

# Моделирование кинематики пространственных механизмов в CAD-среде на примере AutoCAD

Вадим Е. Турлапов, Дмитрий В. Лукин  
Нижегородский государственный технический университет (НГТУ)  
Н.Новгород, Россия

## Аннотация

Предлагается проект системы для моделирования кинематики широкого класса пространственных рычажных механизмов (ПРМ), проектируемых в CAD-среде. В качестве CAD-среды выбран AutoCAD. Система состоит из ядра, обеспечивающего кинематический анализ (расчет перемещений) ПРМ, и интерактивной оболочки, осуществляющей связь с ядром в CAD-среде. Ядро обеспечивает кинематический анализ широкого класса ПРМ, включая платформы Стюарта. Реализованы высокоэффективные алгоритмы решения задачи о положениях структурных групп ПРМ, построенные на новой теоретической основе. В качестве среды могут использоваться и другие CAD-системы.

**Ключевые слова:** CAD, CAE, Kinematics, кинематика, пространственные механизмы.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Пространственные рычажные механизмы (ПРМ) являются важной составляющей современной техники и производственных технологий. Известными примерами ПРМ являются шасси, механизация крыла и механизмы управления самолетов, роботы-манипуляторы последовательной и параллельной структуры (в том числе, платформы Стюарта) и др. Конструирование названных технических объектов осуществляется сегодня с использованием CAD-систем. Проектирование кинематики ПРМ отличается высокой геометрической сложностью и определяет качество конечного продукта, стоимость его изготовления и эксплуатации. Тем не менее, на сегодняшний день следует констатировать отсутствие достойного массового средства для автоматизации проектирования кинематики ПРМ.

В 70-е-80-е годы, в период активного развития рабочих станций и их применения для проектирования изделий машиностроения, компанией "Mechanical Dynamics Inc." (MDI) была разработана система для динамического и кинематического анализа пространственных механизмов ADAMS [1,2]. К настоящему времени эта система получила признание в кругу специалистов, вошла под эгиду и в серию продуктов фирмы MacNeal-Schwendler Corporation (MSC) [3], предлагающей на мировом рынке комплексные компьютерные технологии автоматизации инженерных исследований, но осталась очень дорогой и недоступной для массового применения. В 1998 году MDI, также под эгидой MSC, разработала продукт MSC.Dynamic Designer. Продукт предназначен для кинематического и динамического анализа механизмов в CAD-системах, обеспечивающих трехмерное параметрическое моделирование. Сегодня MSC.Dynamic Designer может применяться в: Autodesk Mechanical Desktop, AutoCAD/Mechanical, SolidWorks и SolidEdge. Планируется, что в ближайшее время Dynamic Designer можно будет применять также с системами Autodesk Inventor и CATIA. MSC.Dynamic Designer поставляется в трех комплектациях [4] с ценами от \$360 до \$7500.

Существенным ограничением для адаптации Dynamic Designer в ту или иную CAD-систему является требование параметрического моделирования анализируемых объектов, из-за которого продукт пока не применяется в среде самых массовых CAD-систем, таких как AutoCAD и Компас.

Пример альтернативного опыта создания систем, специально ориентированных не на анализ, а на проектирование кинематики ПРМ имел место в 80-е годы в России [5]. Это была автономная система, с версиями для ЕС и СМ ЭВМ, в которой существенным образом были представлены методы синтеза плоских и пространственных механизмов, вычисление критериев проектирования, а также моделирование траекторий и поверхностей, порождаемых движением. Усеченная версия системы для MS DOS PC [6] до сих пор применяется в практике проектирования ПРМ.

Достойным сегодняшнего рынка программ решением было бы создание массовой системы проектирования кинематики ПРМ, способной работать в качестве приложения любой CAD-системы и обеспечивающей при этом оптимизацию проекта по кинематическим критериям.

## 2. ПРОЕКТНОЕ РЕШЕНИЕ

В порядке движения в данном направлении разработан проект системы Kinematics-SM (Кинематика-ПМ) для моделирования кинематики широкого класса пространственных рычажных механизмов, проектируемых в CAD-среде. Система состоит из ядра, обеспечивающего кинематический анализ (расчет перемещений) ПРМ, и интерактивной оболочки, осуществляющей связь с ядром в CAD-среде. Ядро обеспечивает кинематический анализ широкого класса ПРМ, включая платформы Стюарта, и не зависит от CAD-среды. CAD-среда обеспечивает визуализацию рассчитанных ядром перемещений пространственного механизма. В качестве CAD-среды выбран AutoCAD.

Оптимизация проектируемого ПРМ должна осуществляться на основе критериев проектирования кинематики, являющихся результатом анализа всей совокупности положений (траектории) ПРМ. Для оптимизации кинематики ПРМ в реальном масштабе времени необходима высокая скорость вычисления критериев проектирования. Для этого ядро системы строится на высокоэффективных алгоритмах решения задачи о положениях структурных групп ПРМ [6-8].

Из-за конечной ориентации системы Kinematics-SM на оптимизацию, главным критерием в выборе способа ее реализации было высокое быстродействие. Поэтому для реализации системы выбрана ее непосредственная программная интеграция с AutoCAD путем включения в AutoCAD программного модуля системы, написанного в виде динамически подключаемой библиотеки (DLL). Такая интеграция позволяет системе Kinematics-SM как внешнему приложению создавать собственные команды, встраивать их в текстовое и пиктографическое меню AutoCAD, а также

создавать и использовать свои специальные объекты, которые будут отображаться средствами AutoCAD. Модуль системы создан в Microsoft Visual C++ 6.0 с использованием специальных библиотек ObjectARX.

Набор библиотек ObjectARX является свободно распространяемым и доступен в Internet на сайте компании Autodesk по адресу [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com). ObjectARX предоставляет объектно-ориентированный C++ интерфейс для доступа к внутренним объектам и методам системы AutoCAD, с целью расширения возможностей AutoCAD. Вновь создаваемые ObjectARX-объекты фактически неотличимы от встроенных объектов AutoCAD. Приложение ObjectARX – это динамически загружаемая библиотека (DLL), использующая адресное пространство AutoCAD и посылающая ему прямые функциональные запросы. При помощи ObjectARX можно добавлять новые классы и экспортировать их для использования другими программами.

Библиотеки ObjectARX предоставляют разработчику следующие возможности: доступ к базе данных элементов AutoCAD; интерактивное взаимодействие с графическим редактором AutoCAD; создания графического интерфейса пользователя, используя Microsoft Foundation Classes (MFC); поддержка многодокументного интерфейса (MDI); создание собственных классов. В результате пользовательский графический интерфейс KinematicsSM и интерфейс ядра системы с объектами AutoCAD-а построены с помощью библиотеки ObjectARX.

В качестве объектной основы ядра системы построена информационная модель ПРМ и его движения, независимая от CAD-среды. Реализован язык экспорта (табл.1) и внешнего хранения информационной модели, а также экспорт траекторий точек во внешний файл.

```

<Pair 3>
  <Name=Пара №4 (Сферическая)>
  <TypeNum=2>
  <nTraceE=7>
  <nTraceP=6>
  <Line=-1>
</Pair>
</Pairs>
<Stoyka>
  <Num1Pair=0>
  <Num2Pair=1>
</Stoyka>
<Zvns>
  <Zveno 0>
    <NameZveno=Звено №1>
    <KinZvenoID=23112872>
    <Pair1Num=0>
    <Pair2Num=2>
  </Zveno>
</Zvns>
<Groups>
  <Group 0>
    <NameGroup=Группа №1>
    <TypeNum=0>
    <PairsAmount=3>
    <PairsNum>
      <PairNum 0=1>
      <PairNum 1=2>
      <PairNum 2=3>
    </PairsNum>
  </Group>

```

Табл.1. Фрагмент описания ПРМ на языке экспорта

Визуализация движения механизма, состоящего из твердотельных звеньев, с закраской по Гуро, осуществляется средствами AutoCAD в реальном масштабе времени.

### 3. ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Система обеспечивает решение основной задачи проектирования кинематики пространственных механизмов, задачи о положениях, и отображение ее результатов. Вход в систему осуществляется по команде KinLoad. После входа на экране появляется главное окно системы (рис.1).

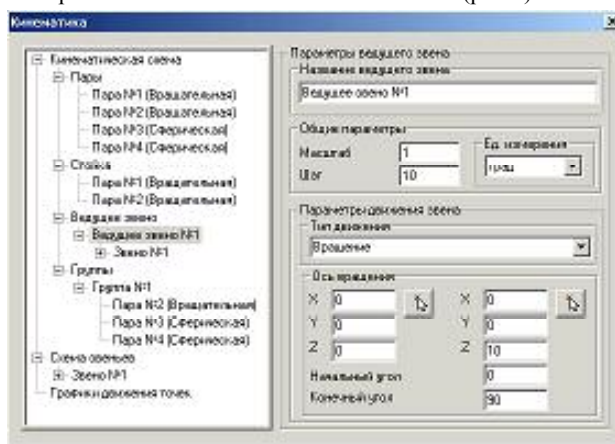


Рис.1. Главное окно системы Кинематика.

Главная форма системы содержит две области. В левой части диалогового окна располагается схема пространственного механизма. Она организована в виде дерева, что позволяет компактно и наглядно представить весь механизм в целом. Корневыми узлами данного дерева являются наименования структурных единиц механизма, а подчиненными ветвями - конкретные элементы, входящие в состав механизма. В правой части главной формы отображаются параметры выбранного элемента структуры механизма. При этом, элемент, выбранный в дереве, подсвечивается серым цветом. Все параметры, видимые в окне, можно отредактировать и изменения немедленно без подтверждения вносятся в информационную модель механизма. Через главное окно система обеспечивает ввод в графическом диалоге информации: о кинематических парах и пространственных координатах (из модели AutoCAD-а) точек и направлений их осей; о звеньях и структурных группах кинематической схемы механизма.

Система снабжена также контекстным меню (рис.2), в котором собраны все доступные в системе команды. Это меню вызывается при нажатии правой кнопки мыши на левом поле главного окна.

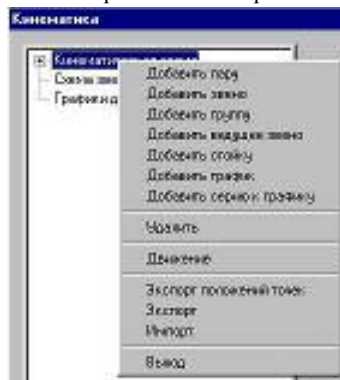


Рис.2. Контекстное меню

Процедура описания механизма начинается с определения на CAD-модели кинематических пар и звеньев механизма. При добавлении по контекстному меню новой кинематической пары необходимо задать ее название, тип и указать центр пары, а также вторую точку, лежащую на положи-

тельной полуоси пары. В системе предусмотрены все 7 типов пар, встречающиеся в ПРМ. Задать центр пары и точку, лежащую на оси, можно непосредственно координатами, занеся их в соответствующие текстовые окна, или считывая координаты точки с модели в среде AutoCAD. При втором варианте задания точек диалог добавления новой пары к системе скрывается и перед пользователем остается только чертеж. При этом для пользователя доступны все типы привязок, для более точного задания координат, а также команды для изменения отображения модели механизма.

При добавлении звена (рис.3) необходимо: задать его наименование; выбрать фрагмент модели из AutoCAD, который будет ассоциироваться с данным звеном; выбрать две пары, которыми данное звено присоединяется к другим звеньям. При выборе фрагмента модели AutoCAD, системе передается уникальный идентификатор, который используется при преобразованиях звена.

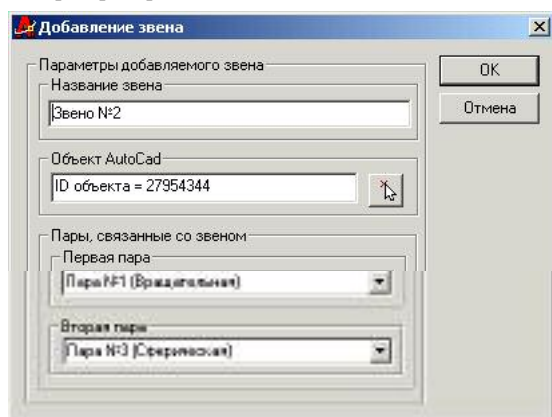


Рис.3. Окно добавления звена в модель механизма

Затем определяется структура механизма в терминах: стойка, входное звено, группа. Переход от одного описания к другому происходит также через контекстное меню. Стойка определяется двумя парами, выбираемыми из списка ранее заданных пар. При определении нового входного звена, необходимо: задать его наименование; выбрать звено механизма, назначаемое входным (присоединенное); задать тип движения (прямолинейное или вращательное); указать две точки, определяющие ось поворота или начальное и конечное положение прямолинейного движения; начальное и конечное значение угла поворота. Присоединенное звено выбирается из списка, в котором указаны все звенья, определенные в системе.

При добавлении новой группы задается ее наименование, тип, и указываются все пары, входящие в данную группу. Пары при этом выбираются из списка, в котором приведены все кинематические пары ранее определенные в механизме. При неправильном выборе пару можно удалить из списка пар, входящих в группу.

Команда «Добавить график» позволяет задать функции положения (расстояния; углы поворота, складывания, качания и т.д.), графики которых хочет получить конструктор для точной характеристики движения механизма. Текущее положение механизма отображается на графике подвижной вертикальной линией.

Перед выполнением команды «Движение» следует выполнить команду «Экспорт» и сохранить модель во внешнем файле. При последующем исследовании этого же механизма можно воспользоваться командой «Импорт». Команда «Движение» приводит описанный механизм в

заданное движение. Главное окно при этом исчезает до окончания процедуры воспроизведения движения.

Команда «Экспорт положений точек» позволяет сохранить все положения (траектории) точек механизма в текстовом файле, из которого их легко импортировать в различные прикладные программы с целью документирования. Команда «Выход» выгружает приложение из памяти компьютера.

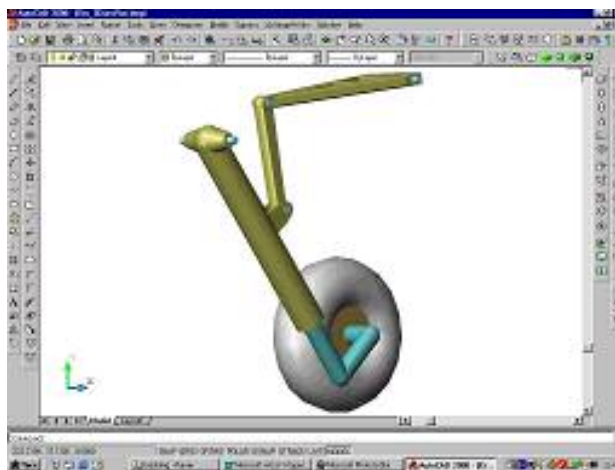


Рис.4. Пример воспроизведения движения

## 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью системы Kinematics-SM в среде AutoCAD решены задачи кинематического анализа для ряда различных пространственных механизмов. В экспериментальном порядке опробовано и показало хорошие результаты решение задач однопараметрической оптимизации. В качестве среды могут использоваться и любые другие CAD-системы. При переносе Kinematics-SM в другие среды интерактивная оболочка системы должна быть адаптирована под конкретную CAD-среду. Проект Kinematics-SM может в дальнейшем претендовать на роль массовой системы для проектирования кинематики ПРМ.

## 5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] M.A.Chace. *Using DRAM and ADAMS programs to simulate machinery, vehicles* //Agricult. Engrg., Nov. 1978, 18
- [2] M.A.Chace. *Mechanical system CAE* //1985 Automotive Computer Graphics Conference and Exposition, Detroit, MI, 1985, p.235-258
- [3] Сайт системы MSC.ADAMS. (<http://www.adams.com>)
- [4] Сайт системы MSC.Dynamic Designer. (<http://www.dynamicdesignermotion.com>)
- [5] Сергиевский А.В., Турлапов В.Е. *Подсистема автоматизированного проектирования рычажных пространственных механизмов* //Тезисы докладов Первого отраслевого совещания - САПР-83. Технология и строительство. - М.: ЦНИИатоминформ, 1983. - С. 215-218.
- [6] ППП "Кинематика" //Информ. бюллетень Центра ПЭВМ МАП. -М. 1990. - С.50.
- [7] Турлапов В.Е. *Явные решения задачи о положениях на классе одноконтурных групп пространственных рычажных механизмов* // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1997. №3. С.87-96.
- [8] Турлапов В.Е. *Минимальный векторный контур структурной группы пространственного механизма* // Пробле-

мы машиностроения и надежности машин. 1998. №1. С.3-11.

[9] Турлапов В.Е. Решение задач кинематики для платформы Стюарта методом группы нулевого порядка // Электрон. ж. "Прикладная геометрия". Вып.4. №5. МАИ. март 2002г. С.23-40. (<http://www.mai.ru/~apgf/>)

## Об авторах

Вадим Евгеньевич Турлапов – кандидат технических наук, доцент НГТУ, каф. Компьютерные технологии в

проектировании и производстве, E-mail: [turve@pent.sci-nnov.ru](mailto:turve@pent.sci-nnov.ru)

Дмитрий Валерьевич Лукин – студент-дипломник НГТУ 2001/02 уч.г. по специальности «информационные системы», каф. Компьютерные технологии в проектировании и производстве, E-mail: [DmiLuk@nnov.cityline.ru](mailto:DmiLuk@nnov.cityline.ru)