



Автоматизированный динамический анализ — одно из важнейших направлений подготовки инженеров-механиков

Сергей Бахмутов, Владимир Бойков

В настоящее время ни у кого не вызывает сомнений, что современный инженер обязан уметь использовать в своей профессиональной деятельности технологии автоматизированного проектирования и что этому необходимо учить уже в институте. Но в вузах такое обучение зачастую ограничивается только знакомством с системами подготовки конструкторской и технологической документации, к которым относятся программные комплексы AutoCAD, T-FLEX, КОМПАС и многие другие. При этом «за бортом» автоматизации остается важнейшая область инженерной деятельности - анализ работы создаваемых технических систем. Примером такого анализа в автомобилестроении является расчет динамики движения автомобиля при выполнении маневра, представленный на рис. 1. В значительной степени такое положение связано с тем, что универсальные автоматизированные системы инженерного анализа как программные продукты, пригодные для широкого распространения, стали доступны сравнительно недавно и, как правило, имеют высокую стоимость.

При создании сложных механических систем, особенно при использовании новых технических решений, одной из важнейших задач является динамический анализ поведения проектируемой системы и ее элементов в процессе работы. Результаты этого анализа позволяют оценить работоспособность, безопасность и другие качества системы, правильно выбрать параметры

конструкции, определить возникающие нагрузки и другие характеристики, важные для дальнейшего проектирования. Для сложных систем первой половине столетия, но они остаются верными и по сей день. В Московском государственном техническом университете «МАМИ»



Рис. 1. Расчет в программном комплексе Euler динамики движения автомобиля при смене полосы движения

спектр этих задач чрезвычайно широк, поскольку включает в себя проверку функционирования множества подсистем и отдельных узлов конструкции, работающих в различных режимах.

Применительно к автомобилестроению основные принципы оценки качеств автомобиля и направления динамического анализа были сформулированы в отечественной науке академиком Е.А. Чудаковым еще в

сложилась авторитетная школа ученых и преподавателей, которые способны на высоком уровне решать возникающие при проектировании автомобильной техники задачи и обучать этому инженеров. Но, как и в других областях науки, здесь нельзя стоять на месте, поскольку интенсивное развитие техники постоянно выдвигает новые задачи и требует их быстрого и точного решения. Для удержания передовых позиций в современной технической науке необходимо сочетать использование основополагающих принципов с применением самых передовых технологий.

Одной из наиболее перспективных и быстроразвивающихся технологий современного инженерного анализа является автоматизиро-

Сергей Бахмутов

Кандидат технических наук, проректор по научной работе Московского государственного технического университета «МАМИ»

Владимир Бойков

Кандидат технических наук, генеральный директор АО «АвтоМеханика»



ванный динамический анализ многокомпонентных механических систем. Иногда это направление называют динамическим взаимодействием многих тел. Базовые формулировки уравнений этого подхода не имеют ограничений на локальность перемещений, принятых в методе конечных элементов. Программные комплексы для динамического анализа многокомпонентных механических систем позволяют рассчитывать в точной постановке в рамках классической механики движение различных механических систем, составные части которых совершают относительно друг друга большие перемещения в пространстве. Эта технология может с успехом использоваться во всех областях техники. При этом объектом исследования могут быть не только конечные изделия, такие как самолет или автомобиль, но и технологическое оборудование для их производства.

В отличие от программных комплексов динамического анализа многокомпонентных механических систем программные комплексы, основанные на методе конечных элементов (МКЭ), предназначены для расчета напряженно-деформированного состояния конструкции и оценки ее динамического поведения при локальных перемещениях, даже если в терминах МКЭ они называются большими. В качестве простейшего примера можно привести физический маятник, большие движения которого точно в этих программных комплексах не моделируются.

Важно отметить, что два этих подхода не исключают, а взаимно дополняют друг друга. При анализе сложных механических систем с большими перемещениями составных частей программные комплексы динамического анализа позволяют исследовать общее поведение системы, получать возникающие при движении нагрузки и большие деформации. Далее, на основании полученных нагрузок, методом конечных элементов можно рассчитать возникающее при этом напряженно-деформируемое состояние жестких звеньев. При наличии в исследуемой системе тел с существенной эластичностью их массово-жесткостные характеристики, полученные методом конечных элементов, можно использовать в модели динамического анализа.

Универсальные программные комплексы динамического анализа многокомпонентных механических систем представляют собой сложные наукоемкие разработки, и число таких комплексов, доведенных до уровня программных продуктов, невелико. Из них наиболее известны американские ADAMS, DADS и российский Euler («Эйлер»). Университет «МАМИ» остановил свой выбор на Euler, который разработан АО «АвтоМеханика» (г. Москва). Материалы об этой системе были опубликованы в журнале «САПР и графика» № 11'97 и 1'98. Это вполне конкурентоспособный и динамично развивающийся программный комплекс с удобным современным интерфейсом. Немаловажным доводом в его пользу послужило и то, что это российская разработка и есть возможность непосредственного контакта с разработчиками, весьма важного при решении сложных задач и при проведении научных работ в новых направлениях.

В настоящее время для решения задач динамического анализа сложных механических систем используются в основном два подхода:

 создание специализированных программ, предназначенных для моделирования машин конкретного типа или машин некоторого ограниченного класса;

 использование универсальных программных комплексов динамического анализа.

Как и в других подобных ситуациях, каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущество специализированных программ заключается в более высоком быстродействии расчетных алгоритмов благодаря их оптимизации для конкретной задачи. Но разработка таких комплексов сопряжена с большими затратами и требует длительного времени, что при решении многих задач делает этот подход нереализуемым. К тому же модернизация расчетной модели исследуемой системы чрезвычайно сложна, ее могут выполнить только сами разработчики специализированной программы.

Использование универсальных программных комплексов динамического анализа позволяет радикально ускорить и удешевить процесс решения задач анализа сложных механических систем. В таких комплексах автоматизирован процесс формирования математической модели в виде уравнений, который является наиболее трудоемким и требует работы специалистов высокой квалификации. Математическая модель формируется по инженерному описанию исследуемой механической системы, которое может сделать грамотный инженер. Уравнения созданной математической модели точно соответствуют законам классической механики. В результате получается более «тяжелая» математическая модель, которая включает в себя полные уравнения движения всех тел механической системы в соответствии со сделанным инженерным описанием. Вычислительное быстродействие такой модели, конечно, ниже, чем специализированной, но общее время решения задачи от момента ее постановки до получения результатов несоизмеримо меньше. К тому же расчетная модель может быть легко изменена или дополнена учетом новых факторов.

В перспективе область применения специализированных программных комплексов будет неуклонно сокращаться, как это уже произошло в области прочностных расчетов. В настоящее время практически все

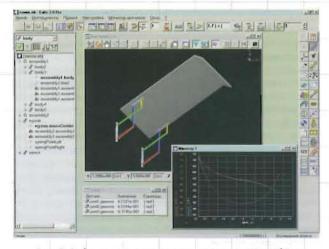


Рис. 2. Работа механизма открывания капота автомобиля



расчеты сложных конструкций на прочность выполняются с использованием универсальных программных комплексов, реализованных на базе метода конечных элементов. Специфика различных конструкций при этом учитывается соответствующим набором конечных элементов. В области автоматизированного динамического анализа механических систем этот процесс пока еще только начинается в силу «молодости» универсальных систем динамического анализа.

Следует отметить еще одно преимущество универсальных программных комплексов, существенное для высшей школы. В процессе подготовки инженеров важно обучить их как самостоятельному решению отдельных проектных задач, так и участию в коллективной работе над большим проектом. Для этого идеально подходят современные универсальные программные комплексы инженерного анализа. С их помощью студенты могут самостоятельно рещать достаточно сложные задачи — от их постановки до получения результатов. При решении сложных задач могут быть использованы готовые модели отдельных подсистем, например элементы подвески автомобиля или механизм рулевого управления. Эти элементы могут быть созданы студентами различных специализаций в рамках работ над составной частью проекта. В программном комплексе Euler имеются мощные средства агрегатирования и параметризации, которые позволяют объединять независимо разработанные элементы проекта в единую молель.

Программный комплекс Euler используется в университете «МАМИ» с 1996 года. Вначале это был период знакомства с ним, осмысление возможностей программного комплекса и определение его места в научной работе и учебном процессе. В настоящее время Euler используется на ряде кафедр профильных специальностей университета при проведении научно-исследовательских работ и при обучении небольших специализированных групп студентов. В дальнейшем планируется более широкое использование программного комплекса в процессе обучения инженеровмехаников.

Опыт показал, что для начального ознакомления с возможностями работы программного комплекса Euler и получения навыков работы с ним рациональнее всего использовать простые задачи, которые студент может выполнить в течение одного или нескольких занятий. Например, формирование модели и проверка работы механизма открывания капота автомобиля, который обозначен на рис. 2. В дальнейшем после освоения базовых возможностей программного комплекса можно переходить к решению более сложных задач, например к моделированию работы газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания. Этот пример представлен на рис. 3. Создание модели какой-либо новой механической системы, имеющей сложность подобного уровня, и исследование характеристик ее движения могут рассматриваться в учебном процессе как студенческая курсовая работа или специальная часть дипломного проекта.

Моделирование относительно простых механических систем с помощью Euler обычно не вызывает затруднения у инженеров, этим можно заниматься практически сразу после краткого знакомства с программным

комплексом. Но при моделировании таких сложных систем, как автомобиль в целом, залача описания идеализированной модели существенно усложняется. Главную сложность в данном случае представляет правильный выбор степени подробности при описании реальной технической системы в виде идеализированной модели. Для успешного решения этой задачи инженер должен четко представлять себе цели и задачи исследования, понимать работу механизма и хотя бы примерно представлять степень влияния различных элементов на его общее функционирование. Без этого можно либо загрубить модель, либо описать ее с явно избыточной подробностью, что потребует чрезмерных вычислительных ресурсов при расчете.

Для успешного моделирования сложных механических систем в современных программных комплексах динамического анализа необходима прежде всего правильная постановка задачи исследования. Поэтому процесс обучения инженеров технологиям автоматизированного

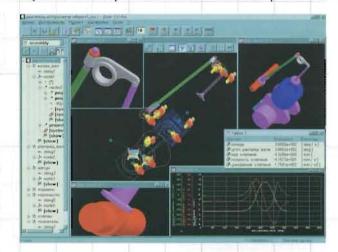


Рис. 3. Моделирование работы газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания

динамического анализа должен быть неразрывно связан с преподаванием фундаментальных основ теории конкретных технических систем (например, автомобиля для инженеров-автомобилестроителей), а также со знакомством с техническими характеристиками элементов конструкции.

Использование универсальных программных комплексов динамического анализа позволяет быстро и с высокой точностью проводить моделирование работы сложных технических систем на этапах проектирования, опытной отработки и испытаний, а также проводить анализ возникающих в процессе эксплуатации нештатных ситуаций. Но для воплощения этих возможностей в реальность необходимы специалисты, владеющие данной технологией.

Российская высшая техническая школа в результате труда многих поколений ученых и преподавателей по праву занимает место одного из мировых лидеров. Для того чтобы не потерять эти позиции, необходимо уже сейчас внедрять в процесс подготовки будущих инженеров-механиков современные технологии автоматизации инженерного анализа.