

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ЛОПАТОК

А.Г.Керженков, И.Б.Дмитриева

Общие положения

Переход к новым информационным технологиям проектирования изделий предполагает повышенное внимание к проблемам выпуска графической документации. В лаборатории комплексных САПР Самарского государственного аэрокосмического университета было разработано большое количество систем проектирования лопаток авиационных газотурбинных двигателей. В предлагаемой статье описываются подходы к созданию подсистемы формирования чертежей одной из последних САПР.

Разработка САПР турбинных лопаток, обеспечивающей определение структуры, параметров, взаимного расположения пера и хвостовика и формирование конструкции детали, позволяет перейти к автоматизированному выпуску чертежа лопатки по результатам её проектирования в системе. Рабочий чертёж по-прежнему остается основным носителем технологической информации. Несмотря на возможность передавать в производство математическую модель (ММ) спроектированной конструкции на машинных носителях чертеж по-прежнему остается наглядным документом, отражающим итоговые решения по конструкции и служит основанием для контроля готового изделия.

Практически полностью автоматизировать процесс формирования и выпуска чертежей удастся, если в памяти ЭВМ имеется структурно-параметрическая модель принятой конструкции изделия и четко установлены требования к графическим документам. Такая информация для деталей с мало изменяющейся структурой может быть достаточно полно представлена на т.н. типовом чертеже. Лопатки турбины, даже неохлаждаемые, отличаются значительным разнообразием конструкций, что затрудняет составление для них единого типового чертежа и вынуждает искать более эффективные пути автоматизации выпуска чертежей. С этой целью был проведён анализ процесса формирования ММ и выпуска чертежей, результаты которого излагаются ниже.

Этапы автоматизированного выпуска чертежей и анализ возможности их формализации

В отличие от традиционного способа, когда конструкция детали, как пространственного геометрического объекта, рождается практически одновременно с ее изображением на бумаге, в САПР к началу выпуска чертежа уже должны быть известны состав и виды поверхностей детали и их взаимное расположение, номинальные значения параметров и их допускаемые отклонения, шероховатость поверхностей деталей, технические требования и т.д. Таким образом, ко времени формирования ММ построения чертежа определяются все геометрические признаки и параметры детали, отвечающие установленным критериям и ограничениям. При наличии этой информации в процессе формирования модели можно выделить ряд относительно независимых этапов: 1) определение состава изображений; 2) формирование моделей построения изображений; 3) формирование моделей нанесения размерных сетей и обозначений; 4) компоновку чертежа 5) оформление чертежа, к которому отнесём формирование основной и дополнительной надписей, неуказанной шероховатости, технических требований. Рассматривая формализацию названных задач, будем в первую очередь выделять подходы, инвариантные к условиям применения различных технических средств и эффективные для автоматического формирования ММ графических документов.

Определение состава изображений - сложная эвристическая задача. Рекомендации ГОСТ 2.305-68 по ее решению носят качественный характер и не могут служить надежным основанием для формализации. Возможные подходы к определению состава изображений связаны либо с заданием направлений проецирования и положения секущих плоскостей, либо с априорным установлением множества изображений, типичных для чертежей рассматриваемого класса деталей. В первом случае проекция детали является ее непосредственным отражением на плоскости; во втором - связь между пространственным геометрическим образом изделия (ГОИ) и составом его изображений устанавливается разработчиком системы: на основе анализа параметров детали выбирается некоторый тип чертежа из заранее сформированного множества. Такой подход позволяет органично связать построение контуров с формированием размерной сети и обеспечить автоматический выпуск графической документации. Для его реализации требуется выделить конечное множество изображений, соответствующих некоторому семейству конструкций (СК), из

которого будет осуществляться выбор. В задачах документирования под СК будем понимать множество ГОИ, образующихся путем изменения, упразднения или приравнивания размеров из одной наиболее сложной конструкции, называемой обобщенным представителем семейства. Рассматриваемые в САПР конструкции лопаток, несмотря на разнообразие, можно отнести к деталям одного семейства.

Хотя любой из ГОИ может быть получен из обобщенного, чертеж его не всегда является частным случаем чертежа обобщенного представителя. Действительно, если структура самого изделия определяется множеством поверхностей и законами их отношений, то его плоские изображения образованы линиями и символами, - отношения между которыми нетождественны их отношениям для ГОИ. Даже для геометрических образов одной схемы изображения имеют различную структуру и, следовательно, различный состав параметров, их определяющих.

Таким образом, возникает необходимость принять в качестве методической основы при разработке подсистем *два* документа - типовой чертеж и описание его возможных модификаций.

Типовой чертеж детали турбинной лопатки имеет вид выполненного в соответствии с требованиями ЕСКД рабочего чертежа, на котором числовые значения номинальных размеров, величин предельных отклонений и допустимых шероховатостей заменены условными обозначениями. Прототипом для него может служить реальный рабочий чертеж детали, соответствующий по своему строению обобщенному представителю СК, включающий наиболее полный состав изображений, их характерное размещение с учетом проекционных связей; изображения, выполненные в масштабе, отличном от общего; распределение размеров и обозначений по видам; характерные тексты технических требований. При составлении типового чертежа целесообразно в максимальной степени использовать упрощения изображений, замену сложных видов несколькими более простыми: полного вида - местным, разреза - сечением; применять поворот изображений, осевые или контурные линии которых не параллельны линиям рамки. С изменением структуры и размеров детали чертежи представителей СК уже не будут соответствовать типовому.

Можно выделить три группы причин, вынуждающих отступать от согласованного типового чертежа; это - 1) изменение состава изображений, необходимого для представления спроектированной конструкции; 2) изменения структур контурных линий; 3) изменения размерных сетей и обозначений. Уменьшение числа изображений обусловлено упразднением элементов конструкции, частным расположением

поверхностей детали относительно плоскостей проекций, при котором удается обойтись без дополнительных видов и разрезов, достаточно крупными размерами изображений, позволяющими отказаться от выносных элементов. Модификации изображений вызываются не только изменением геометрических признаков самой детали, но и отличиями в её отображении на плоскости: изменением условий видимости, необходимостью внесения упрощений при малых размерах и при загроможденности изображения, различными вариантами сопряжения и пересечения линий чертежа. Размерные сети и обозначения оказываются самой динамичной частью чертежа. Т.к. одно лишь изменение величины проставляемого размера может потребовать изменения в расположении выносных и размерных линий, стрелок и размерной надписи, не говоря уже об изменении состава размеров при изменении конструкции или технологии её изготовления.

Указанные изменения отражаются в описании модификаций для разработки алгоритмов выпуска чертежей деталей всего семейства.

Необходимость строить изображения в соответствии с размерами, значения которых определяются по результатам проектирования, требует применения параметризованных моделей. К методам их формирования можно отнести: 1) преобразование пространственного ГОИ; 2) автоматизированное установление топологических связей между геометрическими примитивами (точками, линиями, символами и т.д.) в процессе формирования пользователем изображения на экране (интерактивная плоская параметризация); 3) аналитическое описание каждого из изображений и его размерной сети.

Преобразование пространственного ГОИ

В современных CAD/CAM системах, таких как CATIA, Unigraphics, Solid Works, AMD и др., существуют развитые средства получения плоских изображений от пространственной модели, при этом обеспечивается частичная простановка размеров и двунаправленная ассоциативная связь между плоским изображением и моделью.

Для автоматического получения чертежа от ГОИ также необходимо пройти через указанные пять этапов. Выполненный анализ приведенных CAD/CAM систем показал, что имеющиеся в них средства программирования не обеспечивают в полной мере автоматизацию названных этапов. Особые трудности связаны с учётом условностей изображения лопатки на чертеже, простановкой отклонений на размеры в соответствии с установленными качествами для определённых в систем номинальных размеров и оформление чертежа. Причём затраты времени на ручную

доработку для "доводки" чертежа, вероятно, окажутся сравнимым с затратами на его выпуск средствами интерактивной графики соответствующих систем. В связи с изложенным анализируемый подход в настоящее время можно охарактеризовать как перспективный, применение которого станет возможным с развитием средств программирования.

Интерактивная плоская параметризация

Значительный интерес для разработки программного обеспечения выпуска чертежей представляет второй из методов формирования параметризованных моделей, основанный на принципе "программирую, рисую". В соответствии с идеями данного метода программы вычерчивания изображений, размерных сетей и обозначений создаются автоматически в ходе построения чертежа на экране дисплея пользователем, не обладающим знаниями в области программирования. При выполнении составленных таким образом программ с новыми исходными данными формируется чертеж, идентичный по топологии введенному пользователем, но отличающийся своими размерами.

В качестве средств реализации этого подхода рассматривались AutoCAD Designer и Компас-График.

Учитывая, что из названных систем наибольшее распространение имеет AutoCAD и Исполнитель имеет большой опыт работы именно с этой системой, была сделана попытка автоматизировать выпуск чертежей с помощью AutoCAD Designer.

Выяснилось, что плоская параметризация в AutoCAD Designer не поддерживается, уступив место более современной пространственной параметризации.

За последнее время существенно расширились параметрические возможности системы Компас-График. Версия Компас-График 5.4 позволяет формировать плоские параметрические изображения, обеспечивая при этом ассоциативность контуров с размерами, штриховками, технологическими обозначениями. Сам процесс формирования параметрических изображений оказывается проще и быстрее, чем, например, в известной системе T-FLEX. Однако, версия Компас-График 5.4 имеет ряд ограничений, которые должны быть сняты в версии Компас-График 5.5. После чего рассматриваемый подход, возможно, окажется весьма продуктивным

Аналитическое описание изображений

Аналитическое описание каждого из изображений и его размерной сети - ме-

тод, который хорошо зарекомендовал себя при выпуске чертежей лопаток в ранее созданных в СГАУ системах автоматизированного проектирования лопаток. В соответствии с ним ММ чертежа представляет собой уравнения контуров изображений и размерных сетей, полученные непосредственным описанием линий типового чертежа с учетом возможных модификаций. Аналитическое описание каждого из изображений выполняется в его автономной системе координат, положение которой на листе заданного или выбранного формата определяется в результате компоновки. Получаемые аналитические и логические выражения служат для формирования алгоритма вычерчивания. В этом случае более половины всего алгоритма построения ММ чертежей занимает описание размерных сетей и обозначений, что объясняется большим их количеством, тесной взаимосвязью и, как указывалось, многообразием способов простановки. В этом подходе решается и задача автоматического определения масштаба, формата чертежа и расположения изображений, т.е. вопросов компоновки. Существенным достоинством излагаемого подхода является возможность работы отдельно с изображениями и с их размерными сетями, а также модификация изображений и их размерных сетей в диалоговом режиме средствами тех систем, в которых они формировались.

К недостаткам рассмотренного метода относятся высокая трудоемкость составления алгоритмов и программ.

Порядок работы с подсистемой

Проектирование в современных САПР осуществляется путем определения параметров конструкций заранее установленной КС. Такая ситуация объясняется сложностью, а чаще, невозможностью создать методики поверочных газодинамических, прочностных и иных расчетов для произвольных, заранее не определенных КС. Разрабатываемая САПР неохлаждаемых турбинных лопаток не является в этом смысле исключением и ориентирована на проектирование лопаток согласованных КС. Это и позволяет ориентироваться на соответствующее множество типовых чертежей и описания модификаций к ним.

Определенность структуры (состава элементов и их относительного расположения) проектируемой конструкции позволяет не только сформировать пространственный геометрический образ детали из отдельных примитивов, но и определить, какие виды, разрезы и сечения необходимо выполнить для его однозначного описания на чертеже, т.е. поставить в соответствие детали типовой чертеж из ограничен-

ного множества. При эксплуатации САПР после определения всех необходимых геометрических параметров сформированная модель лопатки обретает конкретные размеры. Определяются также уравнения кривых и координаты опорных точек изображений типового чертежа.

Подготовка данных выполняется автоматически или в текстовом редакторе вне оболочки системы.

Вся работа по формированию изображений, компоновке их на листах и пр. выполняется под управлением специально созданного монитора в графическом режиме.

Монитор - это комплекс, состоящий из программ, слайдов, меню, сценариев

Монитор предоставляет пользователю следующие основные возможности:

- ввод и редактирование исходных данных для выпуска чертежа;
- ввод и редактирование технических требований;
- формирование отдельных изображений;
- последовательное формирование всех изображений на данном листе в автоматическом режиме (сквозной режим);
- корректировка масштабов и расположения изображений;
- корректировка чертежа средствами ACADa;
- сохранение чертежа;
- вывод чертежа на графопостроитель

Формирование и редактирование текстов выполняется в текстовом режиме. В текстовом режиме подсистема позволяет корректировать текст технических требований. Также в текстовом режиме происходит корректировка и просмотр исходных данных. Корректируются данные с клавиатуры.

Предусматривается диалоговый режим работы. Так как формирование изображений выполняется с помощью ACADa, то пользователь, имеющий навыки работы с данной графической системой, может по своему желанию редактировать изображения, изменять их расположение на листе, добавлять новые изображения или стирать имеющиеся. Такой режим позволяет формировать чертежи лопаток, конструкции которых выходят за рамки, очерченные выбранным семейством.