

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. 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 PPM 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 PPM 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).

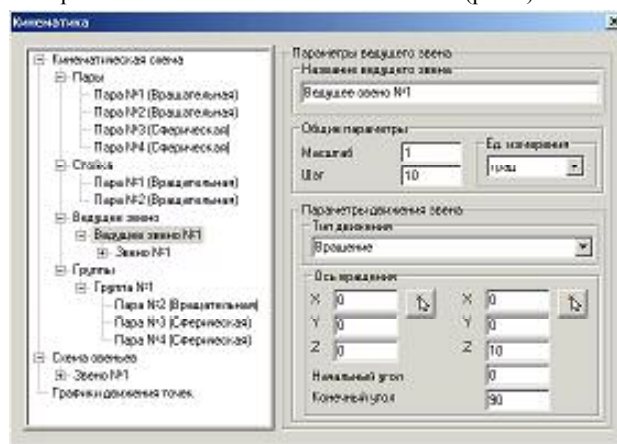


Рис.1. Главное окно системы Кинематика.

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.

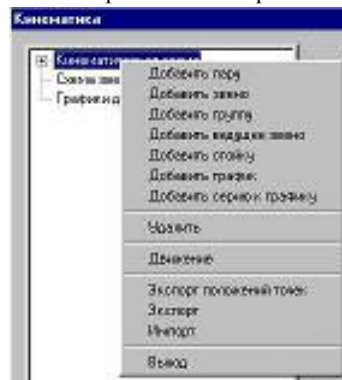


Рис.2. Контекстное меню

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.

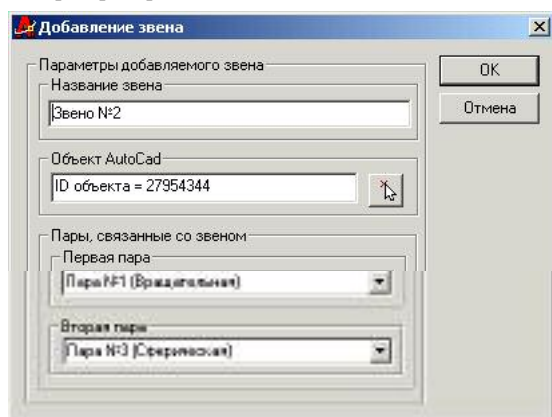


Рис.3. Окно добавления звена в модель механизма

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.

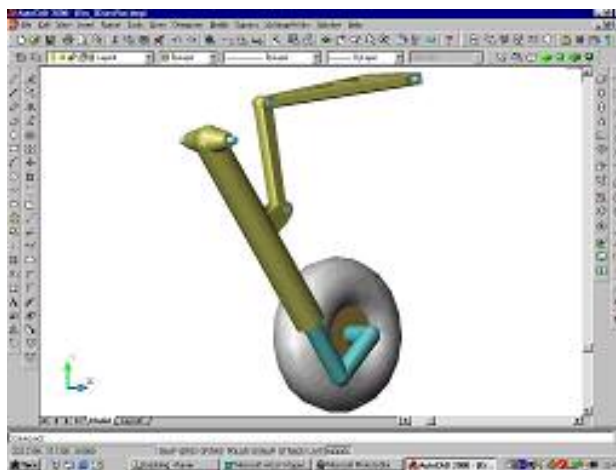


Рис.4. Пример воспроизведения движения

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

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