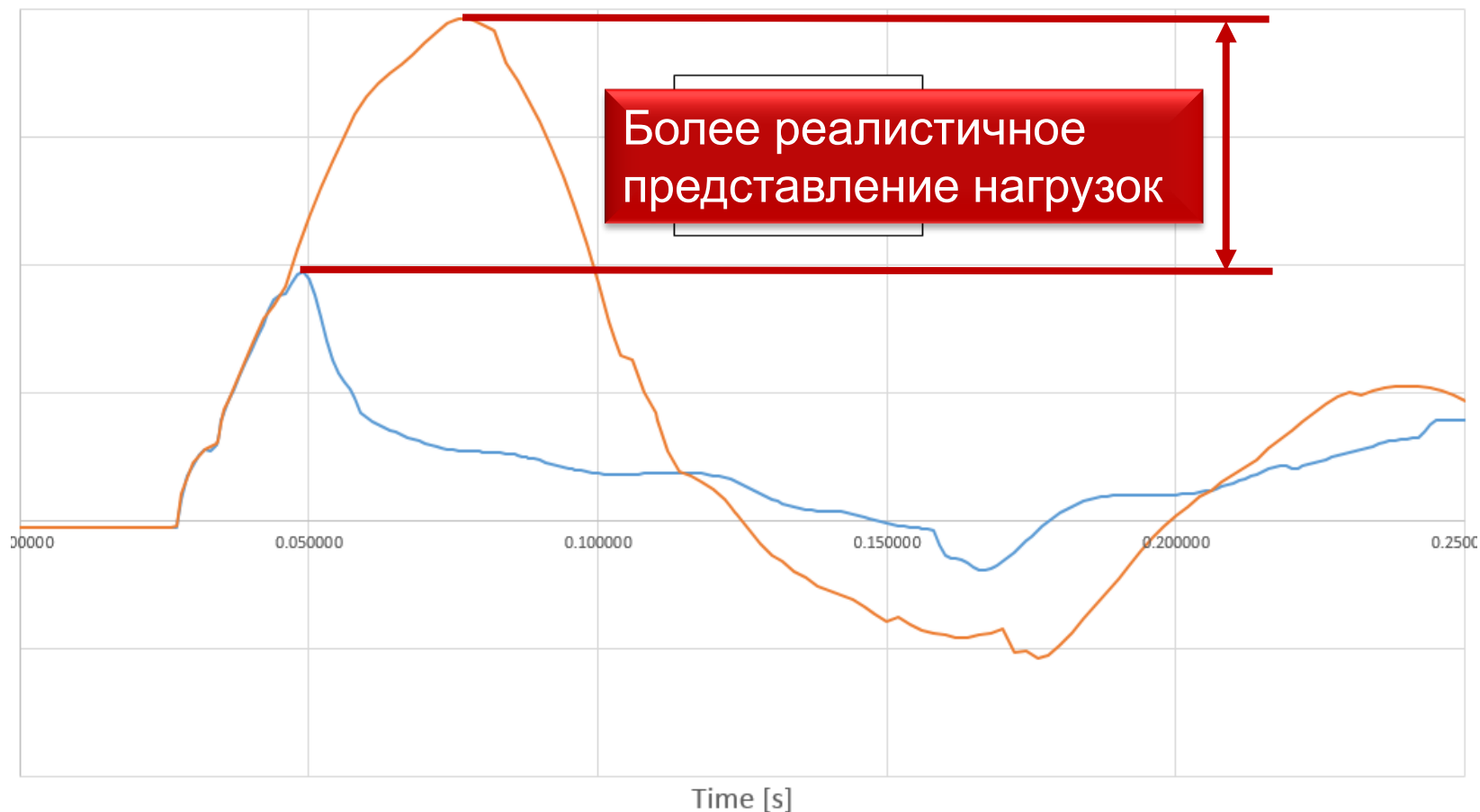
Удар в подвеску автомобиля – упругие тела *нелинейные*



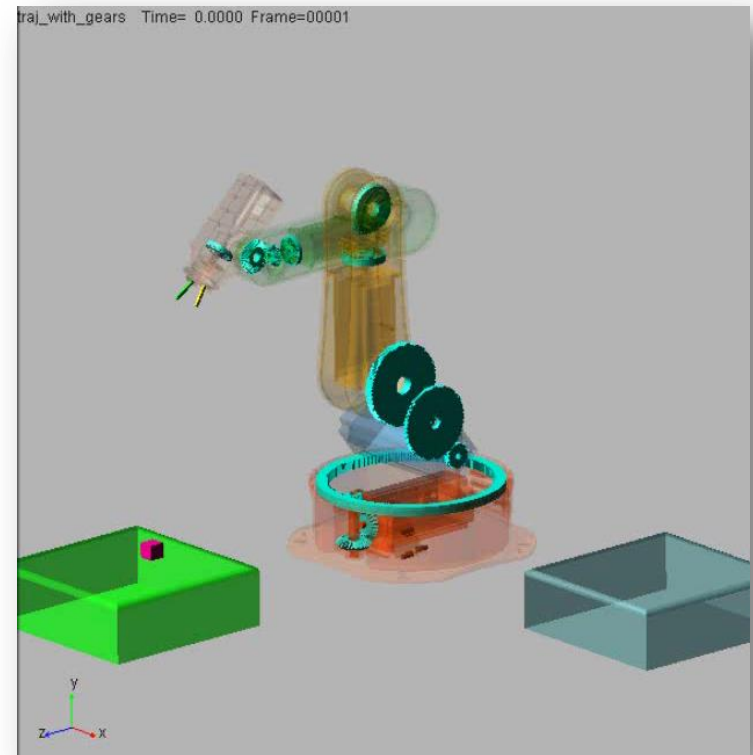
**Model provided by Volvo Cars**

# Применение MaxFlex

- Сравнение продольных сил при линейных упругих телах и нелинейных



# Adams/Machinery

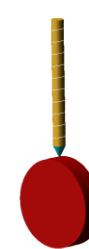
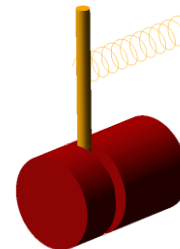
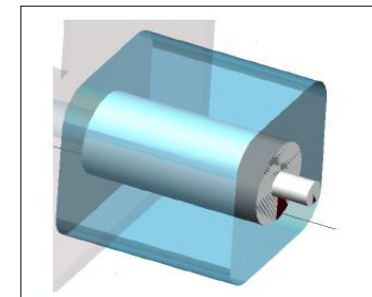
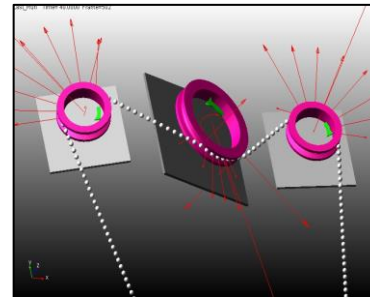
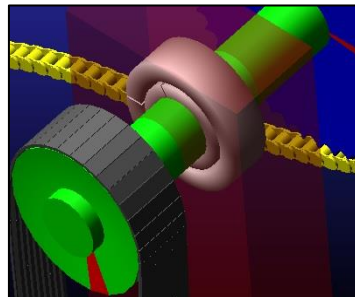
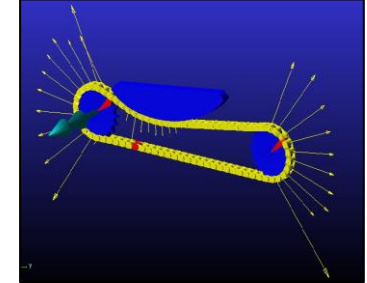
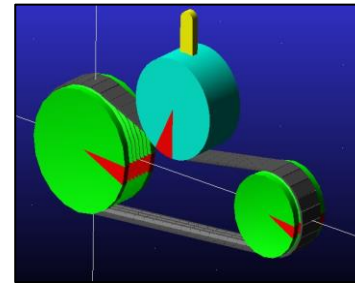
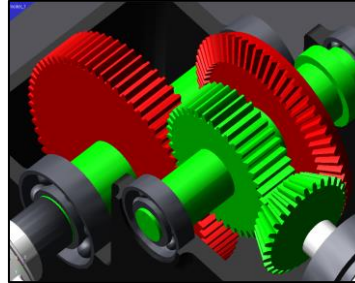




# Adams/Machinery

Новый специализированный модуль для быстрого моделирования:

- Зубчатых передач
- Ременных передач
- Цепных передач
- Подшипников
- Тросовых систем
- Электродвигателей
- Кулачковых механизмов



# Что было раньше...

- Построение комплексных моделей представляло определённые трудности

- В результате

- Подготовка таких моделей занимала много времени

- Требовались знания продвинутого пользователя Adams для использования внутреннего языка программирования

- Узкая направленность каждой модели часто не позволяла использовать модель для других задач

```
variable modify variable=$_self.zinc real = (eval($_self.radius*(cos($_self.newang) - cos($_self.ang)
variable modify variable=$_self.newxcoord real = (eval($_self.xcoord + $_self.xinc))
variable modify variable=$_self.newzcoord real = (eval($_self.zcoord + $_self.zinc))
variable modify variable=$_self.newycoord real = (eval($_self.ycoord + $_self.yinc))

point create point_name = (eval(DVmodel_name//".ground."//$_self.prefix//"_PT_"//$_self.ii//"_B")) &
location = (eval($_self.newxcoord),(eval($_self.newycoord)),(eval($_self.newzcoord))

variable modify variable = $_self.partname string = (eval($_self.prefix//"_P_"//$_self.ii))

variable modify variable = $_self.lengthcyl real=(eval($_self.segrat*(SQRT((($_self.newxcoord-$_self.
*2 + ($_self.newycoord-$_self.ycoord)**2 + ($_self.newzcoord-$_self.zcoord)**2))))

part create rigid_body name_and_position &
part_name = (eval($_self.partname)) &
ground_part = no &
location = 0.0, 0.0, 0.0 &
orientation = 0.0, 0.0, 0.0

marker create &
marker_name = MAR_1 &
location = (eval($_self.xcoord),(eval($_self.ycoord),(eval($_self.zcoord)) &
orientation = (ORI_ALONG_AXIS((eval(DVmodel_name//".ground."//$_self.prefix//"_PT_"//$_self.ii))
DVmodel_name//".ground."//$_self.prefix//"_PT_"//$_self.ii//"_B")), "Z"))

marker create &
marker_name = MAR_2 &
location = (LOC_ON_AXIS(MAR_1,(eval($_self.lengthcyl)), "Z")) &
orientation = (ORI_ALONG_AXIS((eval(DVmodel_name//".ground."//$_self.prefix//"_PT_"//$_self.ii))
DVmodel_name//".ground."//$_self.prefix//"_PT_"//$_self.ii//"_B")), "Z"))

marker create &
marker_name = MAR_CM &
location = (LOC_ON_AXIS(MAR_1,(eval($_self.lengthcyl/2.)), "Z")) &
orientation = (ORI_ALONG_AXIS((eval(DVmodel_name//".ground."//$_self.prefix//"_PT_"//$_self.ii))
DVmodel_name//".ground."//$_self.prefix//"_PT_"//$_self.ii//"_B")), "Z"))

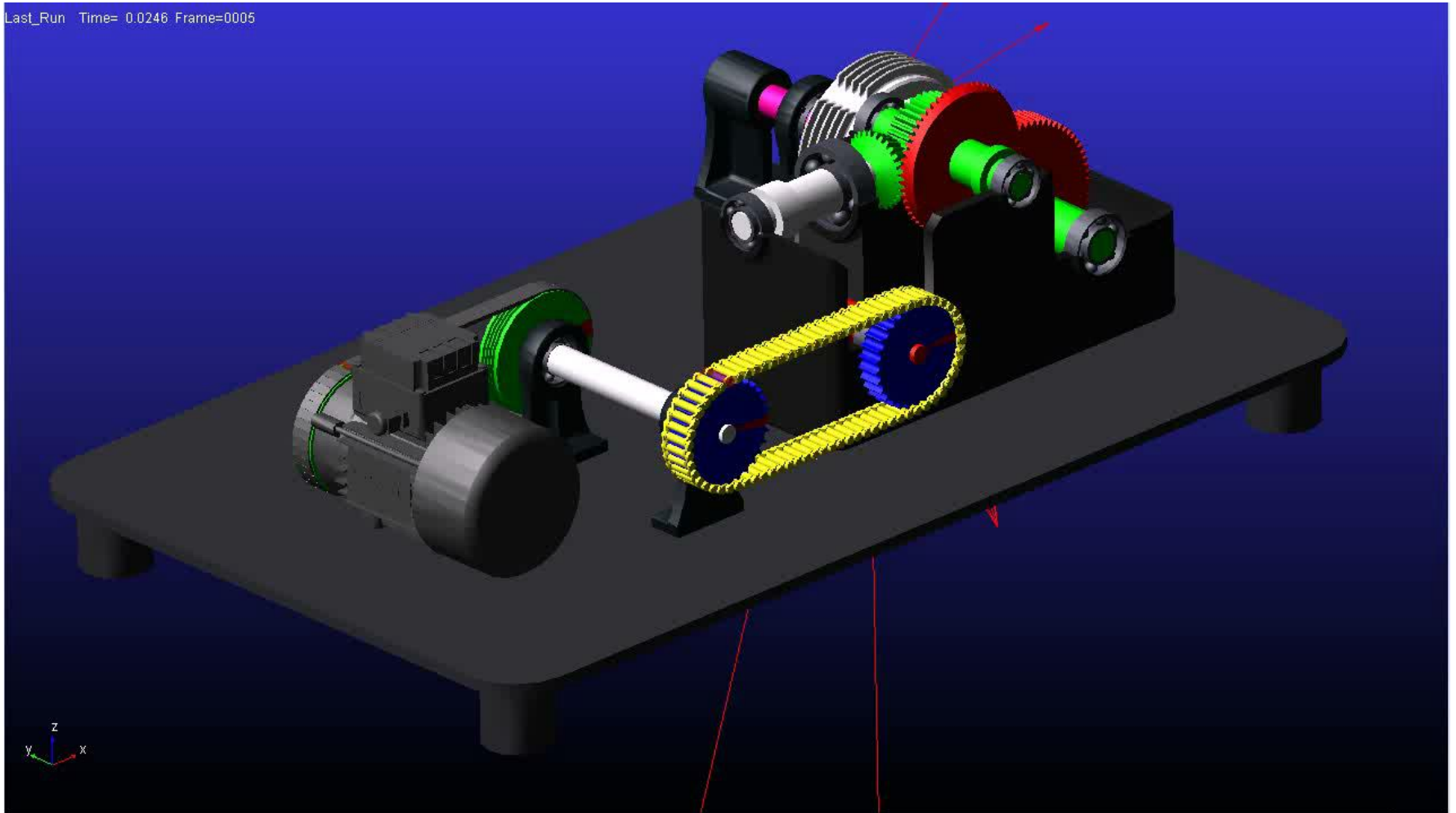
variable modify variable=$_self.ixx real=(eval($_self.cyl_mass*(0.25*$_self.linkrad**2 + 0.083333*
$_self.lengthcyl**2)))
variable modify variable=$_self.iyy real=(eval($_self.ixx))

part create rigid_body mass_properties &
part_name = (eval($_self.partname)) &
mass = (eval($_self.cyl_mass)) &
center_of_mass_marker = MAR_CM &
inertia_marker = MAR_CM &
ixx = (eval($_self.ixx)) &
iyy = (eval($_self.iyy)) &
izz = (eval($_self.izz)) &
ixy = 0 &
ixz = 0 &
iyz = 0

geometry create shape cylinder &
cylinder_name= (eval("CYL_"//$_self.ii)) &
center_marker=MAR_1 &
length = (eval($_self.lengthcyl)) &
```

# Решение Adams/Machinery

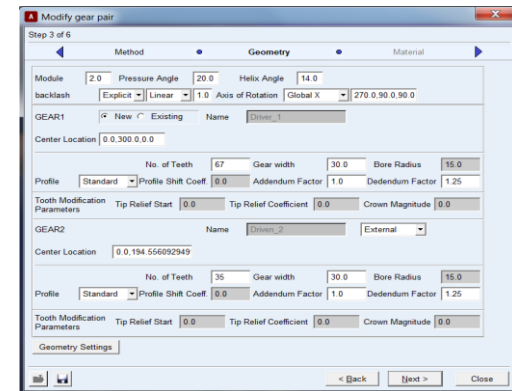
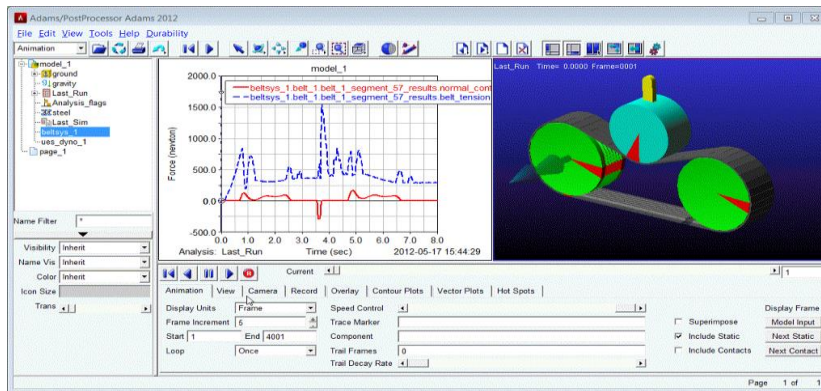
Last\_Run Time= 0.0246 Frame=0005



Подготовка компонентов для подобных моделей с помощью удобных пошаговых сценариев за существенно меньшие сроки!

# Основные преимущества Adams/Machinery

- Высокоточное и быстрое моделирование стандартных деталей
- Пошаговое построение механизма для ускорения процесса проектирования и простоты дальнейшего использования модели
- Обработка результатов расчёта в постпроцессоре Adams
- Уменьшение времени моделирования отдельных узлов на 80% - 90%
- Создание детальной и реалистичной модели без привлечения высококвалифицированного специалиста
- Лучшее представление о работе механизма в целом – диагностика ошибок

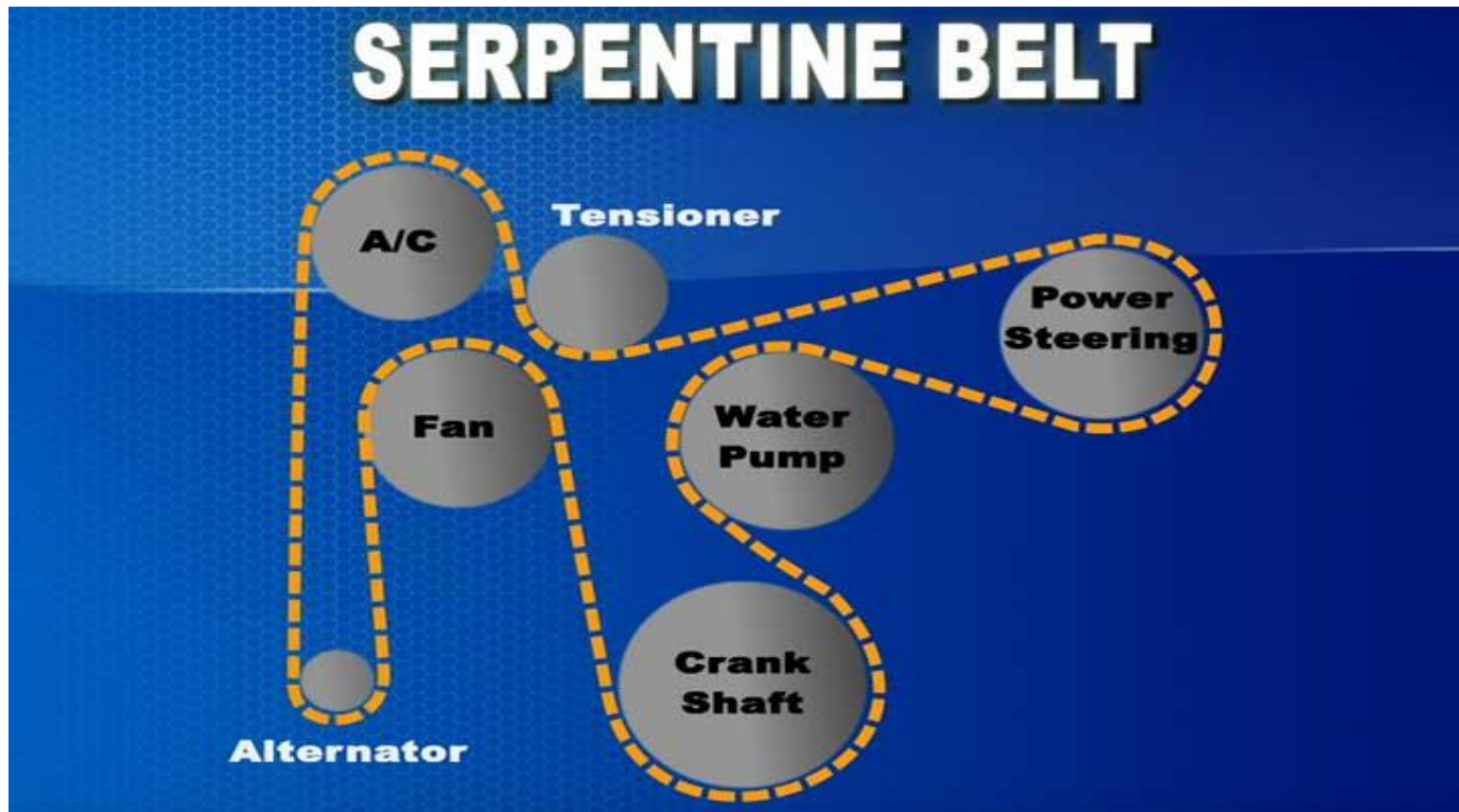




# Примеры применения Adams/Machinery

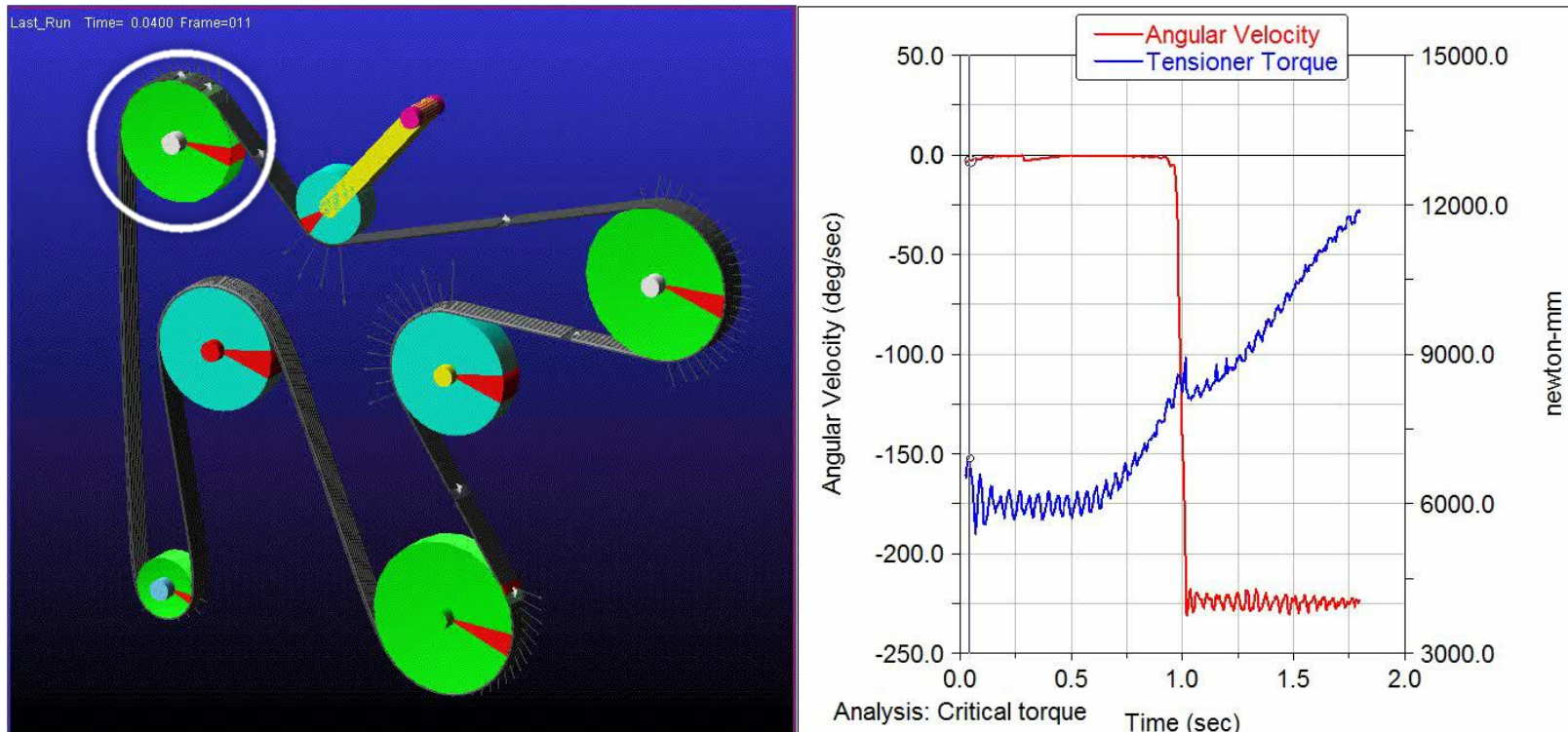


# Система привода навесного оборудования ДВС



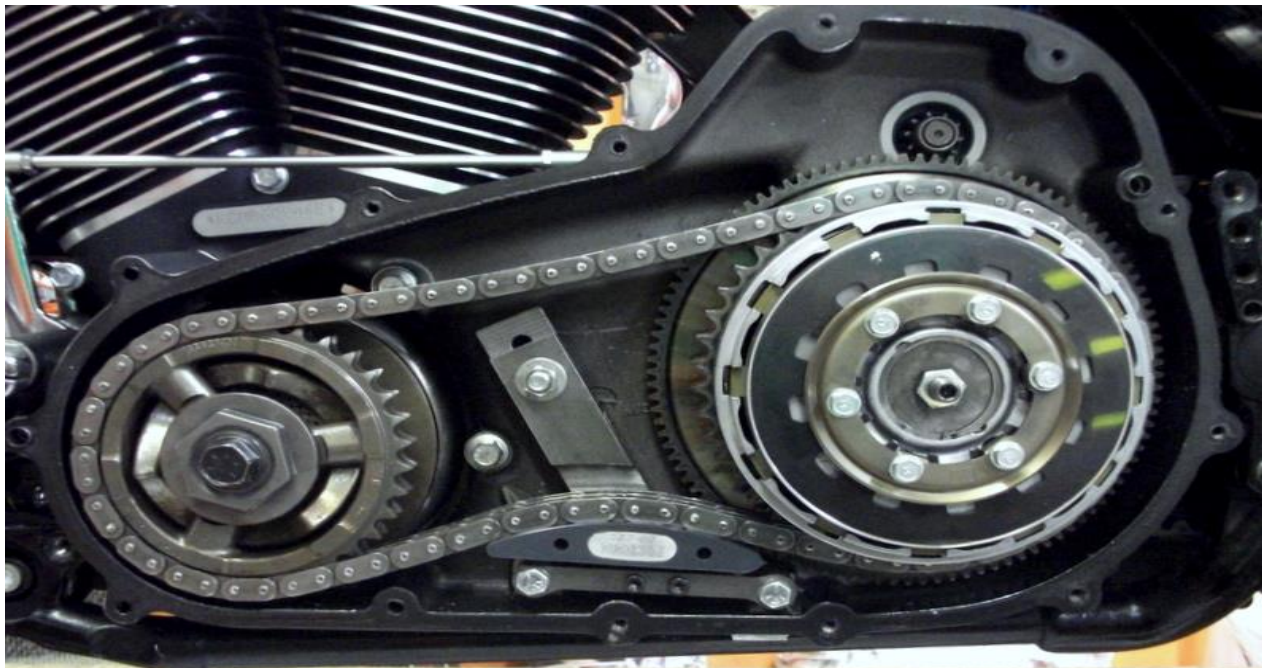
# Система привода навесного оборудования ДВС

**Постановка задачи:** определить оптимальную силу натяжения, для исключения проскальзывания ремня



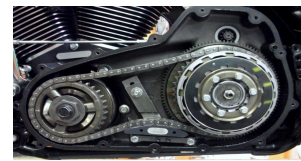
- ✓ *Определено минимально необходимое усилие натяжителя*
- ✓ *Параметры ремня подходят для условий эксплуатации*
- ✓ *Минимальные паразитные потери и максимальная эффективность*

# Динамическое поведение цепи

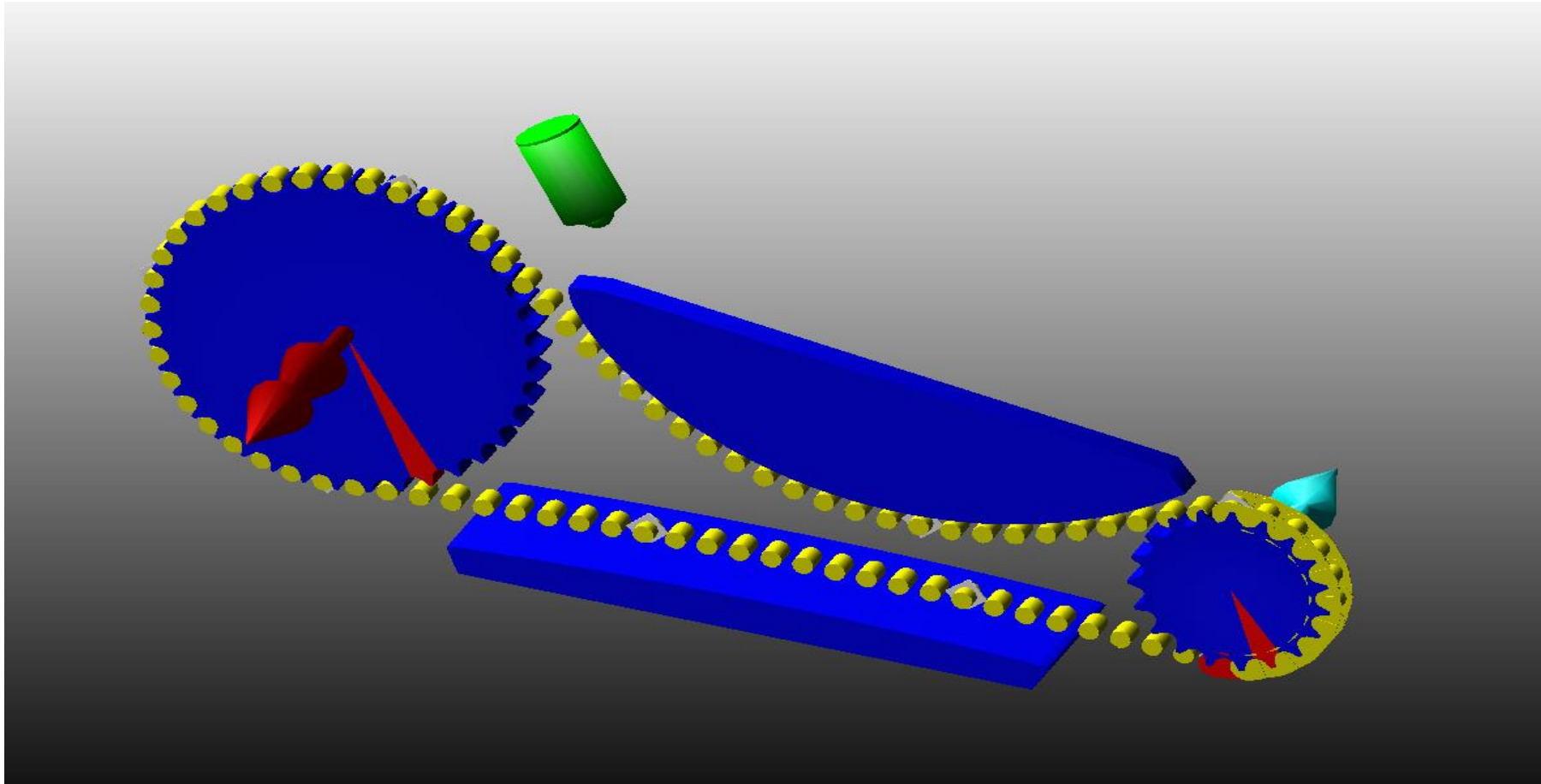




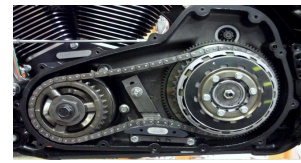
# Динамическое поведение цепи



**Постановка задачи:** При испытаниях обнаружены недопустимые колебания цепи. Подробное моделирование и верификация с натурным изделием позволит найти решение проблемы на виртуальной модели

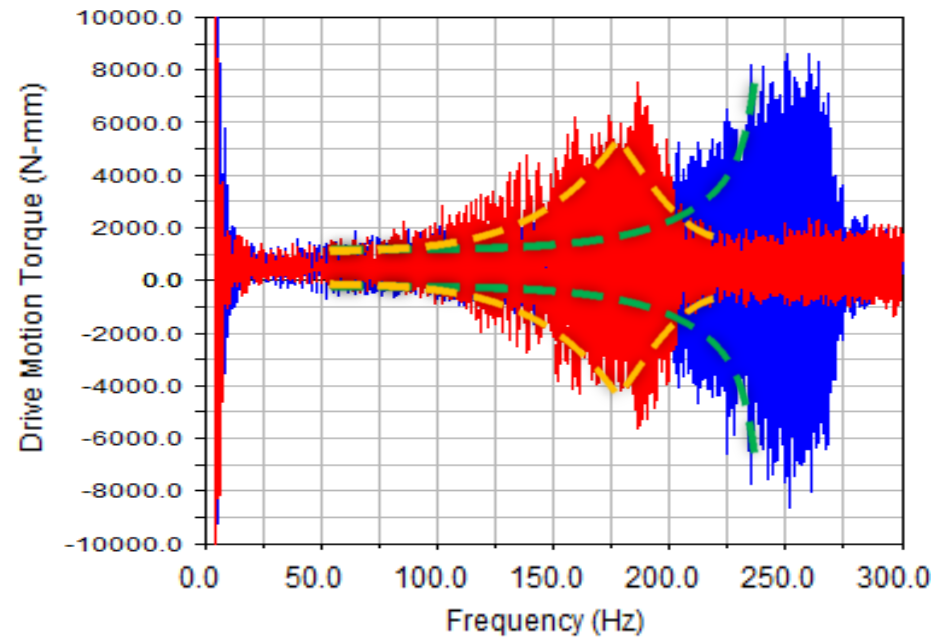


# Динамическое поведение цепи



**Результат:** После исследования чувствительности параметров модели была получена точная виртуальная модель системы, поведение которой совпадает с результатами испытаний. После чего модель может эффективно использоваться для устранения опасного явления («флаттер» цепи)

- ✓ **Модель верифицирована с результатами испытаний**
- ✓ **Резонансная частота сдвинута в допустимую зону**
- ✓ **Параметры системы остались в рамках установленных ограничений**

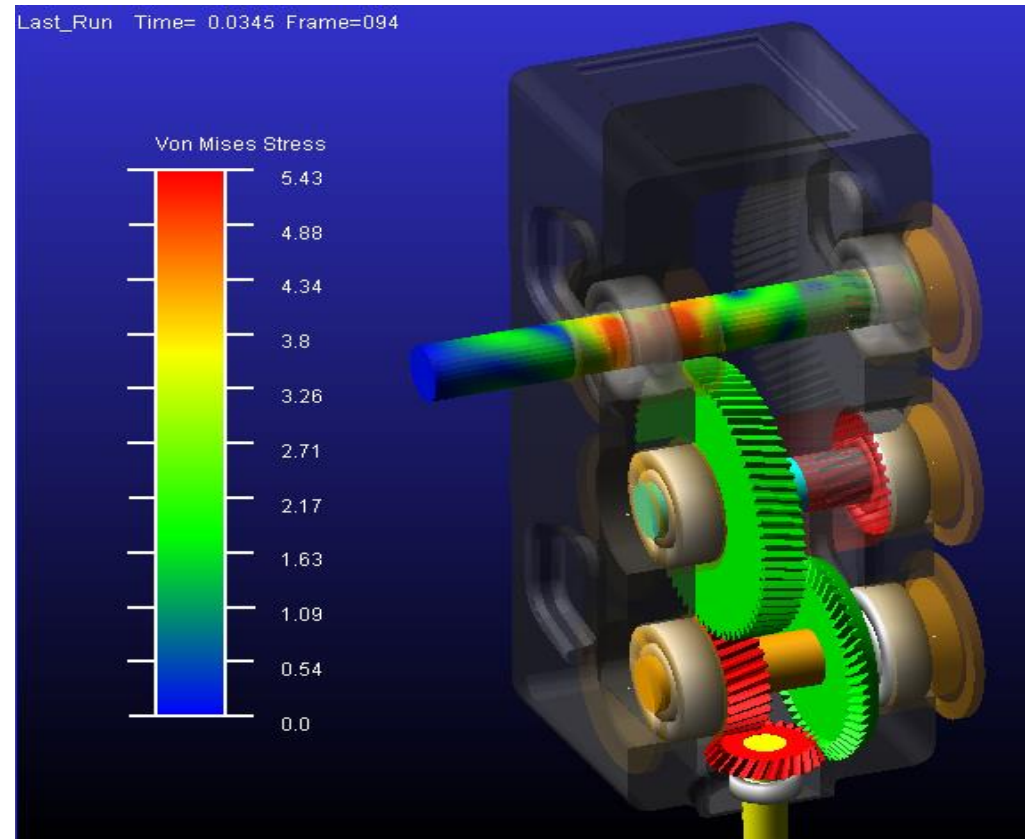
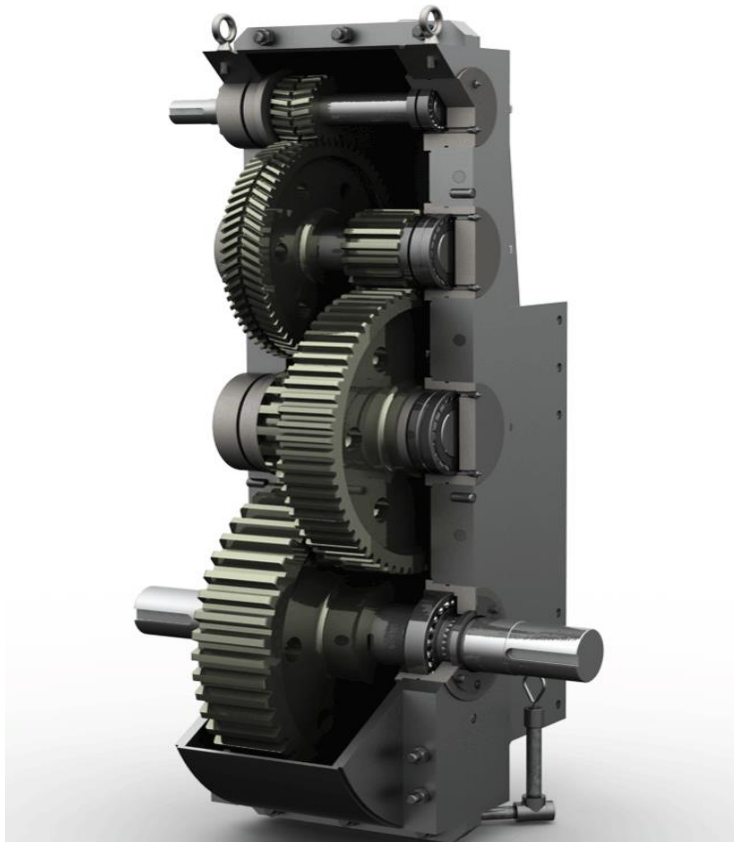


- *Расчёт:* без предварительного натяжения
- *Расчёт:* с предварительным натяжением
- *Испытания:* без предварительного натяжения
- *Испытания:* с предварительным натяжением

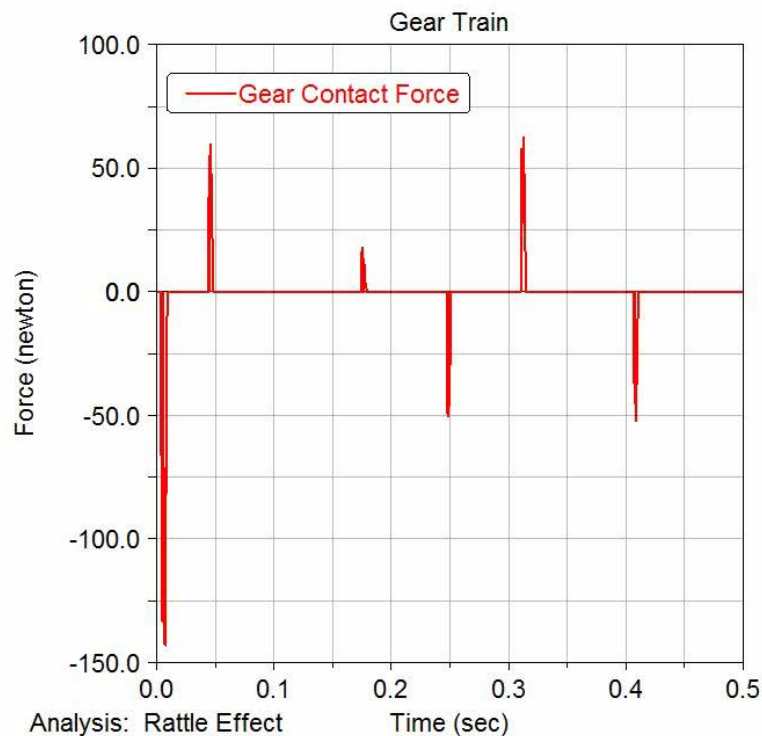
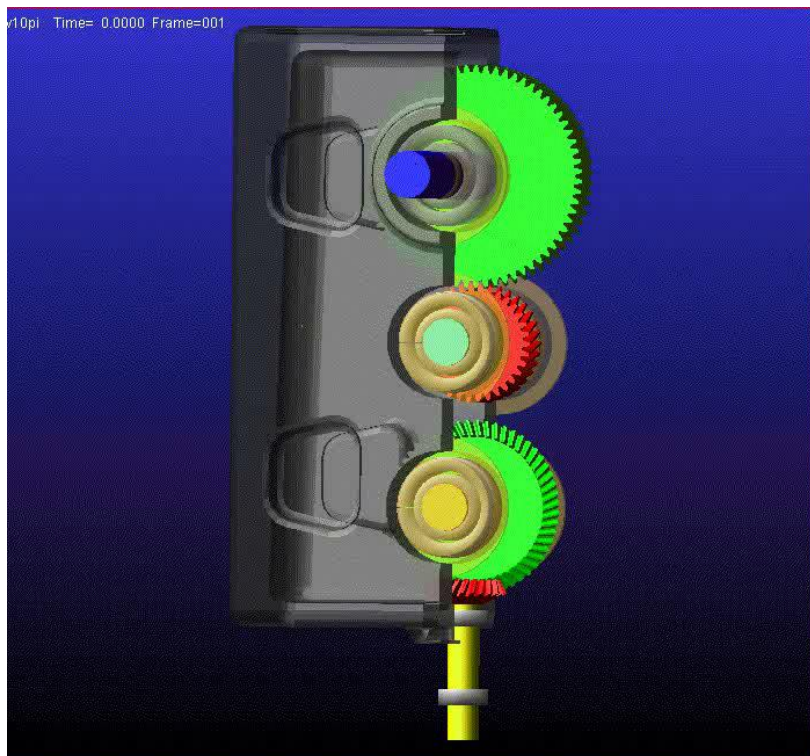
# Дребезг зубчатой передачи



**Постановка задачи:** Исследовать систему на предмет возникновения дребезга шестерён от передачи расчётной нагрузки



# Дребезг зубчатой передачи

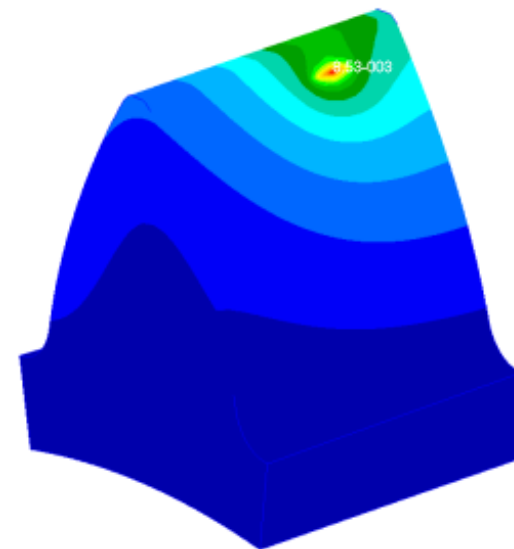


*(Расчёт: 0.5 сек, 300 шагов, время расчёта = 20 мин)*

- ✓ Исследование двустороннего контакта
- ✓ Построенная модель позволяет выявить параметры существенно влияющие на поведение системы
- ✓ Следующим шагом будет проведение виртуальных экспериментов на полученной модели для устранения обнаруженного эффекта



# Gears AT



# Высокоточное моделирование зубчатых передач и подшипников Bearings / Gears AT - Toolkits

Расчёт в Adams при подготовке данных в MSC Nastran

**A/View**

The A/View workflow consists of four main stages:

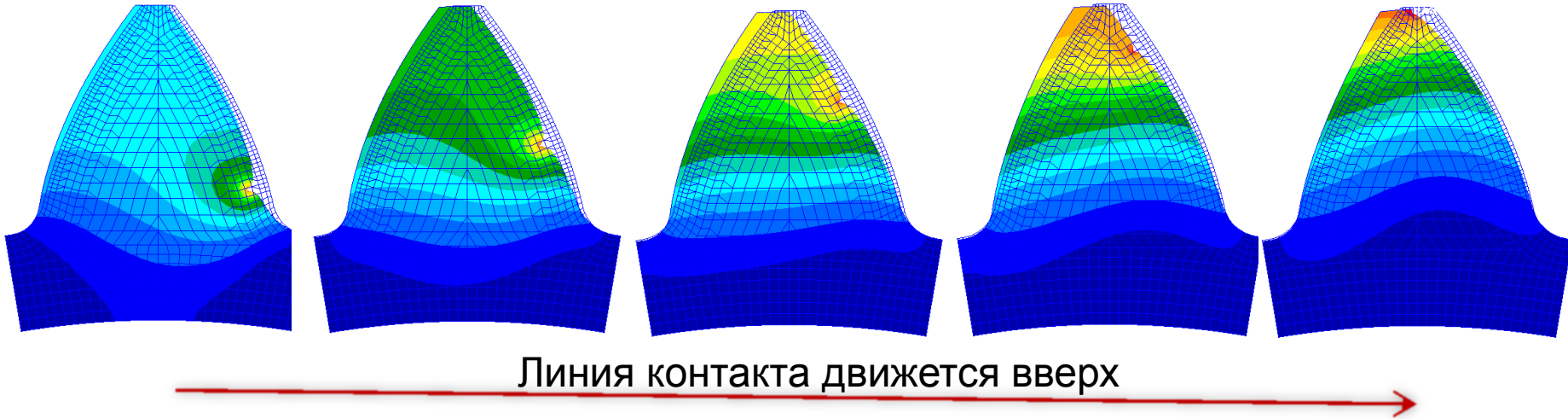
- Описание характеристик (Description of characteristics):** A screenshot of the software interface showing a graph of 'Bearing curve' with various parameters listed on the left.
- Создание модели (Model creation):** Two 3D meshed models of gear teeth, one showing the full tooth and another showing a cross-section.
- Предварительный расчёт (Preliminary calculation):** A screenshot of the MSC Nastran simulation interface showing a stress distribution on a gear tooth. Below it, a diagram illustrates the application of forces and torques, including labels for 'PENETRATION', 'AXIAL', 'TORQUE', and 'MISALIGNMENT'.
- Сборка модели в Adams (Assembly in Adams):** A 3D cutaway view of a complete gear assembly with multiple gears and bearings.

**A/Post**

The A/Post results section displays three key outputs:

- Special capabilities (Специальные возможности):** A graph titled 'Roller loads' showing force in Newtons over time (0 to 1.0 seconds) for multiple rollers.
- Contact patch (Пятно контакта):** A 2D heatmap showing the contact area between two surfaces, with a color scale from blue (low) to red (high).
- Typical results (Типовые результаты):** A 3D model of a gear assembly with a highlighted contact area on one of the gears.

# Упругие зубья в передаче



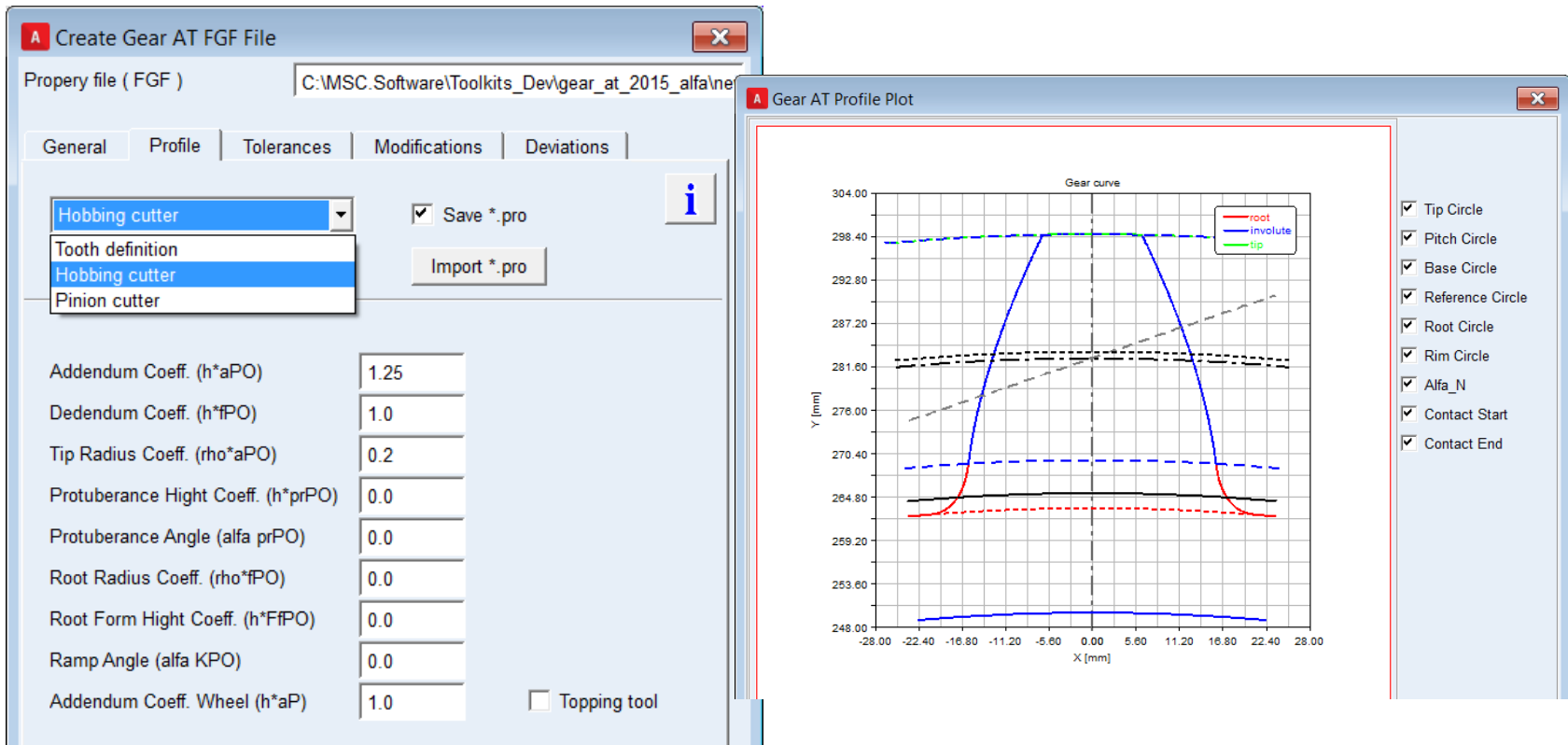
## Формы

- Любая форма зубьев и их модификаций
- Прямозубые и косозубые шестерни
- Внешняя или внутренняя шестерёнчатая передача

## Точность

- КЭ описание жесткостных характеристик
- Взаимодействие через пятно контакта

# Построение профиля по общепринятым параметрам



## Методы построения профиля зубьев

- Коэффициенты или абсолютные значения
- Нарезка, фрезерование зубьев или прямое указание формы
- Проверка геометрии измерением базовых характеристик зуба

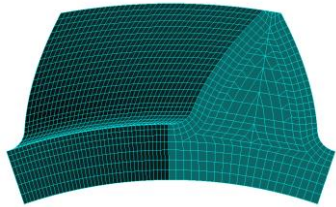
**Возможность задания погрешностей при изготовлении**



# Моделирование взаимодействия зубьев

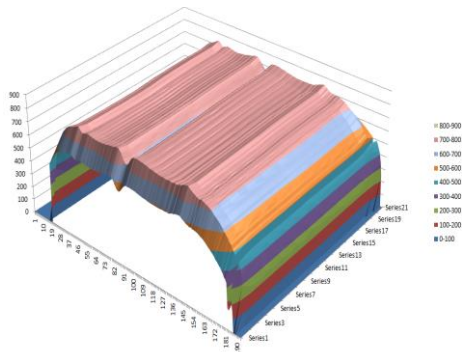
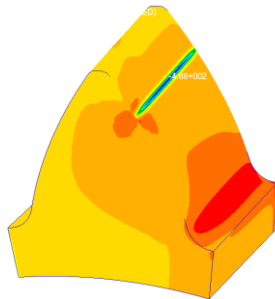
## КЭ сетка

- Автоматическое построение
- Контроль плотности сетки



## Контактный алгоритм

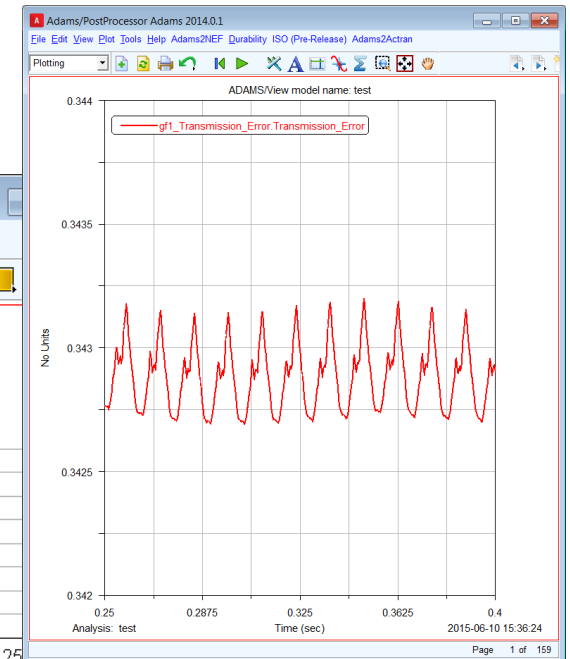
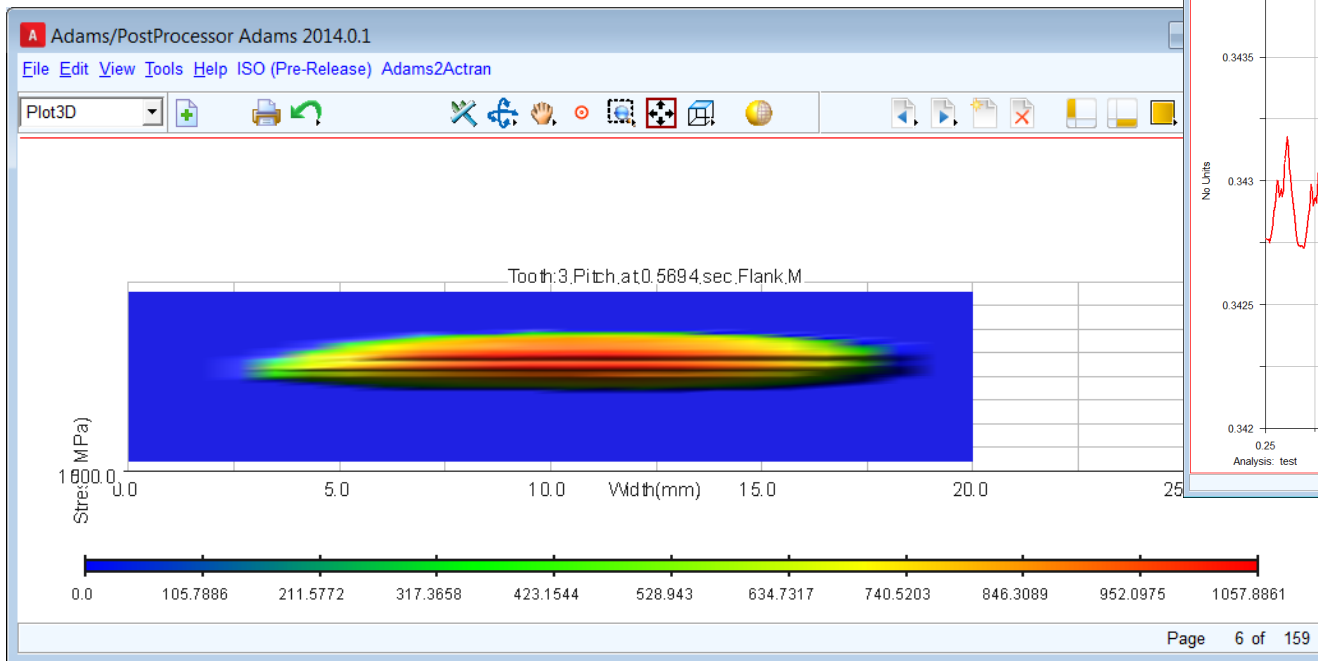
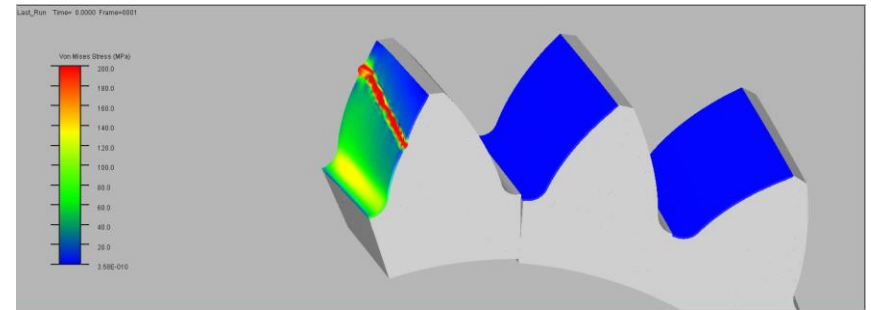
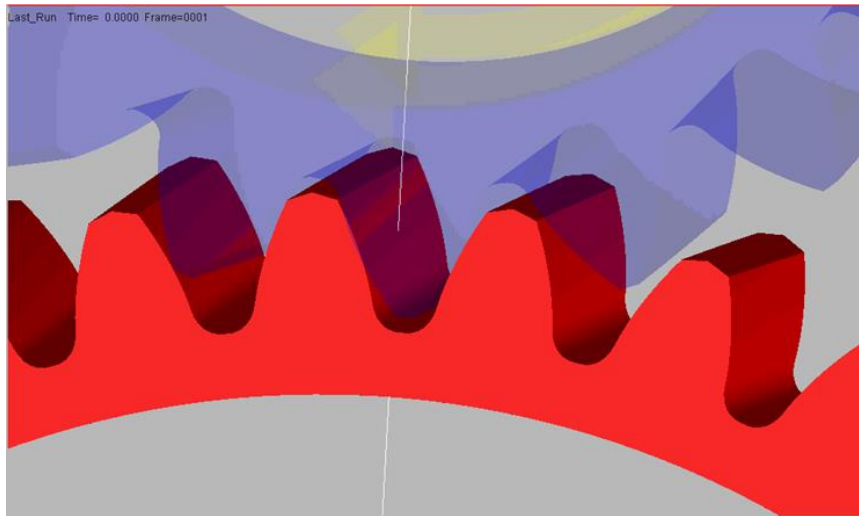
- Контакт поверхность-поверхность
- Учёт микрогеометрии - шероховатости
- Полная деформация зубьев
- Трение, демпфирование
- **Высокопроизводительный внутренний алгоритм**
- Сопоставимое с твердотельным контактом время расчёта



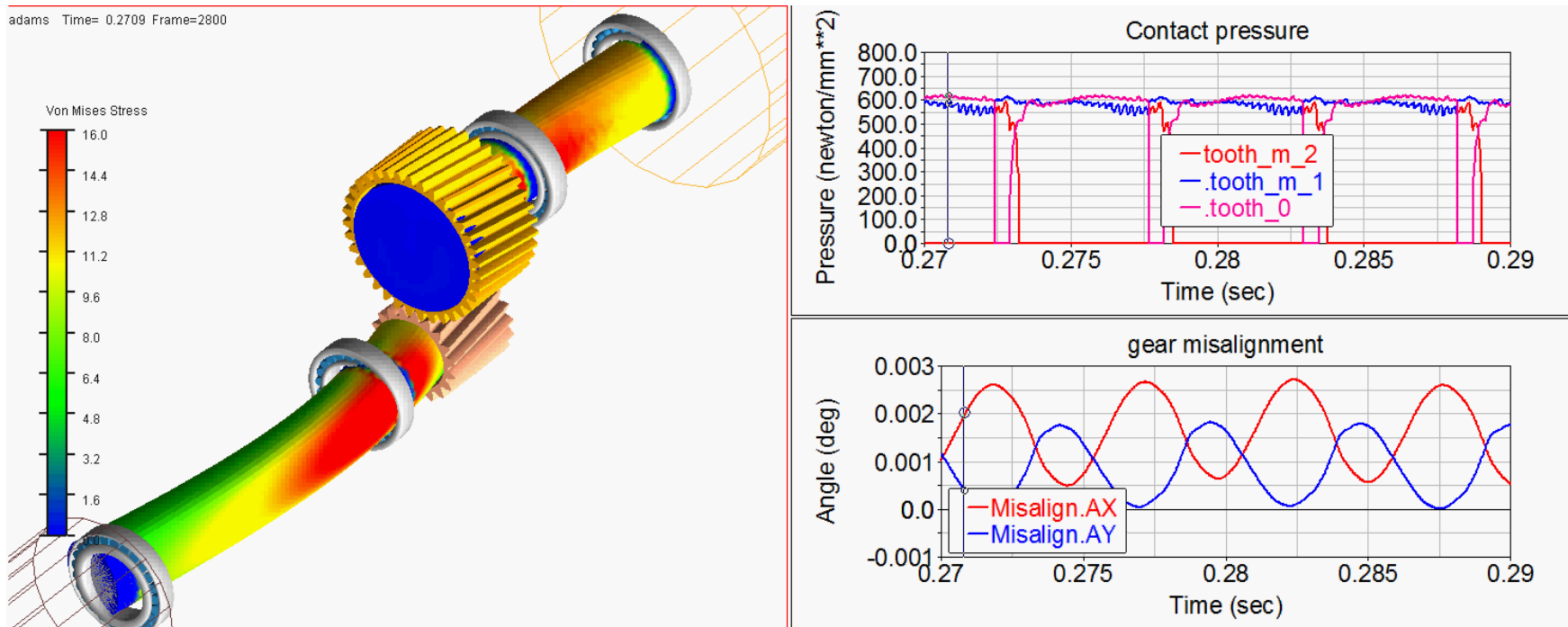
## Результаты

- Силы и моменты
- Контактные напряжения, потери (на трение)
- Пятно контакта
- Ошибки в передаче

# Вывод КЭ результаты



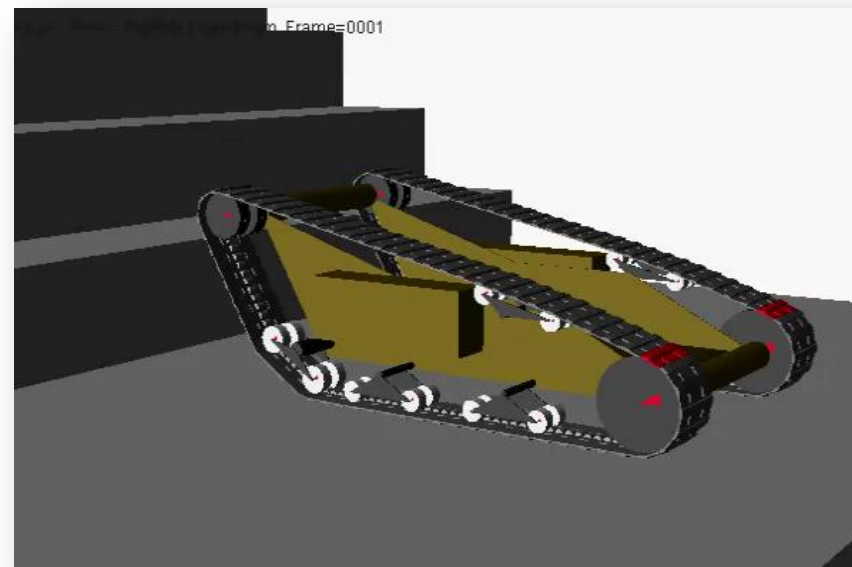
# Подробная модель + упругие валы



Подход: поведение шестерен и подшипников при деформациях  
→ Широкие расчётные возможности с минимумом допущений

**Цель: учёт реалистичных деформаций при реалистичных граничных условиях и условиях нагружения**

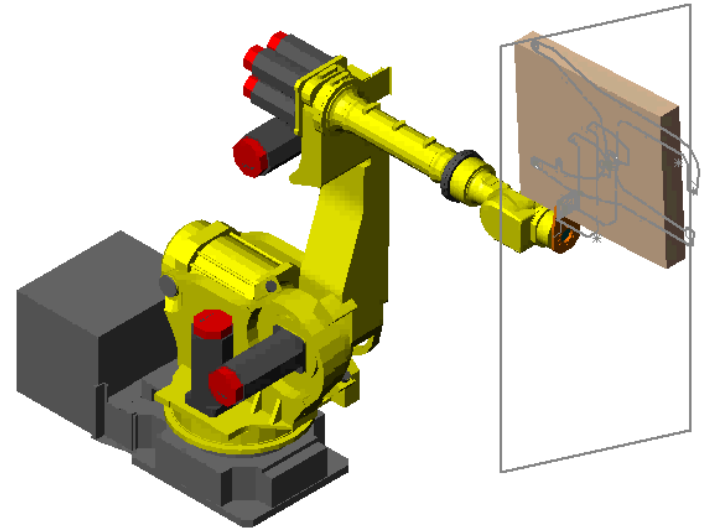
# Примеры применения Adams





# Манипуляторы KUKA

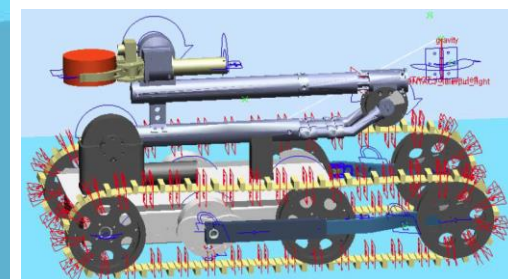
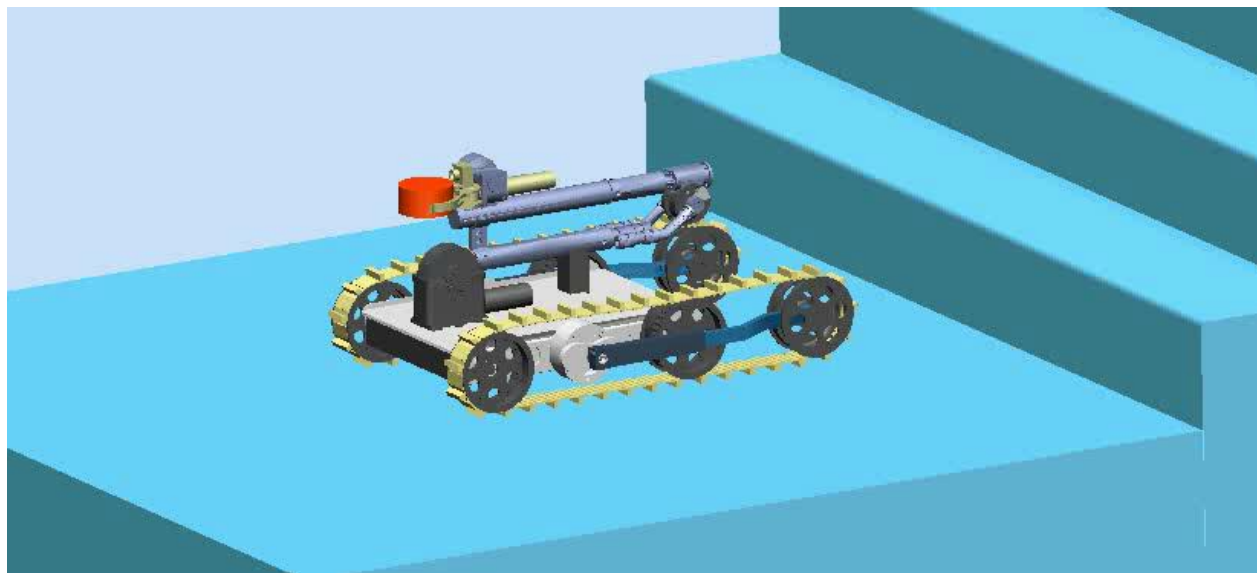
- Моделирование работы промышленных манипуляторов
- Определение нагрузок, расчёт траекторий при работе...
- Оптимизация производства
- Согласование работы всей линии



**KUKA**

# Создание автономных роботов

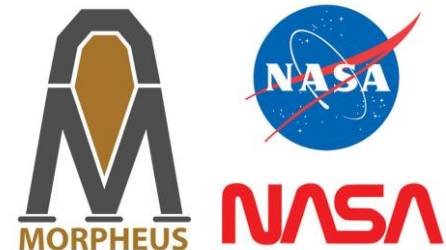
- Лаборатория Робототехники и автоматизации
- Разработка универсальных шасси



В проектировании и испытаниях роботов широко используется **Adams** и **Adams Tracked Vehicle**

# Проект Morpheus vehicle

- Прототип космического аппарата для отработки вертикального взлёта и посадки разработан в NASA
- Новейшая нетоксичная силовая установка
- Сложная система стабилизации и управления
- Среди целей проекта – создание на основе проекта Morpheus полноценного лунного модуля для доставки грузов

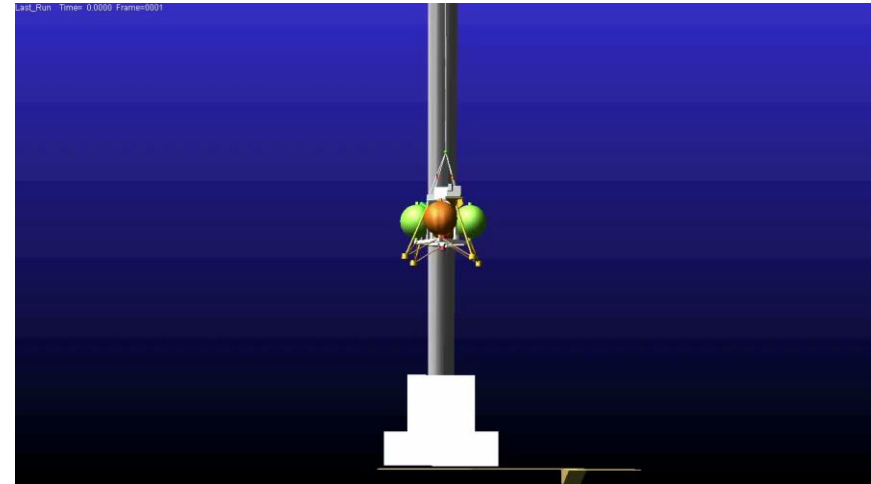


# Проект Morpheus vehicle

- **Натурные испытания прототипа**



- **Виртуальные испытания в Adams**



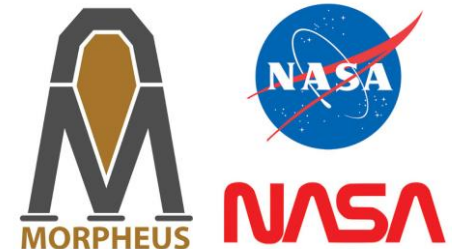
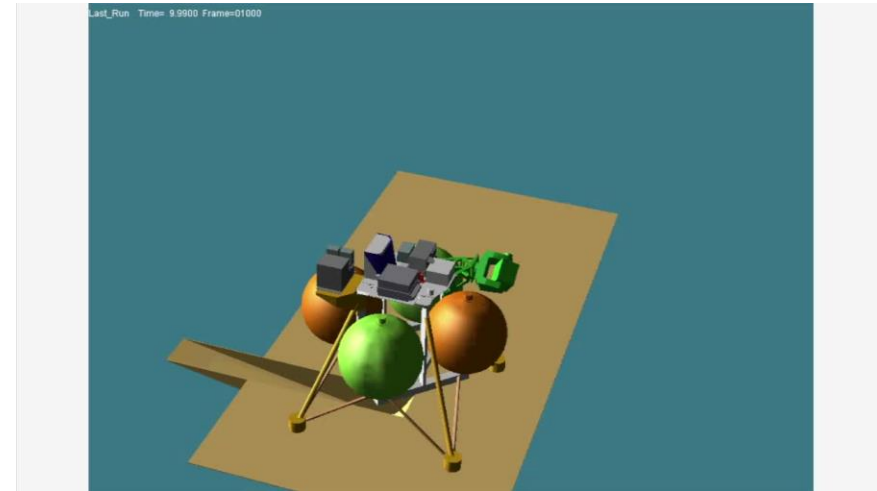


# Проект Morpheus vehicle

- **Натурные испытания прототипа**



- **Виртуальные испытания в Adams**

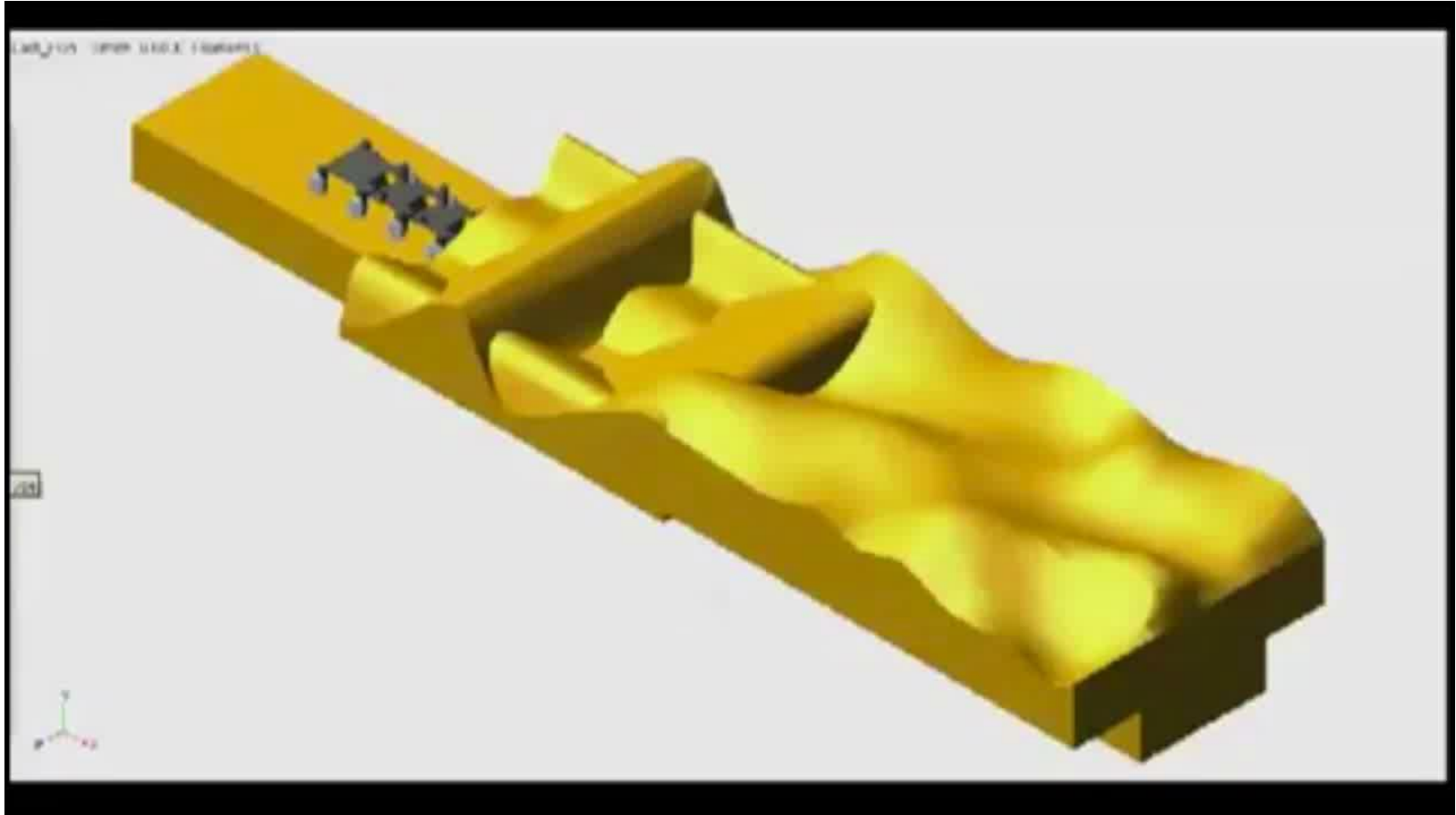


# Работа в ограниченном пространстве

Индийский международный  
институт информационных  
технологий



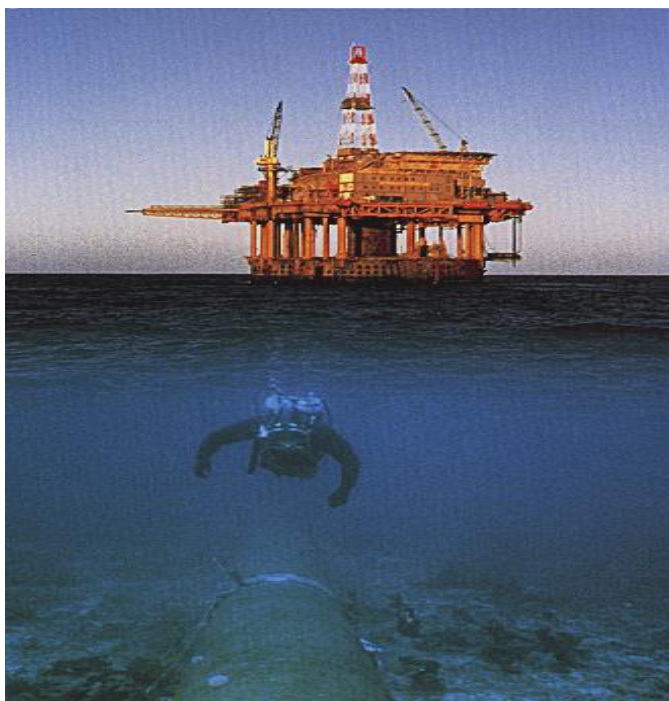
IIIT-H



Применение **Adams** для моделирования и верификации лабораторных и натуральных экспериментов

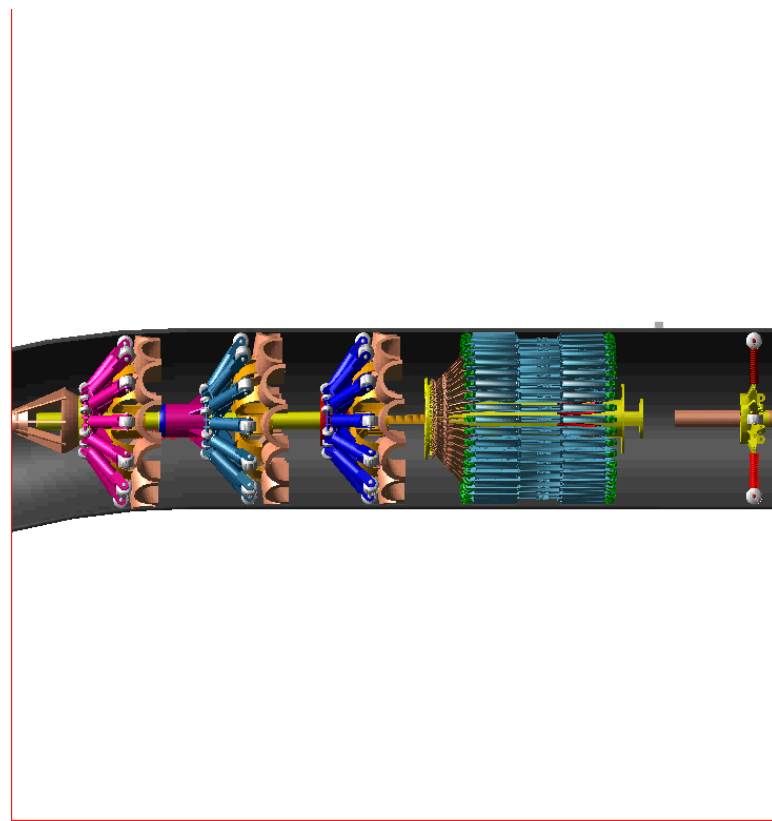
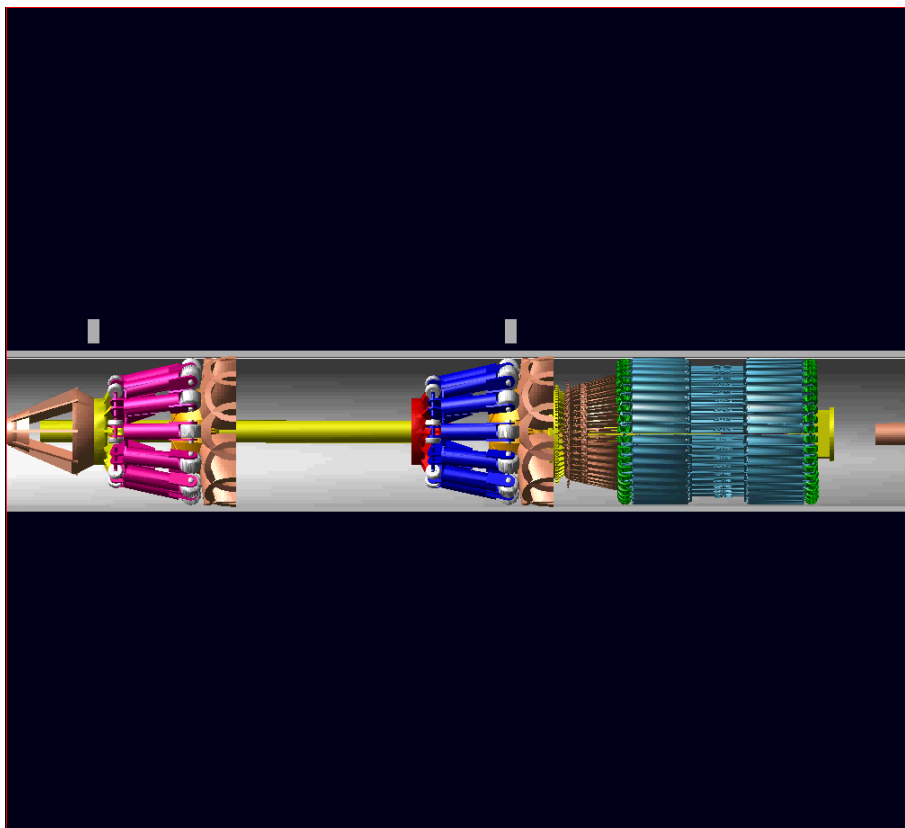
# Моделирование работы устройства для дефектоскопии труб

- Оценка возможности выхода из строя и застревания устройства для дефектоскопии труб
- Устранение недостатков устройства для дефектоскопии



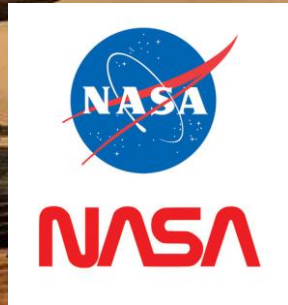
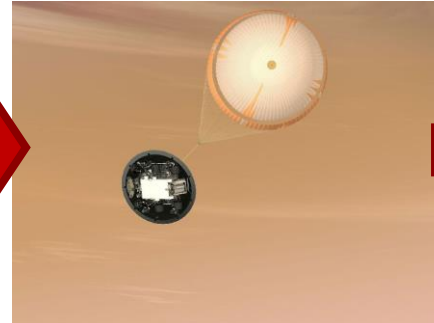
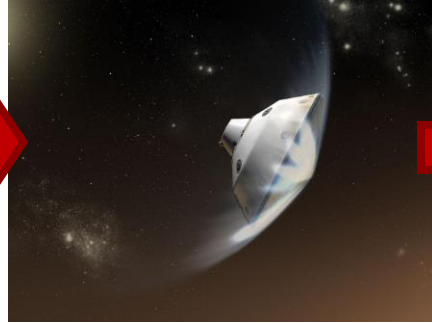
# Моделирование работы устройства для дефектоскопии труб

- Полная виртуальная модель в *Adams*
- Созданный виртуальный прототип позволил выявить недостатки устройства дефектоскопии труб и сделать необходимые конструктивные изменения для их устранения



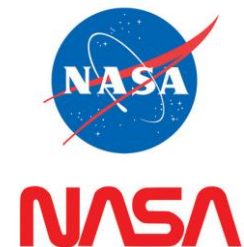
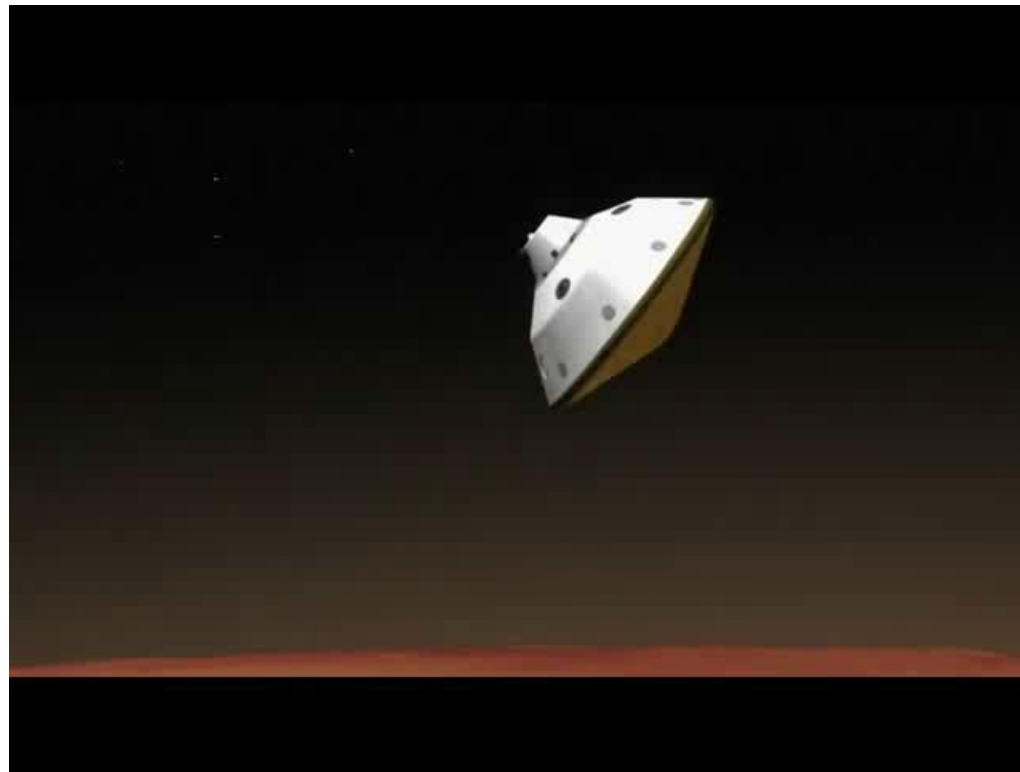


# Curiosity – спуск марсохода на поверхность Марса



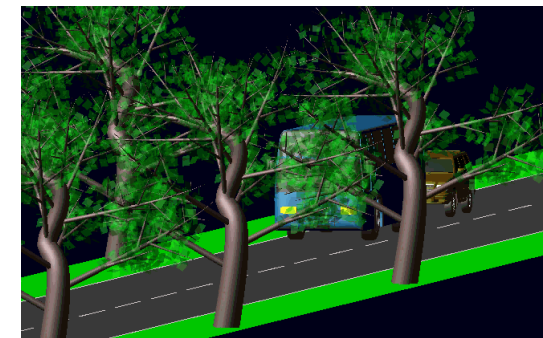
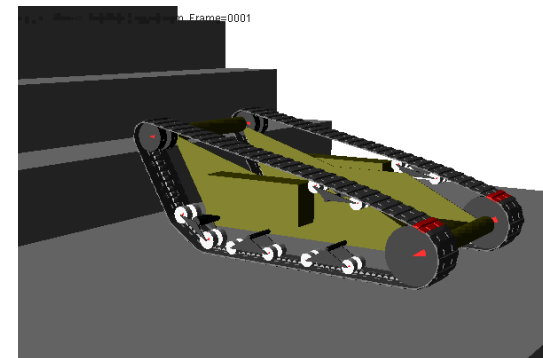


# Curiosity – анализ динамики спуска марсохода на поверхность Марса



# Преимущества Adams

- Моделирование динамики машин и механизмов в признанной во всём мире программной среде
- Точное проектирование, испытание, исследование и в итоге улучшение качества конечного продукта
- **Adams** позволяет уменьшить риски при проектировании, экономить время и средства, что приводит к выводу на рынок конкурентоспособного изделия, по разумной цене и точно в срок
- Возможность проводить исследования самых разных характеристик проектируемой системы, её динамики, на едином виртуальном прототипе
- Отраслевые приложения, разработанные с мировыми производителями: **Adams/Machinery, Gear AT**
- Специализированные вертикальные приложения и модули: **Adams/Car, Adams/Driver, MaxFlex, Co-simulation** и другие



# Спасибо за внимание

*Денис Викторович Нехаев  
технический консультант  
MSC.Software RUS*

*+7 495 363 06 83*

*denis.nekhaev@mscsoftware.com*

*Москва, ул. Зоологическая, 26, стр. 2*

*www.mscsoftware.ru www.mscsoftware.com*