

САПР И ГРАФИКА

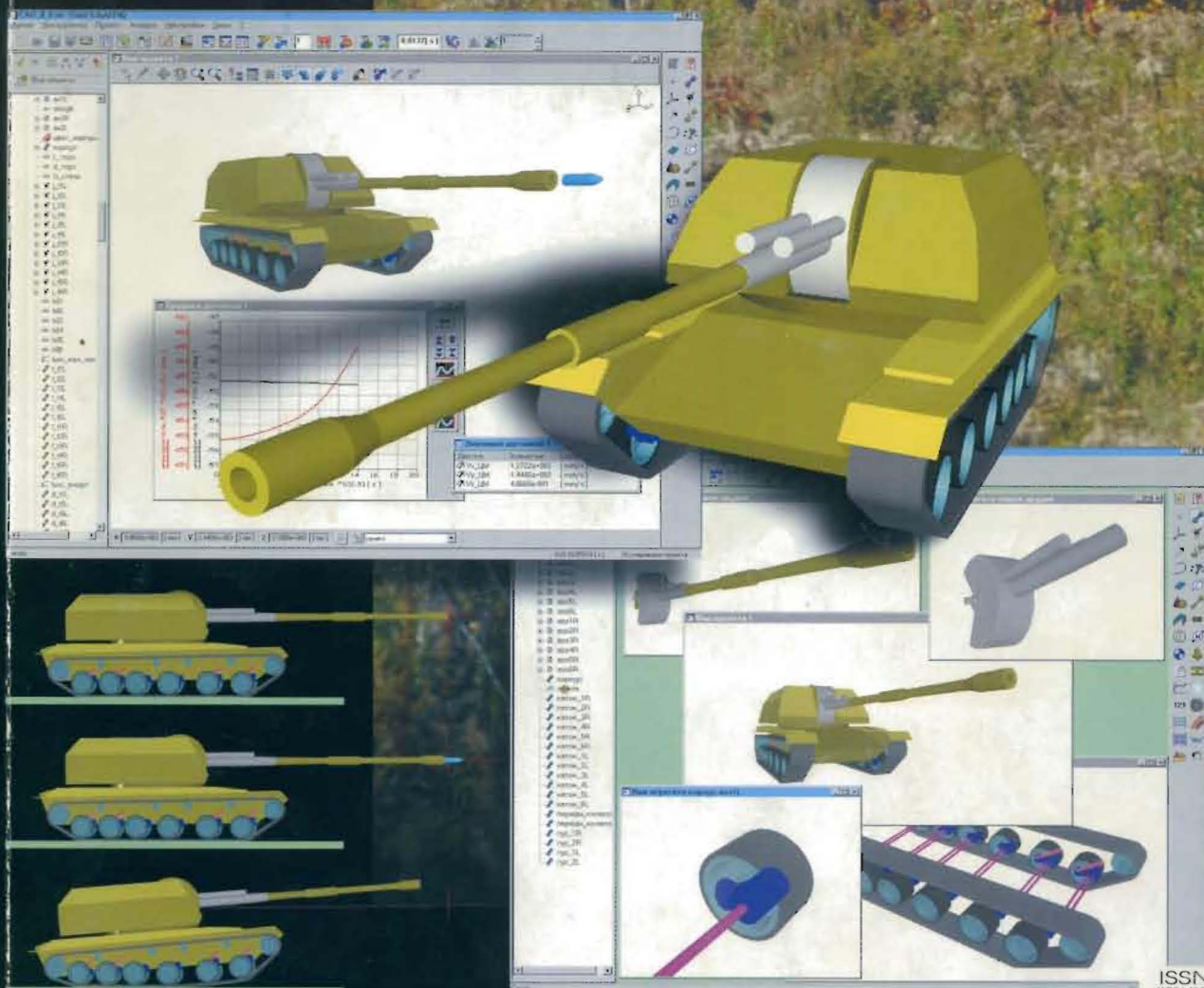
2000

9

СЕНТЯБРЬ

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ

РАЗРАБОТКИ



ISSN 1560-4640



9 771560 464007 >



КОМПЬЮТЕР
ПРЕСС



Программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем EULER

Владимир Бойков

В этой статье представлены возможности технологии автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем, которая реализована в виде программного комплекса EULER («ЭЙЛЕР»). Разработка технологии и программного комплекса выполнена специалистами АО «АвтоМеханика» (г. Москва). Данная технология представляет собой одно из передовых направлений современного инженерного анализа и может использоваться при проектировании, отработке, испытаниях и доводке изделий, а также при проведении научных и прикладных исследований. Использование программного комплекса EULER позволяет даже на ранних стадиях проектирования получать достоверную информацию о динамическом поведении и силовом нагружении создаваемых изделий, а также оперативно проводить исследования нештатных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации существующих изделий. Уже сейчас EULER используется для моделирования динамического поведения изделий в самых различных областях техники — от космических ракет (рис. 1) и станков (рис. 2) до исследования динамического нагружения конструкции мусорного ящика машины коммунального хозяйства, которое проводилось во ВНИИстройдормаш.

Общая характеристика решаемых задач

В процессе проектных проработок и создания современных изделий постоянно приходится решать различные задачи анализа динамического поведения сложных механических систем. Практика показывает, что в последнее время в этом направлении наметились следующие тенденции:

- требование высокой оперативности решения задач динамического анализа;
- высокая цена устранения ошибок, связанных с некорректным определением динамических характеристик;
- усложнение задач динамического анализа.

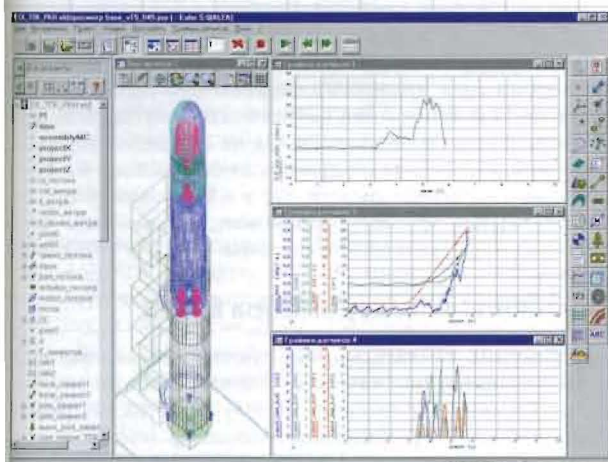


Рис. 1. Моделирование старта ракеты-носителя «Рокот» (ГНПЦ им. М.В.Хруничева)

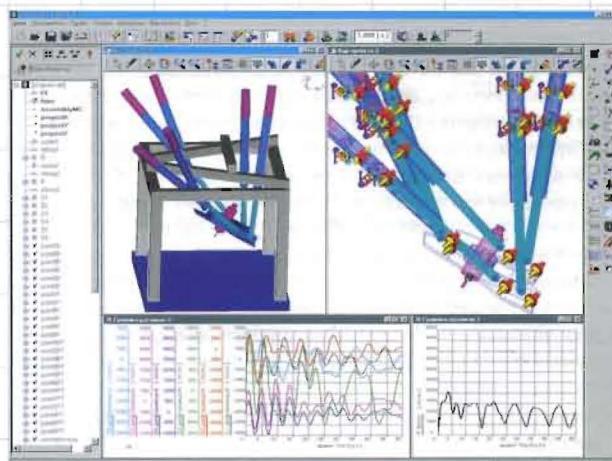


Рис. 2. Исследование динамики механизма станка с параллельной кинематикой (НИАТ)

Высокая оперативность проведения работ по динамическому анализу диктуется прежде всего высокой конкуренцией на современном рынке. Поэтому при несвоевременном принятии технических решений можно упустить потенциальные заказы на закупку техники или выполнение сложных работ, например запуск на орбиту космических аппаратов.

Повышение цены устранения ошибок в определении динамических параметров связано со сложностью изделий и необходимостью участия в его создании многих организаций. Например, в процессе создания и модернизации изделий ракетно-космической техники приходится постоянно сталкиваться с различного рода изменениями проектных параметров и соответствующими изменениями динамических характеристик. При этом согласование изменений динамических характеристик с разработчиками системы управления требует значительных временных и финансовых затрат. Поэтому необходимо проводить предварительное моделирование функционирования изделий в различных условиях с учетом работы системы управления. Такое моделирование позволит оперативно оценить влияние различных факторов на критические динамические параметры и исключить ненужные согласования с разработчиками системы управления.

Усложнение задач динамического анализа связано с повышением требований к изделиям и многообразием условий их использования. Так, международная космическая станция является сложным геометрическим и динамическим объектом с постоянно изменяющимися в процессе жизненного цикла составом, структурой и конфигурацией. При этом на станции постоянно происходят различные динамические процессы, связанные с работой экипажа, обслуживанием и модернизацией станции, проведением научных, технических, технологических и других экспериментов. Происходящие динамические процессы в различной степени влияют на все



рабочие места проведения экспериментов. В данной ситуации при выборе мест размещения аппаратуры и графика проведения экспериментов на борту станции необходимо учитывать меняющуюся сложную динамическую обстановку на станции и оперативно определять параметры динамических процессов в ее различных зонах. На рис. 3 представлен пример использования EULER для моделирования динамики поведения международной космической станции при работе робота-манипулятора.

В настоящее время задачи динамического анализа изделий решаются на промышленных предприятиях и в отраслевых научных организациях в основном с помощью специализированных программ для различных динамических процессов, агрегатов и систем. Эти программы создаются в разных подразделениях с помощью различных, зачастую несовместимых, инструментальных средств. Такой подход имеет следующие критические недостатки:

- трудно, а подчас и невозможно объединить программы в цельную модель функционирования изделия;
- требуется много времени для разработки новых программ и для отладки при объединении программ в единую модель;
- сложность анализа и оформления получаемых результатов вследствие отсутствия или неразвитости графических пользовательских интерфейсов у большинства специализированных программ;
- необходимы высококвалифицированные кадры (математики, программисты), дефицит которых увеличивается с каждым годом.

В последнее время интенсивное развитие получила технология автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем. Применение данной технологии позволяет оперативно решать широкий спектр различных задач, возникающих при создании различных изделий, и устранять недостатки, характерные для использования специализированных программ. Суть этой технологии состоит в следующем. Математическая модель формируется на основании инженерно-технического описания исследуемой механической системы, которое грамотный инженер может сделать быстро. Уравнения математической модели формируются автоматически и точно соответствуют законам классической механики. Вычислительное быстродействие такой модели обычно ниже, чем у хорошей специализированной програм-

мы, но общее время решения задачи от момента ее постановки до получения результатов несоизмеримо меньше.

Технология решения задач в EULER

При использовании технологии программного комплекса EULER объект исследования — многокомпонентная механическая система — представляется как совокупность многозвенных пространственных механизмов. Эти механизмы состоят из множества тел-звеньев, связанных кинематическими связями, упруго-демпфирующими элементами (пружины, амортизаторы, отбойники, конструктивные жесткости и т.д.) и приводами, а также из элементов систем контроля и управления (датчиков, логических преобразователей, исполнительных органов управления и т.д.). Описание многокомпонентной механической системы производится в обычных инженерных терминах. По инженерному описанию механической системы автоматически формируется математическая модель ее динамического движения. Базовые формулировки уравнений в данной технологии построены на точных законах классической механики и не имеют ограничений на локальность перемещений, которые приняты, например, в методе конечных элементов. Таким образом, достоверность формируемых математических моделей обеспечивается использованием точных законов классической механики, с учетом больших перемещений частей механической системы и нелинейных характеристик взаимодействий.

Программный комплекс EULER обеспечивает основные возможности динамического моделирования:

- автоматическое формирование уравнений математической модели движения многокомпонентной механической системы в нелинейной постановке, с учетом больших перемещений частей друг относительно друга. При этом уравнения автоматически переформируются при выполнении структурных изменений в исследуемой механической системе или при изменениях в режимах ее функционирования. Формирование математической модели производится на основе инженерно-технического описания исследуемой механической системы;
- автоматическую сборку общей модели многокомпонентной механической системы из моделей ее агрегатов и подсистем, что упрощает создание сложных моделей;
- полную параметризацию задания объектов механической системы. В процессе работы запоминаются и отслеживаются все отношения и зависимости, возникающие при формировании объектов механической системы;
- синхронизацию процессов интерактивного создания объектов многокомпонентной механической системы и их описания в виде текстового файла на специальном языке. Возможно описание и редактирование объектов как с помощью диалоговых средств, так и в текстовом редакторе;
- визуализация процесса работы моделируемой многокомпонентной механической системы.

Аргументы в пользу выбора EULER

Программные комплексы, реализующие технологию автоматизированного динамического анализа, являются сложными наукоемкими продуктами. В силу большой трудоемкости разработки и сравнительной молодости этого направления количество таких комплексов в мире невелико. EULER, разработанный специалистами авиационно-космической промышленности в АО «АвтоМеханика», является единствен-

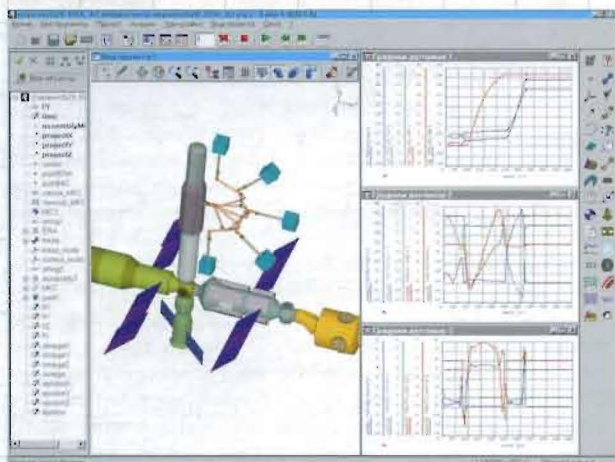


Рис. 3. Анализ динамического поведения международной космической станции при работе робота-манипулятора (ЦНИИмашиностроения)

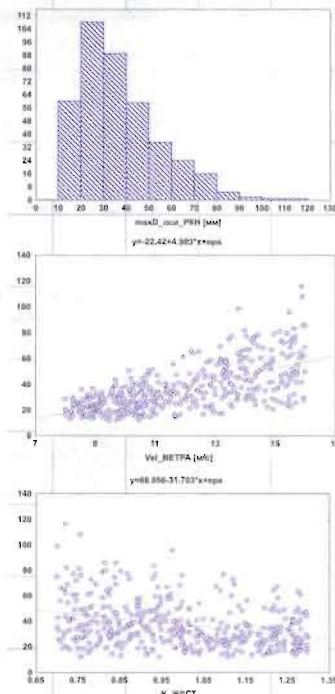
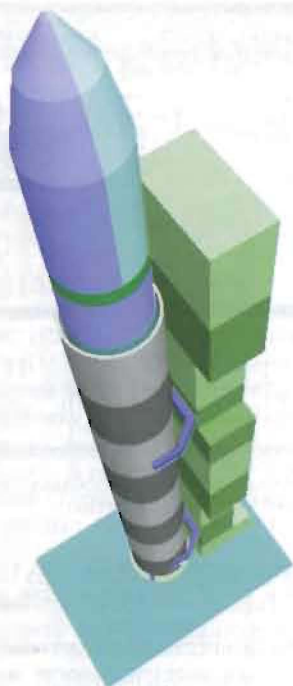


Рис. 4. Статистическое моделирование процесса старта ракеты

ным в России универсальным программным комплексом динамического анализа, который доведен до уровня программного продукта. В настоящее время EULER представляет собой высококачественную программную разработку, в которой сочетаются передовая содержательная часть, удобный современный интерфейс и подробная документация. Программный комплекс динамично развивается, его возможности постоянно расширяются, но уже сейчас они по многим позициям перекрывают возможности программных комплексов зарубежных фирм. В качестве технологии EULER может передаваться для работы в другие организации.

В настоящее время программный комплекс EULER используется на ряде предприятий различных отраслей промышленности. Работа по дальнейшему развитию программного комплекса принята по конкурсу Министерством науки и технологий РФ в качестве одного из проектов федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники гражданского назначения».

Выбор программного комплекса EULER в качестве базового средства автоматизации динамического анализа диктуется следующими основными факторами, о которых мы расскажем ниже.

Современное качество

Программный комплекс EULER, имеющий широкие возможности по моделированию и удобный интерфейс под Windows, работает стабильно. Имеется хорошо составленная и понятная документация на русском языке, чего, к сожалению, нельзя сказать о программных комплексах зарубежного производства.

Доступность разработчика

При моделировании сложных механических систем важную роль играет непосредственный контакт с разработчиками про-

граммного комплекса. Это позволяет не только выяснять сложные вопросы, возникающие при моделировании, но и оперативно расширять расчетные возможности, производить модернизацию программного комплекса, связанную с его внедрением в технологический процесс проектирования. При этом снимаются все вопросы относительно возможностей эффективного освоения программного комплекса и его реального применения как сегодня, так и в будущем. В качестве примера оперативного расширения возможностей EULER можно привести работу АО «АвтоМеханика» с ГНПЦ им. Хруничева по моделированию старта ракеты-носителя «Рокот». В процессе выполнения этой работы была поставлена задача применения статистического моделирования процесса старта при случайных внешних воздействиях и значениях ряда конструктивных параметров самой ракеты. Первоначально такие возможности в EULER не предусматривались, но они были оперативно созданы. На рис. 4 представлены результаты статистического моделирования процесса старта ракеты.

Возможность широкого использования

В создании сложных современных изделий обычно принимает участие большое количество организаций-соисполнителей. Для эффективной работы между организациями необходимо налаживать обмен не только конструкторской документацией, но и динамическими моделями, что позволит оперативно отслеживать изменение динамических характеристик изделия в целом. Широкое внедрение зарубежных программных комплексов на российских предприятиях нереально — из-за их высокой стоимости, англоязычного интерфейса и слабой поддержки со стороны разработчиков.

Относительно невысокая стоимость

При одинаковых возможностях стоимость поставки программного комплекса EULER значительно ниже, чем за-

EULER

«ЭЙЛЕР»

**программный комплекс
автоматизированного
динамического анализа
многокомпонентных
механических систем**

АО «АвтоМеханика»

Россия, 123363, Москва,
Новопоселковая, 6
Телефон/факс: (095) 492-72-91
E-mail: am@automechanics.msk.ru



рубежных. Модернизация зарубежных программных комплексов по требованиям заказчика в современных российских экономических условиях обойдется во много раз дороже, чем аналогичные работы по EULER.

Эффективность использования технологии автоматизированного динамического анализа

Внедрение технологии автоматизированного динамического анализа позволяет вывести решение задач динамического анализа на новый качественный уровень. В области динамического анализа это подобно переходу конструкторских служб от создания чертежей на бумаге к использованию автоматизированных систем проектирования.

Использование технологии повышает достоверность математического моделирования динамических процессов, которая обеспечивается за счет следующих основных факторов:

- моделирование всех задач в трехмерном пространстве. В настоящее время многие специализированные программы решают динамические задачи в плоскости, что иногда приводит к существенному искажению реальных процессов;

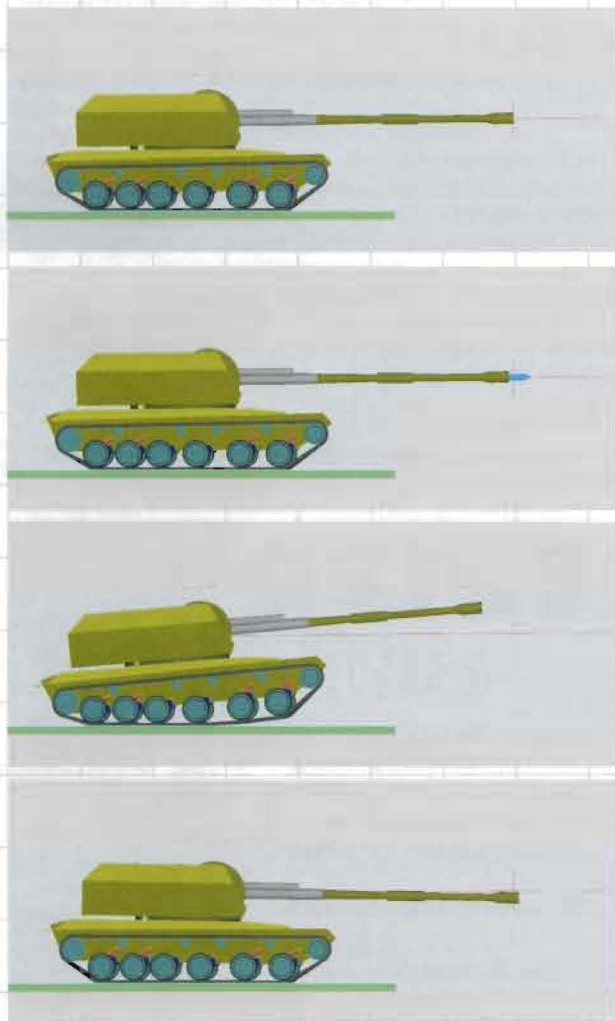


Рис. 5. Выстрел самоходной артиллерийской установки (Уралтрансаш)

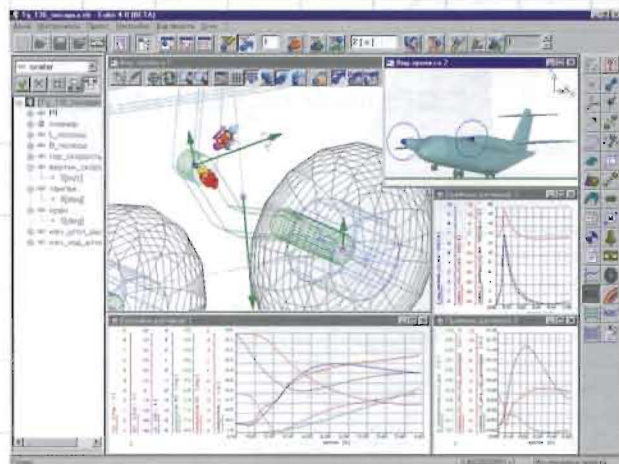


Рис. 6. Моделирование динамики посадки самолета (АНТК им. А.Н.Туполева)

- автоматическое формирование в EULER точных уравнений движения с учетом нелинейности характеристик;
- простые возможности оперативного создания в EULER сложных динамических моделей. Многие задачи сейчас моделируются с достаточно грубой степенью приближения — ввиду сложности создания соответствующих специализированных программ.

Внедрение единой технологии динамического анализа для моделирования различных элементов, агрегатов, систем и изделия в целом на различных этапах создания (проектирование, изготовление, экспериментальная отработка, натурные испытания и анализ возникающих в процессе эксплуатации нештатных ситуаций) позволяет упростить и ускорить решение задач по математическому моделированию. При этом расширяется круг задач, решаемых с помощью математического моделирования, и, как следствие, уменьшается необходимый объем натурных испытаний. На рис. 5 в виде последовательности кадров представлены результаты моделирования в EULER процесса выстрела самоходной артиллерийской установки.

Из опыта внедрения EULER

Опыт внедрения EULER показал, что для освоения технологии требуются примерно следующие сроки:

- начальное ознакомление, простейшие опыты моделирования — 1-2 недели;
- использование технологии для решения реальных задач небольшой размерности — 1-2 месяца, при этом следует отметить, что само решение задач от постановки до получения результатов займет 1-2 дня;
- решение относительно сложных задач (например, моделирование динамики посадки самолета, которая представлена на рис. 6) — 2-6 месяцев.

При моделировании сложных систем рационально привлечение к работе специалистов АО «АвтоМеханика», которое является разработчиком программного комплекса EULER. Это позволит сократить время освоения комплекса и обеспечит оперативное расширение его возможностей в тех направлениях, которые актуальны для конкретного предприятия. ■