

- В об.: Машинное проектирование, увязка и воспроизведение сложных деталей в авиастроении. Иркутск, ИрПИ, 1976.

4. Р в а ч е в В.Л. Геометрические приложения алгебры логики. Киев.: Наукова Думка, 1967.

5. Автоматизация исследований и проектирования. М.: Наука, 1978.

6. М а з н ы й Г.Л. Программирование на ЭЭСМ-6 в системе "Дубна". М.: Наука, 1978.

7. П р и н с М.Д. Машинная графика и автоматизация проектирования. Пер. с англ. М.: Советское радио, 1975.

УДК 629.7.02:681.068

В.А. Столярчук

#### О ПРОЕКТИРОВАНИИ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В САПР

Процесс проектирования летательного аппарата представляет собой итерационный процесс последовательного приближения от абстрактной модели к реальному объекту. На каждом этапе проектирования обычно разрабатывается своя математическая модель, которая отражает локальные свойства л.а. и определяется знаниями и опытом разработчика. Требования, предъявляемые к различным дисциплинам на разных этапах проектирования, неравнозначны и зачастую противоречивы. Реально эти требования могут быть удовлетворены путем развития программ, созданных для отдельных фаз проектирования, последовательно прогрессирующих от приближенных моделей с соответственно малыми затратами машинного времени к более полным расчетам и соответственно более длительному времени работы вычислительных машин на более поздних этапах проектирования.

Задача проектирования силовых конструкций, т.е. той части конструкции, которая воспринимает основные силовые потоки от действующих сил и моментов, является частью общей задачи проектирования. Эта задача связана с проблемой передачи сил и моментов в пространстве и поэтому определение конструктивных форм, весов, размеров и распределение материала несущих элементов связано с расчетами на прочность.

Расчеты на прочность основаны на результатах теоретических исследований в области строительной механики и теории упругости,

математический аппарат которых достаточно разработан. Поэтому задача проектирования силовых конструкций есть, в принципе, формализуемая задача, основанная на связях типа нагрузка - размеры - вес. Этим путем можно определить до 50% массы всей конструкции л.а. [1].

В процессе проектирования определяется путем последовательного уточнения от этапа к этапу ряд параметров, характеризующих конструкцию. Принимая во внимание модульный принцип организации САПР, следует из этих параметров прежде всего выделить те, без которых невозможно функционирование системы в целом на всех этапах проектирования. Понятно, что на ранних стадиях проектирования сведения о типе и геометрических размерах элементов конструкции не являются необходимыми, а для функционирования остальных блоков САПР и всей системы в целом потребуется только значение веса конструкции, причем требуемая степень достоверности (точности) определения этого веса, как правило, невысока. С другой стороны, на поздних фазах разработки проекта необходим весь спектр параметров конструкции и ее жесткостные и динамические характеристики, определение которых потребует тщательной проверки элементов конструкции на прочность, а следовательно, и более сложных расчетных моделей. Эти параметры необходимы прежде всего для определения технологичности и экономичности проекта, а также для рационального размещения внутри аппарата других агрегатов и систем.

Входными параметрами для рассматриваемого блока следует считать внешний геометрический облик конструкции, внутренние габаритные ограничения, спектр возможных нагрузок, а также характеристики материалов, из которых будет изготовлена конструкция.

Можно выделить три основные функции блока проектирования силовых конструкций:

определение типа конструктивно-силового исполнения;

определение геометрических параметров элементов конструкции и их взаимное расположение;

определение веса конструкции.

В решении любой проектной задачи процесс проектирования может быть разбит на этапы разных уровней. Существующее деление традиционно, носит чисто условный характер и часто производится волевым решением. Создание САПР, а следовательно и составляющих ее блоков, на основе такого деления представляется мало перспективным прежде всего из-за сложности создания математических моделей, соответствующих определенным, волевым образом выбранным этапам. Для блока проектирования силовых конструкций эта проблема вряд ли разрешима, главным

образом, из-за ограниченного числа методов расчета на прочность и трудностей создания новых. Следует заметить, что создание нового метода - всегда заметная веха в развитии отдельной отрасли науки, а для рассматриваемой области - тем более. В принципе, можно рекомендовать только два-три работоспособных и надежных метода для расчета всей конструкции л.а.

Поэтому более логичным выглядит понимание процесса проектирования как непрерывного процесса и попытка обеспечить эту непрерывность существующими методами. Система автоматизированного проектирования должна сама формировать из этих методов математическую модель, соответствующую тому, какие параметры и с какой точностью следует получить. Для обеспечения работы такой системы необходимо создание блока проектирования силовых конструкций, могущего производить расчеты различной сложности.

В соответствии с известными видами прочностных расчетов блок проектирования силовых конструкций должен включать в себя 4-5 уровней вычислений.

1-й уровень. Предварительная оценка весовых характеристик конструкции л.а. заданной конфигурации.

Необходимость этого уровня определяется следующими соображениями. На ранних этапах проектирования для функционирования САПР необходимы сведения о конструктивно-силовом исполнении отдельных отсеков или агрегатов. В то же время уже на этих этапах в процессе аэродинамического и баллистического расчетов необходимо знать вес л.а., а следовательно и вес конструкции. Далее, так как формулы весового проектирования учитывают в той или иной степени нагрузку на конструкцию, появляется возможность некоторой оптимизации массы л.а. на стадии определения его параметров и выполнения компоновочных схем, а также минимизации массы частей л.а. Эта возможность обусловлена главным образом тем, что внешние нагрузки существенно зависят от схемы и внешней компоновки л.а. Следует только обратить внимание на то, что весовые формулы, как правило, не учитывают конструктивных особенностей, а их применение в силу специализации, вполне обоснованное при проектировании, в общем, традиционных л.а. (например, дозвуковых пассажирских самолетов, для которых существует достаточное количество статистических данных), при создании перспективных видов л.а. может вносить значительные погрешности.

2-й уровень. Проектирование конструктивно-силовых схем.

Выбор конструктивно-силовой схемы является весьма ответственной

задачей начального этапа проектирования силовых конструкций. Исходными данными к решению этой задачи, как, впрочем, и для всего блока, являются:

внешние геометрические формы л.а.;

действующие нагрузки;

ограничения технологического или эксплуатационного характера.

Для решения задачи о выборе рациональной конструктивно-силовой схемы еще не создан методологически завершенный аппарат и поэтому решать ее приходится косвенными методами. Перспективными можно назвать методы построения конструктивно-силовых схем, основанные на упрощении модели конструкции, например, стержневая модель и континуальная модель, но эти методы требуют еще дальнейшего тщательного развития.

В настоящее время основным остается метод выбора КСС путем сравнения различных вариантов, метод достаточно трудоемкий, частично интуитивный. В конструкциях л.а. традиционно применяются проверенные длительной практикой оболочковые, ферменные и рамные конструкции, а также их комбинации. Проектировщику необходимо сравнить различные виды конструктивно-силового исполнения и произвести оптимизацию параметров элементов выбранной конструктивно-силовой схемы.

В системе автоматизированного проектирования задача проектирования конструктивно-силовых схем должна ставиться и решаться как задача математического программирования, основой которой будут известные формулы проектировочных расчетов.

Следует только заметить, что далеко не для всех видов конструктивно-силового исполнения отсеков фюзеляжа и крыла существуют проектировочные формулы, а те, которые имеются, зачастую требуют специальной проверки. Кроме того, имеющиеся формулы, как правило, предназначены для проектирования при одном, редко двух, видах нагружения, в то время как в реальных задачах следует рассматривать все виды нагружения.

Все это, понятно, затрудняет организацию рассматриваемого уровня.

Алгоритм выбора конструктивно-силовой схемы отсека представляется следующим образом:

- 1) задание вида КСС отсека;
- 2) определение параметров КСС по проектировочным формулам;
- 3) оптимизация этих параметров (если возможно);
- 4) сравнение по какому-либо критерию различных КСС отсека;

## 5) выбор КСС.

Не исключена возможность, что несколько конструктивно-силовых схем могут быть очень близкими по определяющему критерию (например, весу). В этом случае окончательный выбор конструктивно-силовой схемы должен производиться на последующих уровнях блока проектирования силовых конструкций.

3.4 и 5 уровни. Назначение этих уровней состоит в проведении прочностных расчетов различной точности и достоверности. Здесь на основе достаточно сложных моделей производится окончательный выбор конструктивно-силовой схемы анализируемой конструкции, расчет на прочность отдельных элементов и оптимизация их параметров. Для функционирования этих уровней необходимо иметь программное обеспечение для соответствующих видов форм и конструктивно-силовых схем отсеков.

Расчеты на основе идеализированного представления конструкции в результате упрощения расчетных схем (балочная теория, пластинная аналогия и т.д.) наиболее целесообразны на первом из рассматриваемых уровней.

Для четвертого уровня можно уже использовать известные методы анализа состояний деформируемых систем, которые в настоящее время являются, пожалуй, основным инструментом поверочного расчета. К наиболее распространенным из них следует отнести методы численного решения дифференциальных уравнений, вариационно-разностные методы, а также методы конечного элемента. Необходимо указать и на весьма успешные попытки использования метода конечного элемента при проектировании конструктивно-силовых схем [2].

Последний уровень расчетов предполагается строить на основе методов анализа состояний упруго-деформируемых систем (физически нелинейные задачи) и методах анализа упруго-пластического деформирования. Эти задачи являются существенно более трудоемкими и осложненными рядом методологических обстоятельств [3]:

сложностью моделей деформирования с учетом температуры, цикличности, скорости деформирования и т.д.;

критериями прочности как при однократном, так и многократном нагружении;

сложностью экспериментальной проверки теоретических исследований.

Общая методология решения указанных задач еще не создана и надо ожидать ее появления, по-видимому, в ближайшем будущем.

## Л и т е р а т у р а

1. Б и р ю к В.И., Л и п и н Е.К., Ф р о л о в В.М. Методы проектирования конструкций самолетов. М.: Машиностроение, 1977.

2. К о м а р о в В.А., С о л о в о в А.В. Об опыте автоматизации проектирования силовых схем крыльев. В сб.: Материалы Всероссийской школы 1975 года по автоматизации проектирования. МТИ, 1976.

3. У г о д ч и к о в А.Г. Численные методы и ЭВМ в решении проблем прочности. В сб.: Прикладные проблемы прочности и пластичности. Горький, 1975, вып. I.

УДК 629.7.658.51:519.87

А.В. Соллогуб, Л.З. Чернис

### ЗАДАЧА СИНТЕЗА МНОГОЭТАПНОГО ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Предполагается, что создание сложного технического комплекса (ТК) осуществляется в результате выполнения  $n$  последовательных этапов. В зависимости от сложности  $S$  создаваемого ТК (считаем, что введена шкала сложности ТК) и имеющегося опыта  $\bar{L}$  (наличие прототипа, задела технической документации и методик, возможности заимствования отдельных элементов ТК) может быть определена трудоемкость каждого этапа создания ТК:

$$\kappa_i^* = \kappa_i^*(S, \bar{L}) \quad (i=1, 2, \dots, n).$$

Трудоемкость  $\kappa_i^*$  выражается в единицах основного продукта труда  $i$ -го этапа. Это может быть количество рассмотренных вариантов технических решений, количество листов технической документации или чертежей стандартного формата, количество типовых инструкций, методик, алгоритмов, количество проведенных испытаний и др.

Состояние выполнения  $i$ -го этапа в момент времени  $t_i$  с его начала может быть охарактеризовано двумя величинами: