

САПР_И
ГРАФИКА

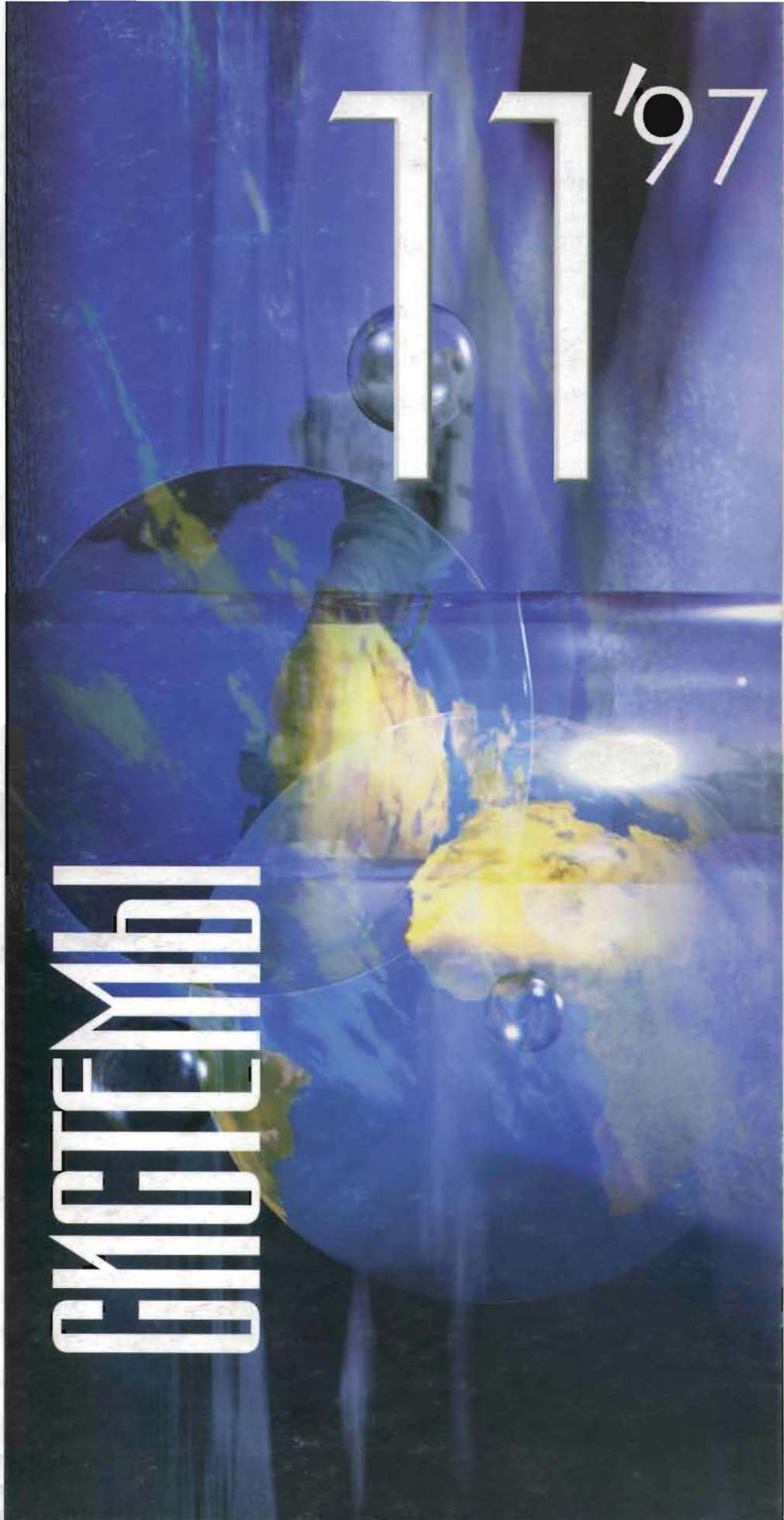
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ



КОМПЬЮТЕР
ПРЕСС

СИСТЕМЫ

11'97



Euler — реальное движение СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Владимир Бойков, Андрей Афанасьев
Андрей Жданов, Дмитрий Осипов

Программный комплекс Euler («Эйлер») предназначен для математического моделирования динамического поведения многокомпонентных механических систем в трехмерном пространстве. Объектами исследования могут быть механические системы из различных областей техники — автомобилестроения, авиации, ракетно-космической техники, машиностроения оборонного назначения, робототехники, станкостроения и т.д.

Программный комплекс Euler может использоваться при проектировании, отработке, испытаниях и доводке изделий, при проведении научных и прикладных исследований, а также в процессе обучения. Использование программного комплекса позволяет уже на ранних стадиях проектирования получать достоверную информацию о поведении и силовом нагружении создаваемых изделий, а также быстро проводить исследования нестандартных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации существующих изделий. С помощью математических моделей без создания опытных образцов можно получать различные характеристики функционирования создаваемых систем, проводить оптимизацию их параметров и сравнительный анализ различных вариантов конструкции. В результате сокращаются сроки разработки новых изделий, существенно уменьшается объем доводочных испытаний, повышается качество изделий и уменьшаются затраты на их создание.

При моделировании механических систем в Euler пользователь избавлен от необходимости выводить уравнения движения или оперировать абстрактными математическими понятиями. Описание модели механической системы максимально приближено к реальной конструкции, что делает этот подход одинаково понятным как для инженера-механика, так и для математика-прикладника и других специалистов.

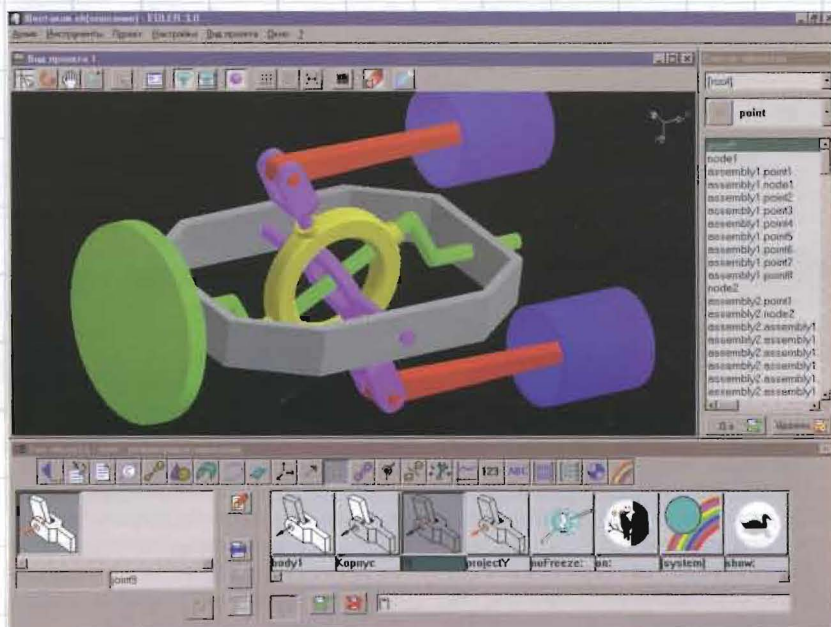


Рис. 1. Рабочее окно программного комплекса Euler

Для понимания методики описания моделей в Euler достаточно краткого знакомства с ним. Фактически пользователь просто рисует на экране компьютера механическую систему, выделяет звенья — твердые тела и связывает с ними созданные геометрические объекты, указывает шарниры, силовые элементы, при необходимости создает объекты контроля и управления механической системы. На этом его работа по описанию модели заканчивается. Далее он сразу может приступить к исследованию движения описанной механической системы. Euler автоматически сформирует в рамках классической механики точные уравнения движения в соответствии с описанием модели. Если в процессе движения механической системы происходят изменения в ее структуре, например разрушаются или заклиниваются какие-то шарниры, то соответствующие уравнения будут автоматически переформированы. Переформирование уравнений

происходит достаточно быстро и не вызывает заметных задержек в процессе расчета.

При проведении исследований движение механической системы может быть представлено в нескольких видах, каждый из которых имеет собственную пространственную привязку, ракурс и масштаб. Одновременно пользователь получает информацию об ускорениях, скоростях, расстояниях, углах и силах, возникающих в механической системе в процессе движения. Эти характеристики могут выводиться в виде графиков, таблиц или текущих численных значений.

Программные комплексы подобного класса относятся к сложным наукоемким продуктам и в настоящее время еще мало знакомы массовому российскому пользователю. Из них наиболее известны комплексы ADAMS фирмы Mechanical Dynamics, Inc. (США) и DADS фирмы Computer Aided Design Software, Inc. (США). Универсальный комплекс динамичес-

кого анализа многокомпонентных механических систем Euler — это чисто российская разработка, история которой началась около десяти лет назад. Тогда ее использование ограничивалось только областью авиационно-космических систем. В настоящее время дальнейшее развитие и авторское сопровождение программного комплекса Euler производит АО «АвтоМеханика» (Москва). Текущая нумерация версий пакета была начата от первой версии для персональных компьютеров, работающей под Windows.

Технология работ при использовании программного комплекса Euler

Процесс исследования механической системы в Euler можно разделить на следующие этапы:

- ♦ Формирование концепции идеализированной модели механической системы.
- ♦ Описание идеализированной модели механической системы в терминах Euler.
- ♦ Проведение расчетов движения механической системы и вывод результатов для анализа.
- ♦ Корректировка идеализированной модели (при необходимости) и сопоставление результатов расчетов для различных проектных решений.

Правильная концепция идеализированной модели механической системы является основой успешного проведения анализа. Данный этап процесса осуществляется до начала работы непосредственно в Euler, но исследователь, формирующий концепцию идеализированной модели, должен представлять себе его важность. От опыта исследователя и его понимания степени влияния различных факторов на поведение исследуемой механической системы зависит правильный баланс между точностью создаваемой модели и сложностью ее описания. На этом этапе исследователь прежде всего должен концептуально решить, каким набором звеньев будет моделироваться исследуемая механическая система и какими шарнирами эти звенья соединяются. Звенья — это тела, из которых образуется механическая система. Шарнир или кинематический узел представляет собой подвижное соединение нескольких звеньев. В комплексе Euler поддерживается широкая номенклатура возможных

шарниров (рис. 2). В текущей версии пользователь может выбрать из 26 их различных типов — от относительно простых разновидностей поступательных и вращательных кинематических узлов до сложносоставных соединений (дифференциал, кардан, зубчатая пара, колесо с эластичной шиной). В полную версию комплекса входит группа контактных шарниров — от «точка-линия» до «поверхность-поверхность».



Рис. 2. Шарниры

Для формирования идеализированной модели необходимо также выделить все активные силы, влияющие на движение исследуемой механической системы. К ним относятся силы упругости пружин, демпфирующие силы амортизаторов, движущие силы и силы сопротивления движению, силы воздействия на звенья внешней среды, например набегающего аэродинамического потока, и т.д. Все активные силы должны быть описаны в модели в виде силовых элементов (рис. 3). Их набор достаточно разнообразен и включает как конструктивные силовые элементы (спиральная пружина, торсион, стабилизатор, упругая балка), так и универсальные, с помощью которых можно описать разные силовые схемы.



Рис. 3. Силовые элементы

В некоторых исследуемых системах необходимо также организовать управление процессом движения. Для моделируемых каналов управления должны быть выделены датчики и приводы. Идеальные автоматические каналы управления моделируются в Euler объектами типа Программное движение. В процессе движения механической системы они обеспечивают изменение одного датчика в зависимости от другого в соответствии с заданной функцией. Более сложные контуры управления в исследуемой системе можно моделировать также набором объектов,

типы которых предусмотрены в Euler.

В процессе движения механической системы допускается также производить различные преобразования ее структуры — включение и отключение шарниров и силовых элементов, заклинивание шарниров и т.д. Пользователь может назначать события, при которых производится преобразование структуры механической системы.

Описание идеализированной модели механической системы в Euler производится в понятных инженерных терминах. В этих целях применим символьный язык описания данных или диалоговый оконный интерфейс. Поскольку эти средства полностью совместимы, их можно использовать как независимо, так и в комплексе. На рис. 1 представлен вид рабочих окон программного комплекса при описании модели.

Благодаря мощным средствам Euler при описании относительно простых механических систем этап формирования идеализированной модели может фактически объединяться с этапом ее описания. В этом случае пользователь сразу описывает исследуемую систему в терминах комплекса Euler.

Формирование математической модели по ее инженерному описанию производится в Euler автоматически без непосредственного участия пользователя. Первоначально на этом этапе производится топологический анализ структуры модели механической системы, при котором выявляются замкнутые кинематические цепи и формируются рабочие кинематические цепи, необходимые для формирования уравнений. Формирование кинематических цепей производится на основании результатов оптимизации расчетной схемы модели, которая позволяет существенно уменьшить объем вычислений.

Затем производится формирование уравнений, описывающих движение исследуемой системы, куда включаются:

- ♦ уравнения движения звеньев;
- ♦ уравнения кинематических связей системы (для замкнутых кинематических цепей);
- ♦ уравнения голономных и неголономных связей в шарнирах;
- ♦ уравнения программных движений (каналов управления).

Математическая модель, которая представляет собой систему алгебраических дифференциальных уравнений, формируется в нелинейной постановке с учетом больших перемещений звеньев. Для всех характеристик, описывающих поведение, управление и силовые воздействия в математической модели, учитывается их нелинейная природа.

Решение математической модели в Euler при проведении расчета производится численными методами. Система адаптивно подбирает параметры метода интегрирования для каждой расчетной точки. Опытный пользователь по своему усмотрению может изменить тип метода интегрирования и произвести тонкую настройку его параметров.

Важнейшим элементом анализа результатов исследования является оценка точности модели исследуемой системы. Ее наибольшая достоверность достигается при сравнении поведения реальной системы с результатами математического моделирования. Если расхождение между ними оказалось значительным, это означает, что пользователь при составлении идеализированной модели пренебрег некоторыми факторами, оказывающими существенное влияние на поведение исследуемой системы, или слишком упростил модель. В данном случае необходима модернизация идеализированной модели. Важное достоинство технологии Euler — открытость созданной в ней модели, то есть в любое время ее можно оперативно модифицировать с учетом новых факторов.

Параметризация задания объектов

В Euler реализована встроенная параметризация, которая автоматически работает в процессе задания объектов механической системы. В процессе работы запоминаются и отслеживаются все отношения и зависимости, возникающие при формировании объектов механизма. Например, если пользователь создал точку и указал, что она является базой для оси тела вращения, то в дальнейшем при перемещении этой точки будет изменяться и ось вращения, а следовательно, будет модифицироваться и само тело вращения.

Параметры объектов механической системы могут записываться в виде выражений, содержащих чис-

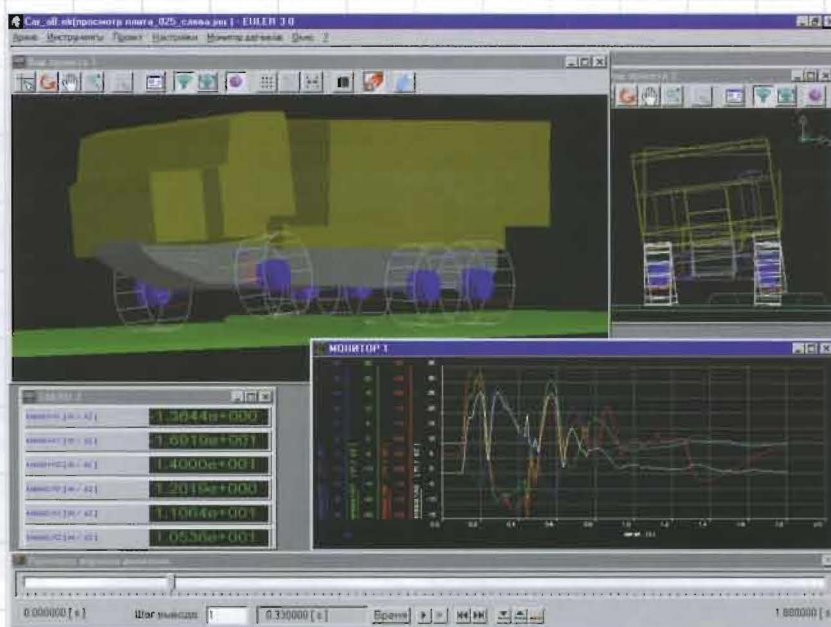


Рис. 4. Переезд автомобилем пространственного препятствия

ла, переменные, стандартные математические функции, функции, определенные пользователем, и логические операции.

Все числа, переменные и функции в Euler имеют физическую размерность. В процессе вычисления выражения производится проверка совместимости размерностей его составляющих, определяется его размерность и проверяется корректность его использования в качестве конкретного параметра. Для удобства пользователей приняты простые правила работы с размерностями по умолчанию. Например, если заранее известно, что некоторое число определяет длину, но его размерность не указана, то ему автоматически приписываются единицы измерения длины, определенные пользователем как стандартные.

Структуризация описания моделей

Исследуемая механическая система может быть разделена на подсистемы — агрегаты в терминах Euler. Уровень вложенности агрегатов не ограничен. Их использование позволяет существенно сократить объем вводимой информации при моделировании сложных механизмов. Например, типовую конструкцию подвески многоосного автомобиля можно описать в виде отдельного проекта, а затем многократно использовать этот про-

ект в качестве агрегатов при формировании модели автомобиля в целом. Разделение сложных систем также имеет смысл для организации параллельной работы по формированию моделей отдельных подсистем и их автономной отработки.

Объекты агрегата можно объявлять параметрами и затем индивидуально менять их для каждого использования агрегата. Параметрами могут быть не только числа, но и точки, векторы, линии, поверхности, функции и другие объекты.

Используя агрегаты, можно легко объединять созданные в Euler модели различных механических систем, даже если они были созданы независимо друг от друга. Например, имея отдельные модели артиллерийской установки и некоторого подвижного транспортного средства, объединенную модель можно сформировать следующими действиями:

- ♦ создать новый проект и в качестве агрегатов объединить в нем эти две модели. Это производится простым указанием ссылок на соответствующие файлы проектов;
- ♦ в соответствии с принятым конструктивным решением соединить звенья этих моделей шарнирами и силовыми элементами. В простейшем случае базовое звено артиллерийской установки можно жестко соединить с грузовой платформой транспортного средства.

Дальнейшие действия по созданию объединенной модели выполняются в Euler автоматически. Используя объединенную модель, пользователь получает возможность проводить исследования динамики процесса стрельбы уже с учетом движения транспортного средства. Можно также проводить анализ нагрузок, возникающих при этом в узлах транспортного средства, и других характеристик его поведения. Все изменения, которые в дальнейшем могут быть проведены в подсистемах, будут автоматически учтены в объединенной модели.

Гибкость технологии Euler проявляется также в том, что созданную модель объекта можно использовать для исследований его поведения в различных условиях. Например, для анализа динамического поведения автомобиля при переезде препятствия и при подрыве на противопехотной мине, которые приведены на рис. 4, 5, использовалась одна и та же модель автомобиля. Были заданы только различные внешние условия в виде конкретной дороги, скорости движения или внешнего импульсного воздействия.

Средства документирования результатов исследований

В Euler имеется широкий спектр инструментов, которые позволяют в различном виде сохранять и оформлять результаты проведенных исследований механических систем. Все создаваемые в Euler изображения, включая графики показаний датчиков, полученные в процессе расчета, трехмерные изображения модели механизма, графики функций, используемых в модели, могут быть воспроизведены на бумаге с помощью любого устройства графического вывода, поддерживаемого Windows. Для этого предназначен инструмент, с помощью которого можно скомпоновать расположение рисунков на листе бумаги, снабдить их необходимыми комментариями и вывести на печать.

Помимо прямого вывода на бумагу любое изображение можно сохранить либо в векторном виде <.wmf>, либо в растровом <.bmp>. Это позволяет вносить в них различные изменения, а также использовать для создания отчетов другими приложениями. Для сохранения изображений можно использовать

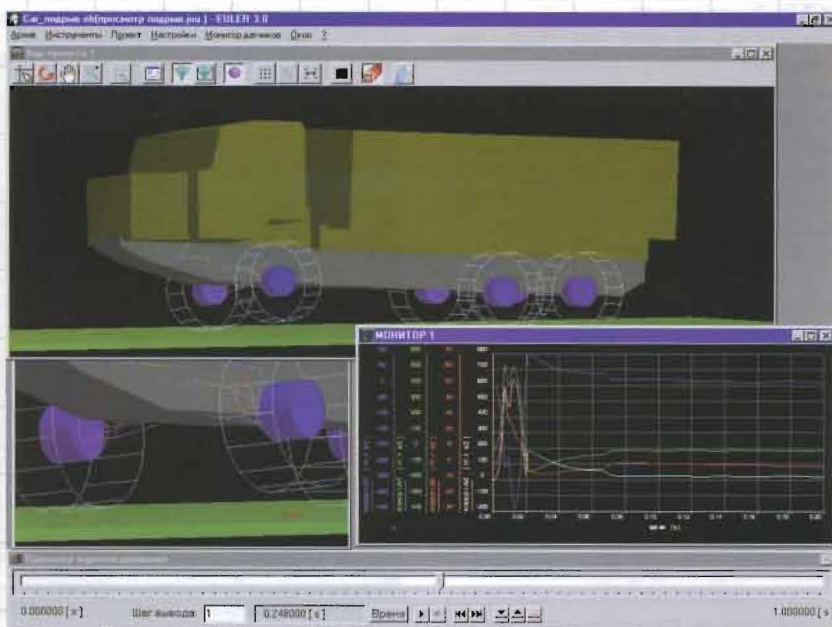


Рис. 5. Подрыв автомобиля на противопехотной мине

буфер обмена Windows, благодаря чему создание отчетов другими приложениями осуществляется быстро и просто.

Одним из наиболее гибких средств документирования результатов исследований является создание журнала движения. В процессе численного интегрирования процесса движения механической системы можно создать специальный журнальный файл, в котором будет сохранена вся информация о расчете. При просмотре такого файла в Euler можно наблюдать показания любых датчиков так же, как и в процессе расчета. Благодаря этому значительно повышается скорость движения механизма на экране, так как все требуемые величины уже рассчитаны и основное время тратится только на визуализацию.

Результаты расчета могут быть представлены в виде графиков зависимостей, которые можно сохранить в специальном файле, представляющем собой таблицу значений в точках интегрирования. Его можно распечатывать или использовать в Euler для других расчетов уже в качестве исходной информации. Файл также подходит и для других систем, так как имеет чрезвычайно простой символичный формат.

Можно создать анимированный отчет, представляющий собой AVI-файл (Animated Video). Такие фай-

лы становятся совершенно независимыми от Euler и просматриваются стандартными средствами Windows. Для их создания используется инструмент, позволяющий включать в отчет содержимое любого окна системы — изображения механизма в процессе его движения, изображения графиков и т.п. Файл отчета напоминает мультфильм, с тем отличием, что движение механизма соответствует реальности (в рамках сформированной пользователем идеализированной модели).

Требования к программно-аппаратным средствам

Программный комплекс Euler 3.0 предназначен для работы под управлением операционной системы Windows 95 или Windows NT 4.0. Для работы требуется компьютер, оснащенный процессором класса Intel-486DX, а для моделирования сложных механизмов желателен процессор Pentium или Pentium Pro. Для нормальной работы необходимо иметь объем оперативной памяти не менее 16 Мбайт, а для моделирования сложных механизмов — не менее 32 Мбайт. Рекомендуемое разрешение видеоподсистемы компьютера — 1024×768 пикселей. Собственно программный комплекс вместе с интерактивной пользовательской документацией занимает на жестком диске около 20 Мбайт.