

А.Г. Елизаров, А.С. Ваченко,  
А.С. Шалумов

## ИНТЕРФЕЙСЫ С САД-СИСТЕМАМИ КАК СРЕДСТВА СИНТЕЗА МОДЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КОНСТРУКЦИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

В статье рассмотрены основные проблемы моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств. Обоснована необходимость создания проблемно-ориентированной подсистемы для моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств. Рассмотрены проблемы взаимодействия с САД-системами на этапе синтеза конструкций радиоэлектронных средств. Рассмотрены особенности импорта геометрии конструкций в разрабатываемую подсистему посредством нейтральных форматов хранения графических данных.

Elizarov A.G., Vachenko A.S.,  
Shalumov A.S.

## INTERFACES WITH CAD-SYSTEMS AS MEANS OF SYNTHESIS OF MODELS OF MECHANICAL PROCESSES IN DESIGNS OF RADIO ELECTRONIC MEANS

In the article the basic problems of modelling of mechanical processes in designs of radio-electronic means are considered. Necessity of creation of the problem-oriented subsystem for modelling mechanical processes in designs of radio-electronic means is proved. Problems of interaction with CAD systems at a stage of synthesis of designs of radio-electronic means are considered. Features of import of geometry of designs in a developed subsystem by means of neutral formats of storage of the graphic data are considered.

По-прежнему актуальной является проблема создания программного средства, позволяющего с достаточной степенью адекватности и достоверности моделировать механические процессы в конструкциях радиоэлектронных средств (РЭС), учитывающего при этом преимущества и недостатки существующих систем и подходов к проектированию. Этого можно добиться применением инновационных подходов к проектированию и специализацией проектных процедур применительно к проектированию РЭС, поскольку эта проблемная область обладает своей спецификой (геометрическая сложность и неоднородность конструкций РЭС; многообразие видов механических воздействий, одновременное приложение к аппаратуре двух и более видов механических воздействий; нелинейность физических характеристик материалов конструкций, и многие другие особенности).

В настоящее время для моделирования представляется возможным использовать существующие САД программы для создания геометрии модели и САЕ программы для препроцессинга, собственно расчета и постпроцессинга. Однако такой подход в силу отсутствия специфики моделирования конструкций РЭС наряду с преимуществами обладает рядом недостатков.

При передаче геометрических данных о модели из САД программы в САЕ программу основную трудоемкость составляют следующие препроцессорные операции:

1. Необходимо произвести логическое разбиение модели на составляющие для удобства работы с нею. Например, при подготовке модели к расчету или просмотре результатов расчета.
2. Так как данные, полученные из САД программы, представляют собой только геометрию модели, то необходимо геометрии модели назначить соответствующие атрибуты, используемые при расчете:
  - материал;
  - тип конечного элемента;
  - толщину для поверхностей;
  - тип и параметры для поперечных сечений балок.
3. Синтез механических соединений в модели между составляющими элементами конструкции. Необходимо не просто геометрически правильно указать расположение элементов друг относительно друга, но и создать модель крепления этих элементов друг с другом. Эти операции на данный момент не автоматизированы и вообще трудно формализуемы. Поэтому пользователю придется все препроцессорные операции выполнять вручную, что, учитывая большое количество деталей

конструкции РЭС, представляет собой трудоемкий и утомительный процесс. Количество операций возрастает вместе с количеством расчетов, необходимых для получения удовлетворительного результата.

Геометрия модели САД программы представляет собой твердотельную модель, по которой затем, большей частью автоматически, формируется конструкторский чертеж. Твердотельная модель трудоемка в обслуживании, обладает большой размерностью и предъявляет высокие требования к вычислительным ресурсам компьютера. Использование для моделирования полностью построенной твердотельной модели, готовой для построения чертежей, представляет собой довольно трудоемкий процесс. Малые элементы геометрии сильно повышают размерность итоговой математической модели, и количество операций по присвоению материала, атрибутов и заданию механических соединений между элементами модели будет неоправданно велико. Адекватность результата при этом не возрастет, а будет соизмерима с величиной погрешности, обусловленной неизбежными допущениями на модель.

Устранить указанные недостатки можно несколькими способами. Можно разделить полную твердотельную модель на геометрию несущих элементов конструкции, существенно влияющих на результат расчета (основную), и геометрию, которой можно пренебречь (например, мелкие отверстия и детали, неглубокие пазы и вырезы и т.п. – второстепенную). При таком разделении твердотельной модели можно работать только с основной геометрией модели. Трудоемкость её создания и редактирования удастся снизить, но это не позволяет существенно снизить размерность задачи, так как модель по-прежнему остается твердотельной. В условиях сжатых сроков проектирования РЭС такой подход также неприемлем.

Учитывая специфику конструкций РЭС, нужно отметить то, что все составляющие высшего уровня иерархии конструкций РЭС (корпус, блок, каркас и т.д.) в конечном итоге разлагаются на исходные конструктивные элементы, которыми являются шпилька, стержень, винт, направляющая, разъем, обечайка, шасси, кожух, ЭРИ, печатная плата (ПП). Для всех элементов низшего уровня характерно то, что два или одно измерение геометрии намного больше остальных измерений. Такое соотношение габаритов длины и поперечных размеров позволяет упростить геометрию, применив гипотезу нормалей, или гипотезу Кирхгофа-Лявэ. В соответствии с этой гипотезой сечения стержня или пластины, нормальные к срединной плоскости стержня или пластины до де-

формации, остаются нормальными к срединной поверхности и после деформации. Эта гипотеза позволяет использовать не твердотельную геометрическую модель, а модель, построенную по средней линии или 2.5D модель, тем самым в несколько раз сократить размерность трехмерной задачи и, соответственно, уменьшить время счета. Трудоемкость построения 2.5D модели соизмерима с трудоемкостью построения твердотельной модели, содержащей только основную геометрию. Это преимущество делает этот подход применимым на практике, однако он по-прежнему содержит большой объем препроцессорных операций, выполняемых вручную.

Анализ процедуры синтеза модели с использованием САД программ показал нерациональность использования идентичных моделей для построения чертежей и для проведения моделирования механических процессов. Модель для чертежа и модель для моделирования предназначены для совершенно различных целей и содержат слишком много ненужной друг для друга информации, чтобы быть воплощенными в одной единственной модели. Разделение геометрии модели по степени влияния на результат расчета не уменьшает размерности задачи. Наиболее рациональной следует признать 2.5D модель, так как она обладает относительно малой размерностью. Тем не менее, трудоемкость препроцессорных операций по обработке 2.5D модели остается по-прежнему высокой. Самая сложная часть препроцессорных операций не может быть автоматизирована.

Полученная геометрическая модель из САД программы состоит из механически несоединенных геометрических элементов, которые подлежат соединению. В существующих САЕ программах сложно реализовать универсальный подход к синтезу механического соединения составляющих элементов конструкции. При синтезе механического соединения неизбежно применение логических операций с геометрией, в результате выполнения которых элементы геометрии модели приобретают новые идентификаторы, а значит, теряют свои свойства материалы и атрибуты. Эту проблему можно обойти, если четко соблюдать последовательность выполнения сначала логических операций, а затем присвоения атрибутов. Но в таком случае придется в САД программе для любого расчета строить целую модель конструкции, а это нецелесообразно по следующей причине. Для проектирования РЭС характерно широкое использование типовых конструкций, и для моделирования также рационально создать библиотеку соответствующих моделей с уже заданными атрибутами. Если собирать итоговую модель из моделей типовых конструкций, то последовательность выполнения логи-

ческих операций и операций присвоения атрибутов нарушится. В этом случае логические операции, сопровождающие операции механического соединения, будут идти после операций присвоения атрибутов, так как в сборку пойдет модель типовой конструкции с уже назначенными материалами и т.д. Этот недостаток представляет собой трудно решаемую проблему при сборке итоговой модели РЭС из заранее построенных моделей.

В существующих САЕ-системах недостаточное внимание уделено вопросам демпфирования или внутренней потери энергии при моделировании динамических процессов. Демпфирование в современных САЕ-системах представлено линейными моделями вязкого внешнего сопротивления, величиной потери механической энергии за один цикл колебаний и пр. Однако природа демпфирования гораздо сложнее и носит ярко выраженный нелинейный характер, поэтому учет внутренней потери энергии средствами САЕ-систем для моделирования конструкций РЭС недостаточен.

Учитывая вышесказанное можно сделать вывод о том, что САЕ программы предназначены для расчета изделий общего машиностроения и не учитывают специфику моделирования конструкций РЭС. Другими словами, САЕ программы не предоставляют возможности для полноценного учета физики протекающих в конструкциях РЭС механических процессов и не позволяют производить сборку моделей из типовых конструкций.

В целом взаимодействие САД и САЕ программ сводится к тому, что для исследуемой конструкции необходимо каждый раз при подготовке на расчет заново создавать 2.5D модель, и при каждом ее редактировании заново выполнять все препроцессорные операции. Конструкция может иметь типовые элементы, применяемые от одной конструкции к другой, для которых имеет смысл создать специальную библиотеку соответствующих параметризованных моделей. Применение подобной библиотеки позволит сократить количество препроцессорных операций, учитывая широкое применение типовых конструкций при проектировании РЭС. Реализация библиотеки типовых моделей в рамках взаимодействия САД и САЕ программ не имеет смысла, так как структура данных и язык макросов САЕ программ не рассчитаны на построение модели в режиме сборки из заранее построенных моделей. По той же причине операции синтеза механического соединения элементов модели в рамках существующих САЕ программ трудно автоматизируемы, поэтому их необходимо выполнять вручную.

Отсюда встает проблема синтеза моделей механических процессов в конструкциях РЭС, обусловлен-

ная отсутствием специализированного методического и программного обеспечения. Для ее эффективного решения необходимо выполнение следующих требований:

1. При построении моделей механических процессов с использованием библиотечной структуры для типовых элементов конструкции и для нетиповых элементов конструкции следует использовать конвертеры с САД программами.
2. Необходима автоматизация операций синтеза механического соединения составляющих элементов модели.
3. Необходим адекватный учет демпфирования механического процесса в конструкциях РЭС.

Выполнение указанных требований невозможно в рамках существующих САЕ программ, так как требуется специализация практически каждого этапа работы с моделью. Необходима разработка собственной проблемно-ориентированной подсистемы. Это потребует решения множества задач, в их числе создания единой структуры геометрических данных (в целях унификации операций для работы как с внутренней геометрией, так и с геометрией, экспортированной из САД программ) и разработки интерфейсов с САД программами для двумерного и трехмерного геометрического моделирования.

Несмотря на то, что создание геометрии модели при помощи САД-систем обладает рядом недостатков, без этого, порой, невозможно обойтись. САЕ-системы, в большей степени ориентированные на выполнение расчетов, безусловно обладают собственными средствами компьютерной графики для создания геометрических моделей рассчитываемых конструкций. Но на практике оказывается, что графические редакторы препроцессоров намного слабее, чем специализированные САД пакеты, и из-за этого процесс синтеза модели становится трудоёмким. Современные САД-системы предоставляют проектировщикам широкий спектр сервисных функций, которые позволяют упростить и ускорить процесс создания геометрии конструкции (параметризация, редактирование, получение чертежей и проч.).

На предприятиях, занимающихся разработкой радиоэлектронной аппаратуры, конструкции РЭС (блоки, шкафы и прочие) являются типизированными и унифицированными, но не исключены ситуации, при которых необходимо провести расчет нетиповой конструкции. Для таких случаев нецелесообразно создавать собственный интерфейс типовой конструкции специальными средствами САЕ-системы (речь идет о применении макроязыков), интер-

фейс с САД-системой является достойной, а порой и единственной удобной альтернативой.

При моделировании механических процессов в конструкциях РЭС часто возникает необходимость оптимизации исходной конструкции в случае получения неудовлетворительных результатов расчета. Она требует редактирования геометрической модели, облегчить которое можно применением параметризованных моделей. К сожалению, параметризованные модели, в отличие от жестко размерных, до сих пор не стандартизованы, а, соответственно, форматы их хранения в САД-системах различны, и применить универсальный подход не представляется возможным.

Таким образом, мы выяснили, что без взаимодействия с САД современная конкурентоспособная САЕ-система обойтись не может. Реализовать данную задачу можно, по крайней мере, двумя способами. Во-первых, создавать прямые интерфейсы с наиболее известными САД-системами. Такой подход оправдывает себя только применительно к «тяжелым», универсальным программным продуктам, так как требует больших временных затрат на создание нескольких сложных интерфейсов. Второй вариант – использовать нейтральные форматы хранения графических данных, такие как IGES, STEP, DXF и другие. К сожалению, они не поддерживают параметризацию и не работают с описаниями ограничивающих условий и историей – эта информация теряется при переносе из одной системы в другую. Несмотря на это, для большинства универсальных САЕ-систем этот вариант является базовым. В целях ускорения процесса разработки подсистемы на начальном этапе целесообразно реализовать интерфейс с САД-системами через нейтральные форматы.

Как было отмечено ранее, применение модели, построенной по средней линии (2.5D модели), позволит существенно снизить размерность расчетной задачи и сделает возможным упрощение структуры хранения данных с целью повышения унификации проектных процедур, сопровождающих процесс моделирования. Общая структура данных позволит одинаково легко работать с моделью в пре- и пост-процессорном режиме: интерактивно создавать конструкцию средствами геометрического моделировщика подсистемы, импортировать данные из САД программ, осуществлять логические операции над элементами геометрии, а также позволит управлять моделью средствами встроенного макроязыка на различных уровнях взаимодействия с подсистемой, графически отображать результаты расчета и пр.

Применение 2.5D модели подразумевает, что вершиной геометрической подсистемы будет являться

поверхность, а не твердотельная модель. Поверхности представляют собой плоские объекты, образованные одним внешним и несколькими внутренними контурами. Все контуры, образующие поверхность, должны лежать в одной плоскости.

Контуры представляют собой замкнутые последовательности примитивов-линий, лежащих в одной плоскости и используемых для определения поверхностей. В свою очередь, линии представляют собой двумерные объекты, образованные из точек в пространстве. Линии могут быть двух видов: прямые и дуги окружностей. Благодаря применению специальных алгоритмов обработки поверхностей, отпадает необходимость ориентации линий, достаточно лишь ограничить их соответствующими точками.

Точки – наиболее простые объекты и, следовательно, занимают низшую ступень иерархии, являясь неотъемлемой составной частью всех остальных ступеней иерархии.

Поверхности и линии обладают собственными координатными системами и набором атрибутов, используемых при расчете (о них было сказано выше). Структура данных позволяет объединять однотипные элементы геометрии в компоненты. Например, при просмотре результатов расчета может потребоваться убрать кожух для того, чтобы увидеть поле механических характеристик внутри прибора. В этом случае элементы модели, составляющие кожух, объединяются в компонент, что позволяет скрывать или выполнять другие действия с совокупностью элементов модели как с одним целым. Данный механизм удобен в том случае, если возникает необходимость осуществления логических операций не над парой геометрических объектов, а над их множествами (например, объединение сразу нескольких поверхностей).

Структура данных позволяет импортировать в ней данные о геометрии конструкции из САД программ. Файлы формата IGES (Initial Graphics Exchange Specification – международный стандарт обмена графическими данными) являются наиболее предпочтительными для передачи в разрабатываемую подсистему 2D и 3D моделей. Для осуществления импорта данных из IGES-файла разработан специальный интерфейс, учитывающий особенности структуры данных. Он позволяет интерпретировать и строить только такие примитивы, как точка, прямая, дуга окружности, и производные от них геометрические объекты: составная кривая, образованная прямыми и дугами; замкнутые и не замкнутые цепочки прямых. Если объекты IGES-файла не распознаются интерфейсом, они игнорируются. При считывании и построении трехмерных конструкций вер-

шиной иерархии является усеченная поверхность, ограниченная одним внешним и несколькими внутренними контурами, которые, в свою очередь, могут быть образованы линиями и цепочками линий.

При считывании и построении двумерных конструкций вершиной иерархии являются линии и цепочки линий, причем для данного случая предусмотрен режим автоматического поиска замкнутых контуров и создания из них поверхностей. В этом режиме объекты, которые не входят в состав найденных поверхностей, отсекаются.

При импорте учитывается точность построения геометрии (разрешение), с учетом которой автоматически устраняются зазоры между геометрическими объектами. При считывании может возникнуть дублирование линий и точек. Это часто случается с САД-моделями из-за погрешностей и тех приемов, которые использовались при их создании. Слияние дублированных объектов выполняется автоматически. Необходимо отметить, что при импорте моделей из IGES нужно оценивать возможность осуществления процедур геометрического моделирования, реализованных в разрабатываемой подсистеме, которые касаются планирования подхода к решению задачи и числа необходимых подробностей для выполнения последующего конечно-элементного анализа.

Файлы формата DXF являются наиболее предпочтительными для передачи в разрабатываемую подсистему 2D моделей. Для осуществления импорта данных из DXF-файлов также разработан специальный интерфейс. Принципы трансляции геометрических данных из DXF формата во многом схожи с принципами трансляции 2D геометрии из IGES файлов.

Вставка импортированной модели в рабочую область осуществляется всегда относительно локальной системы координат, которая может быть предварительно произвольным образом спозиционирована, для упрощения сборки составной конструкции. Допускается в один проект (рабочую область) добав-

лять множество импортированных моделей, а также добавлять новые геометрические объекты при помощи средств графического редактора подсистемы, в дополнение к уже импортированным моделям из САД-системы.

Разработанные интерфейсы полностью удовлетворяют идеологии проектируемой подсистемы и учитывают особенности структуры хранения геометрических данных, сводя к минимуму ограничения на последующее оперирование моделью в процессе подготовки её к расчету.

Таким образом, применение описанных подходов позволит создать схему синтеза моделей механических процессов РЭС, которая будет представлять собой некий симбиоз САД- и САЕ-систем. Интеграция функций и данных САД- и САЕ-систем создаст единое информационное поле, в рамках которого можно будет преодолеть трудности, связанные с ограничениями по построению моделей в типовых интерфейсах и трудности, связанные с привлечением специалиста в области моделирования к процессу проектирования РЭС.

**Шалумов Александр Славович,**

*доктор технических наук, профессор  
Владимирский филиал Российской академии  
государственной службы при Президенте РФ  
заведующий кафедрой информационных  
технологий,  
ALS140965@mail.ru*

**Ваченко Александр Сергеевич,** кандидат  
*технических наук, Владимирский филиал Российской  
академии государственной службы при Президенте  
РФ, старший преподаватель*

**Елизаров Анатолий Геннадьевич,**  
*ОАО "Ковровский механический завод",  
Начальник бюро*