

## СОВМЕШНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ANSYS И ADAMS ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

Громько О.В., Гляков С.А., Ци Лихуа

*ANSYS doesn't fit to analyze dynamics/kinematics of the mechanical mechanisms and ADAMS doesn't fit for finite element analyzing the parts of these mechanisms. The paper deal with combining method of computer simulation programs ADAMS and ANSYS to analyze and simulate mechanisms with flexible components, approving the method feasible through simulating example.*

### Введение

Анализ статического напряженно-деформированного состояния подразумевает, что механическая конструкция подвержена воздействию заданной стабильной статической нагрузки. В случае приложения к ней переменной во времени нагрузки необходимо исследовать динамическое поведение. Для компьютерного моделирования и расчета НДС, кинематики и динамики механических систем наиболее популярными пакетами являются следующие:

- а) программы анализа кинематики и динамики систем твердых тел (например, ADAMS, VisualNastran, ANSYS WorkBench, Catia, Working Model и т. п.);
- б) программы конечно-элементного анализа для гибких тел (например, ANSYS, Nastran, Patran, ProMechanica, LS-Dyna и т. д.).

В общем случае в процессе кинематического и динамического анализа механизмов упругие деформации звеньев не учитываются, а все тела считаются жесткими. На самом деле существует множество ситуаций, в которых упругая деформация может значительно влиять на поведение механической системы, а аппроксимация всех упругих тел абсолютно жесткими приводит к значительным погрешностям. В таких случаях для получения корректных результатов решений необходимо кинематику и динамику механизмов моделировать с учетом упругости их звеньев.

Отсутствие учета влияния гибкости тела в процессе анализа кинематики и динамики механической системы может привести к появлению не только погрешностей, но и к совершенно неверным результатам исследования поведения системы. Поэтому объединение возможностей ANSYS и ADAMS позволяет значительно точнее моделировать весь механизм и получать результаты динамического моделирования с учетом упругой деформации тел. Обычно ANSYS не подходит для анализа кинематики и динамики механизмов, а ADAMS не подходит для конечно-элементного анализа элементов конструкций. Однако объединение их возможностей позволяет дополнять друг у друга. ADAMS — самый известный в мире программный комплекс для моделирования механических систем и динамического анализа механизмов. Главный объект его анализа — система связанных между собой твердых тел. При моделировании динамики и кинематики в ADAMS с использованием пакета ANSYS можно учитывать упругость тел. При конечно-элементном анализе в ANSYS можно использовать граничные условия, вычисленные в ADAMS при моделировании кинематики.

Отметим также, что последние версии пакетов ANSYS WorkBench и VisualNastran уже в значительной степени решают задачу объединенного анализа внутри самого пакета без привлечения возможностей других программ.

## Техника стыковки ADAMS/ ANSYS

Учет граничных условий в ANSYS, определенных в пакете ADAMS, осуществляется путем сохранения значений величины силы в заданных пользователем точках (узлах) после выполнения кинематического моделирования. Значения сил сохраняются в файле с расширением *.lod*. Этот файл можно экспортировать в ANSYS для дальнейшего использования в качестве граничных условий в конечно-элементной модели. Далее в пакете ANSYS проводится конечно-элементный анализ с целью исследования напряжений, деформаций, устойчивости, а также модальный анализ. Таким образом, при конечно-элементном анализе заданной части механизма информацию о силах, приложенных к этой части можно получить как результат кинематического моделирования в ADAMS.

В процессе модального анализа в ANSYS создается файл с результатами моделирования с расширением *.mnf*, который может быть также открыт в пакете ADAMS. При помощи модуля ADAMS/Flex на основе файла *.mnf* создается гибкое тело для кинематической модели, а также вычисляются деформации элементов и силы в узлах (в процессе динамического моделирования методом наложения модели - Model Superposition). Таким образом, можно учитывать упругие характеристики деталей в динамических моделях механических систем, существенно повышая уровень точности их компьютерного моделирования.

### Алгоритм совместного использования ANSYS и ADAMS

Анализ напряжений и деформаций тела в ANSYS на основе граничных условий, определенных в пакете ADAMS:

- 1) построить модель: создать твердые тела, добавить кинематические пары, приложить нагрузки и окончательно сформировать модель;
- 2) проверить модель: определить положения полученной модели конструкции, экспортировать нагрузки и координаты узлов расположения нагрузки, измерить (и записать в файл) соответствующие характеристики модели, визуализировать анимацию и проанализировать результаты расчетов;
- 3) построить графики, экспортировать соответствующие спектры нагрузки и спектры перемещений (как функции времени) в *.lod* файл;
- 4) импортировать или непосредственно построить в ANSYS геометрическую модель тела, задать характеристики материала и прочие необходимые условия, приложить нагрузки к модели с помощью граничных условий, полученных в ADAMS в результате моделирования;
- 5) провести анализ и оценку напряжений и деформаций, отобразить искомые данные в постпроцессоре ANSYS.

Кинематический анализ в ADAMS с использованием гибкого тела, построенного в ANSYS:

- 1) построить конечно-элементную модель гибкого тела в ANSYS или экспортировать эту модель из другой программы;
- 2) выполнить модальный анализ и с помощью специальной функции ANSYS создать файл, содержащий его результаты (файл с расширением *.mnf*);
- 3) открыть модуль ADAMS/View и импортировать вышеуказанный файл (на его основе создается упруго-деформируемое тело - часть ADAMS-модели);
- 4) добавить к компьютерной модели все остальные жесткие тела;
- 5) добавить кинематические пары и нагрузки;

6) выполнить кинематическое и динамическое моделирование, сохранив файл нагрузки на гибкое звено во времени с расширением *.lod*;

7) снова возвратиться в пакет ANSYS, приложить к конечно-элементной модели гибкого тела нагрузки (в соответствии с шагами по времени в файле нагрузки *.lod*, полученном в программе ADAMS);

8) провести уточненный анализ напряжено-деформированного состояния гибкого тела и получить деформации и напряжения в теле с учетом расчетов в пакете ADAMS.

### Динамическое моделирование на примере манипулятора «Пума»

С целью иллюстрации изложенных методик анализа в пакете ADAMS построена модель широко распространенного манипулятора «Пума» (промышленный робот РМ-01) с учетом реальных масс и размеров (но не формы) звеньев, а также их связей.

Для каждого звена задавались массы, моменты инерции и геометрические размеры (на основании исходных характеристик деталей и узлов технической документации для данного манипулятора). Моделирование движений манипулятора, обеспечивающих необходимое перемещение схвата, осуществлялось в соответствии с заданными законами движения для каждого сустава. Внешний вид манипулятора и его кинематическая схема с обозначениями звеньев и связей представлены на рис. 1.

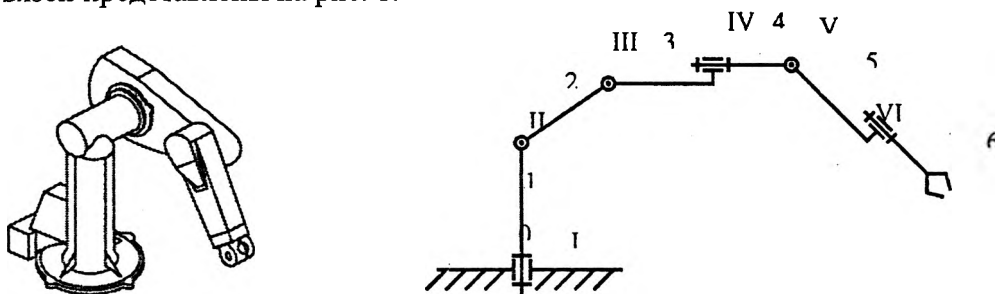


Рис. 1. Промышленный робот РМ-01 (манипулятор «Пума»)

На рис. 2 представлена компьютерная модель манипулятора, построенная в пакете ADAMS. В результате проведения динамического анализа в программе ADAMS можно (помимо основных важных результатов анализа поведения конструкции) получить информацию и о спектре нагрузки для каждого звена.

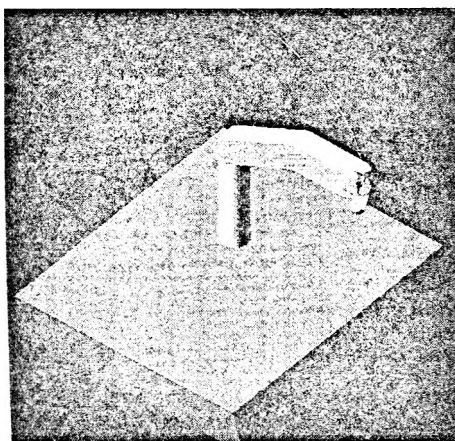


Рис. 2. Компьютерная модель манипулятора в ADAMS

Далее появляется возможность записать ее как массив информации о силовом нагружении звеньев в различные моменты времени в процессе движения механизма. Эту информацию экспортируем в *.lod* файл, который доступен для импорта, чтения и дальнейшего использования в пакете ANSYS. Для обеспечения совпадения размеров и формы, облегчения построения геометрической ANSYS - модели геометрия необходимого звена экспортируется в *.igs* файл.

После импорта *.igs* файла в ANSYS, задания свойств материала, типа конечных элементов и прочих необходимых параметров модель разбивается на конечные элементы и к ней прикладываются нагрузки

путем импорта *.lod* файла. Далее конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния исследуемого звена проводится в пакете ANSYS стандартными методами.

На рис. 3 представлены результаты исследования напряженного состояния для третьего звена манипулятора (контурный график распределения эквивалентных напряжений в рычаге робота).

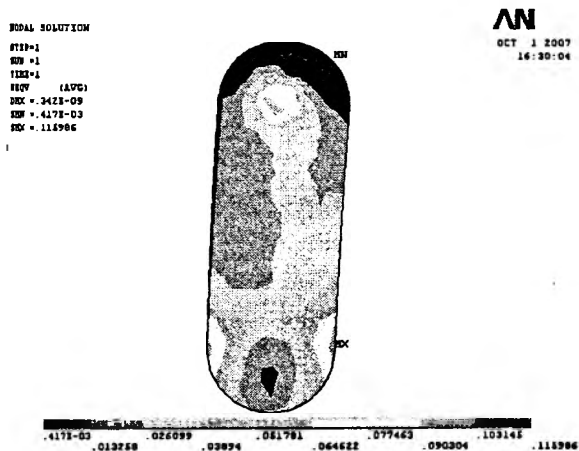


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в звене структуры

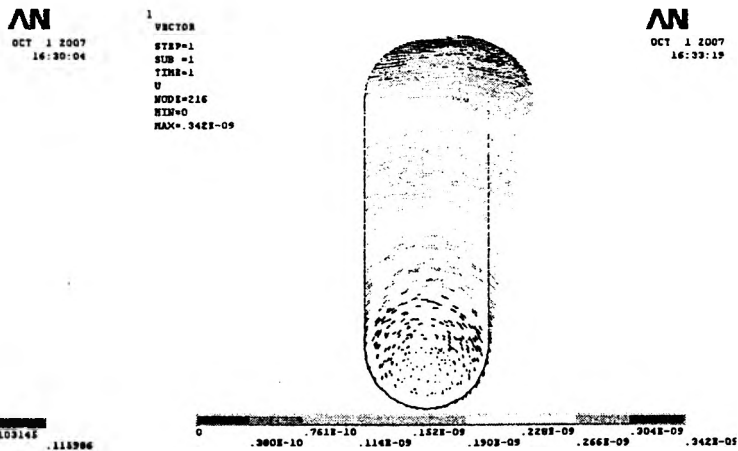


Рис. 4. Векторный график распределения перемещений узлов звена

Рис. 4 отражает результаты исследования деформированного состояния для третьего звена манипулятора (векторный график распределения суммарных перемещений узлов рычага робота).

## Выводы

В настоящей работе изложены и продемонстрированы основные принципы совместного моделирования динамики механизмов в ADAMS с конечно-элементным анализом в пакете ANSYS. На конкретном примере компьютерного моделирования манипулятора показано, как можно при анализе напряженно-деформированного состояния одного из звеньев манипулятора использовать точные данные о приложенных силах к этому звену, которые определяются исходя из динамического моделирования всего манипулятора в ADAMS.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гляков, С.А. и др. Компьютерная механика: кинематический и динамический анализ / под ред. М.А. Журавкова. – Минск: БГУ, 2006. – 375 с.
2. Чжан Чаохуй. ADAMS: основное руководство и примеры использования. – Пекин, 2006. – 482 с.
3. Чигарев, А.В., Кравчук, А.С., Смалюк, А.Ф. ANSYS для инженеров: справочное пособие. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
4. Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
5. Ли Цзэнган. ANSYS 8.0: анализ конструкций и примеры. – Пекин, 2007. – 586 с.