

**КОМПЬЮТЕР В КУРСАХ МЕХАНИКИ И МЕХАТРОНИКИ В НИУ МЭИ:  
ОТ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ДО АНИМАЦИИ***Капустина О.М.**Национальный исследовательский университет «МЭИ»*

В докладе отражён опыт применения систем компьютерной алгебры (СКА): лицензионной Mathematica и свободно распространяемой Maxima, в преподавании курсов «Теоретическая механика», «Динамика мехатронных систем» в Национальном исследовательском университете «Московский энергетический институт» на кафедре теоретической механики и мехатроники. Описана методика использования СКА при выполнении студентами первого и второго курса расчётно-графических работ по разделам «Статика», «Кинематика», «Динамика», а также при подготовке студентами старших курсов и аспирантов курсовых, квалификационных бакалаврских работ, магистерских и кандидатских диссертаций. Представлены примеры построения и решения уравнений, проведения параметрического анализа, создания анимации в задачах статики плоской системы сил, кинематики многозвенных управляемых механизмов, динамики негोलомных систем.

Практика использования компьютера в НИУ МЭИ имеет давнюю историю. Профессор И.В.Новожилов, известный советский и российский учёный, заложил основы применения ЭВМ в преподавании теоретической механики [1]. Начиная с 70-х годов двадцатого века, тысячи студентов МЭИ прошли и проходят в настоящее время практикум по решению задач механики с помощью компьютера.

Представители научно-методической школы И.В.Новожилова, к которым относится и автор доклада, руководствуются следующим принципом: студента следует учить построению моделей механических систем и проведению их численного, аналитического, графического анализа. Компьютер и программное обеспечение рассматриваются как эффективные и удобные подручные средства в этом образовательном процессе.

В начале обучения студенты вручную составляют уравнения равновесия и движения различных механических и электромеханических систем и обращаются к компьютеру для получения и анализа численного решения построенных уравнений. На следующем этапе они учатся составлять и сами уравнения с помощью компьютера, а также строить простейшие анимации на основе решения этих уравнений. В выпускных бакалаврских работах, магистерских и кандидатских диссертациях студенты и аспиранты проводят анализ динамики сложных управляемых систем, используя компьютерное моделирование, включающее построение геометрических иллюстраций и анимации. СКА Mathematica и Maxima являются превосходными инструментами как преподавателя, так и студента на всех этапах обучения.

Студенты НИУ МЭИ изучают теоретическую механику в течение одного или двух семестров на первом и втором курсах и выполняют за это время от трёх до пяти самостоятельных расчётно-графических заданий с помощью компьютера. Для выполнения каждого из заданий разработаны электронные методические указания-программы на языках Mathematica и Maxima [2-6]. Практика показала, что свободно распространяемая Maxima, хотя и уступает во многом лицензионной Mathematica, может быть достаточно эффективно использована в учебном процессе. Программы на обоих языках содержат текстовые и исполняемые ячейки, в которых размещены условия задач в виде текста, рисунков и таблиц, генераторы случайных значений параметров для индивидуального задания, описание постановок задач, методические указания к выполнению заданий, а также разобранные примеры. Студент, получив такие

программы-шаблоны, редактирует их в соответствии со своими индивидуальными заданиями.

В частности, при изучении раздела «Статика» требуется выполнить расчёт С-1 из [1] по определению реакций связей составной конструкции, дополненный исследованием зависимости реакций внутренних связей от веса тел конструкции [2]. Одно из заданий по разделу «Кинематика» посвящено исследованию управляемого движения многозвенного робота манипулятора [1]. В этом задании робот должен приблизиться к детали  $D$ , движущейся по известному закону. Учащиеся самостоятельно составляют уравнения движения робота, находят их численное решение и строят с помощью предложенной программы-шаблона анимацию всего механизма или только двух точек, схвата робота  $M$  и детали  $D$ . На рис. 1, рис. 2 представлены кадры анимации робота и детали для варианта №16 задания, полученные с помощью Mathematica и Maxima соответственно.

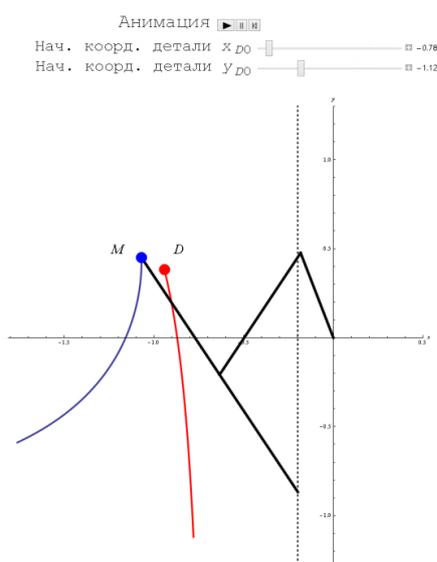


Рис.1. Кадр анимации робота-манипулятора, полученный с помощью Mathematica

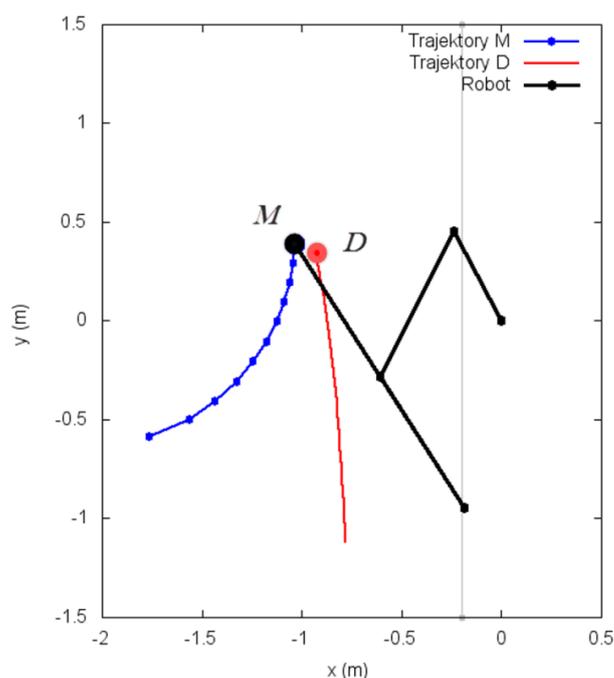


Рис.2. Кадр анимации робота манипулятора, полученный с помощью Maxima

При изучении раздела «Динамика» студенты выполняют с помощью Mathematica и Maxima расчёты по динамике материальной точки, находят динамические реакции несбалансированного ротора, составляют и решают уравнения Лагранжа II рода машины с кулисным приводом. Программа-шаблон на языке Maxima для расчёта реакций ротора разработана с участием студентов II курса [5].

Студенты старших курсов и аспиранты используют СКА при изучении курса «Динамика мехатронных систем» и других курсов, в исследованиях при выполнении выпускных и диссертационных работ. Сотрудниками кафедры в методических целях разработан веб-сайт "Компьютерные технологии в механике" [7], на котором в открытом доступе находятся программы Mathematica построения уравнений динамики неавтономных систем, линеаризации этих уравнений, построения и исследования характеристического уравнения системы линеаризованных уравнений и др. В частности, на сайте представлена программа построения анимации движений одноколёсного робота. Результат работы этой программы в виде анимации возмущённых движений диска является наглядной иллюстрацией понятия устойчивости по Ляпунову.

На кафедре ведутся научные работы [8,9], относящиеся к исследованию динамики одноколёсных роботов геометрическими методами. Получаемые при этом с помощью СКА бифуркационные диаграммы Пуанкаре-Четаева и Смейла, являющиеся геометрическими трёхмерными образами стационарных движений, а также анимация движений, отвечающих точкам этих поверхностей, способствуют лучшему пониманию динамики роботов, делая возможным участие студентов кафедры в научных работах.

Использование современных компьютерных методов в преподавании и исследованиях позволяет повысить интерес учащихся к предмету, сделать более содержательным и наглядным анализ предлагаемых задач. Полученный опыт применения СКА помогает освоению других профессиональных компьютерных систем.

#### *Список использованных источников*

1. Новожилов И.В., Зацепин М.Ф. Типовые расчёты по теоретической механике на базе ЭВМ. М.: Высш. шк., 1986. 136 с.

2. Капустина О.М., Мартыненко Ю.Г. Примеры параметрического анализа в задачах теоретической механики с помощью системы MATHEMATICA / Сборник научно-метод. статей по теоретической механике. М.: Изд-во МГУ, 2009, № 27, с. 107-120.

3. Капустина О.М. Применение свободно распространяемой системы компьютерной алгебры Maxima в преподавании теоретической механики / Сборник научно-метод. статей по теоретической механике. М.: Изд-во МГУ, 2012, № 28, с. 81-88.

4. Kapustina O.M. Mathematica in teaching at the Moscow Power Engineering Institute. Wolfram Research in collaboration with UNICEF. Computer-Based Math Education Summit 2013, November 21-22, New York USA // <http://www.computerbasedmath.org/events/education-summit-newyork-2013/schedule.html#friday>

5. Ищенко Д.С., Капустина О.М., Черников А.В. Решение задач теоретической механики с помощью системы символьных вычислений Maxima // Международная конференция «Восьмые Окуневские чтения». 25-28 июня 2013 г., Санкт-Петербург: Материалы докладов / Балт. техн. гос. ун-т. – СПб., 2013. С.373-374.

6. Капустина О.М. Геометрические интерпретации, компьютерные анимации в преподавании теоретической механики // Труды Международной научно-методической конференции «Информатизация инженерного образования» - ИНФОРИНО-2014 (Москва, 15-16 апреля 2014 г.). М.: Издательский дом МЭИ, 2014. С. 539-540. [http://inforino2014.mpei.ru/doc/proc\\_lo.pdf](http://inforino2014.mpei.ru/doc/proc_lo.pdf)

7. Kapustina O.M., Martynenko Y.G. Computer technology in the mechanics. <https://sites.google.com/site/comptechmechanics/>

8. Борисов Д.Б., Капустина О.М., Мартыненко Ю.Г. Свойства геометрических образов стационарных движений диска-гиростата на шероховатой плоскости // Международная конференция «Восьмые Окуневские чтения». 25-28 июня 2013 г., Санкт-Петербург: Материалы докладов / Балт. техн. гос. ун-т. СПб., 2013. С.82-84.

9. Kapustina O.M., Martynenko Y.G. Stability Analysis and Visualization of One-Wheeled Robot Steady Motion. European Wolfram Technology Conference 11-12 June 2013, Frankfurt, Germany. <http://www.wolfram.com/events/technology-conference-eu/2013/resources.html>