

ОБУЧЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

(Самарский государственный аэрокосмический университет)

В подготовке специалистов XXI века важно отработать способы изучения приемов проектирования двигателей с использованием компьютерных технологий на основе творческого формирования конструктивного облика и схемного решения как двигателя в целом, так и его элементов.

Опыт показывает, что для базового обучения достаточно ограничиться следующими признаками творческого процесса /1-3/:

- результат на уровне патентоспособного решения;
- полученное решение обеспечивает технический прогресс;
- работа проводится в данной области или с использованием данного способа впервые.

Все творческие процессы содержат много компонентов, которые выполняются стереотипно и стандартно по инструкции и только немногие шаги требуют особого подхода и приводят к действительно чему-то новому. (По выражению Эдисона - 1% вдохновения и 99% труда). В этих рамках процесс поиска нового или улучшенного решения можно исполнять по известным методикам и соответственно планировать.

На кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов в течение последних трех лет проводятся занятия со студентами групп специализации "Конструкторы - прочнисты" по дисциплинам "Принципы инженерного творчества" и "Автоматизированное проектирование двигателей".

Задача курсов заключается в анализе газотурбинных двигателей (ГТД) и обучении процессам их проектирования с использованием средств автоматизации. Практическое изучение эвристических и автоматизированных приемов конструирования начинается с описания ГТД как объекта проектирования, состоящего из:

Параметрического описания - описания свойств, признаков, отношений объекта, основанного на эмпирических наблюдениях.

Морфологического описания - перехода к определению поэлементного состава, строения объекта и взаимосвязи параметров.

Функционального описания - перехода к определению функциональных зависимостей между параметрами, между частями и другими элементами, т.е. взаимосвязей, определяющих порядок включения части в целое.

Описания поведения- выявления целостной картины "жизни" и механизмов, обеспечивающих смену направлений и режимов его работы.

Любой ГТД представляется в виде технической информации - результата научно-технической деятельности, благодаря которой становится возможным изготовить двигатель и обеспечить его функционирование как технического средства (рис. 1).

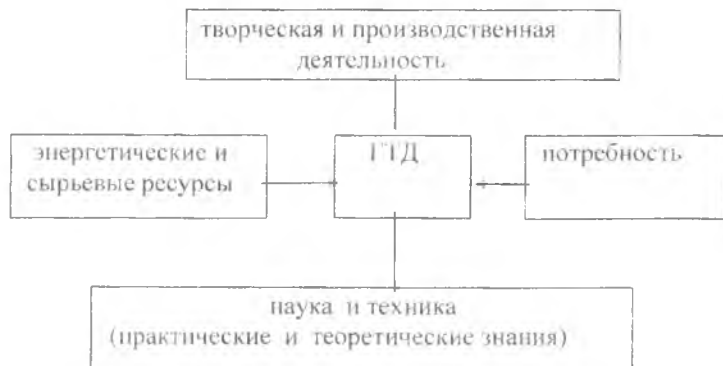


рис. 1

Функционально он может быть представлен в виде черного ящика (рис.2), на входе которого параметры рабочего тела (воздух и топливо), на выходе - силовое воздействие (тяга, мощность) и экологические показатели (шум, NO, CO, температура струи) .



рис . 2

Процесс проектирования ГТД как сложного технического объекта делится на ряд этапов и также представляет собой сложную иерархическую систему.

Все задачи проектирования, которые в процессе автоматизации поддерживаются программными системами, по своему характеру условно можно разделить на две группы:

Первая группа - задачи структурного проектирования для определения на моделях состава и взаимосвязей объектов и элементов (поддерживаются пакетами моделирования в САД - системах).

Вторая группа - задачи параметрического проектирования для вычисления количественных значений свойств и параметров объекта (поддерживаются расчетными пакетами в САЕ - системах).

Обе группы задач решаются параллельно с привлечением систем управления данными о продукте (PDM) и средств принятия решений.

Образно говоря, когда замысел созрел в голове инженера - художника, он должен быть проанализирован инженером - ученым со всей тщательностью, присущей настоящему ученому.

Студенту как будущему инженеру - конструктору для выражения своих идей в первую очередь необходимо овладеть средствами **моделирования** поэтому далее рассматриваются задачи проектирования первой группы с учетом всех сторон описаний. В основу моделирования ГТД заложены принципы иерархии, декомпозиции и абстракции /4/.

Иерархия

Для каждого элемента ГТД как технического объекта (ГО) существует четко выделяемая иерархия его описаний /3/, которые отличаются двумя свойствами:

- каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует технический объект по сравнению с предыдущим;
- каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Такие свойства имеют следующие описания (рис.3): потребность или функция ГО; техническая функция (ТФ); функциональная структура (ФС); физический принцип действия (ФПД); техническое решение (ТР); проект.



Рис. 3

При разработке ГТД ставится цель получения изделия на уровне лучших мировых образцов и решается иерархическая последовательность задач выбора проектно - конструкторских решений с возможными обратными связями.

Декомпозиция

На верхнем уровне декомпозиция ГТД любого типа графически изображается в виде совокупности следующих семи основных элементов (рис.4), где

- 1- подвеска (элементы крепления двигателя к летательному аппарату);
- 2 - газогенератор
- 3 - потребитель энергии турбин (винт, винто-вентилятор, компрессор) ;
- 4- турбина;
- 5- трансмиссия;

6- входное устройство;

7- выходное устройство (сопло , реверсивное устройство , форсажная камера).

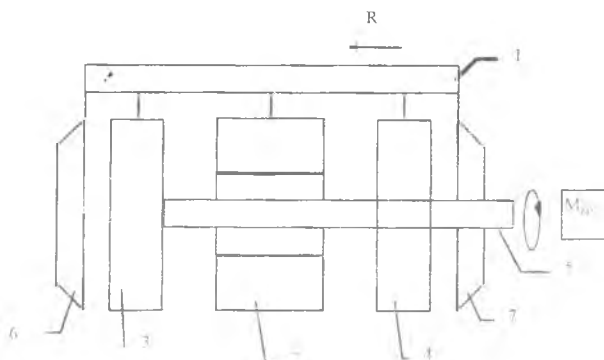


рис.4.

Совокупность этих элементов составляет конструктивную систему двигателя, одним из видов записи которой, является конструктивная схема.

Конструктивная схема двигателя, являющаяся графической моделью геометрической структуры конструкции, сформирована в виде условно - стилизованных элементов конструкции, представляющих собой структурные элементы , которые обладают определенными функциональными свойствами, выражающими концепцию данной конструкции.

Пример представления ГТД в виде упрощенной конструктивной схемы показан на рис. 5.



Рис. 16.

Рис. 5

На этом уровне мы рассматриваем проектирование конструкции как процесс создания комплекса свойств формирования функциональных структур (ФС) (см. рис. 3.): **конструктивной (КФС)**, реализуемой с помощью конструктивной системы, представляющей собой обобщенный алгоритм проектирования свойств конструкции, и **поточковой (ПФС)**, реализуемой для всех потоков энергии, вещества или сигналов. Они включают в себя всю область

возможных концепций конструкции. Ее выразителем является конструктивная схема.

Силовая система как комплекс структурных элементов конструкции, описывается ПФС энергии сил, проходящих через ГТД. Основным свойством и типом связей которых является способность воспринимать усилия - силы и моменты. Она является частью конструктивной системы, формирующей в ней силовые свойства - связи. Каждая конкретная компоновка силовой системы реализуется в рамках конструктивной системы.

Силовая схема является графическим условно - стилизованным отображением компоновки силовой системы, т. е. это графическая модель силового потока - силовых связей.

На других уровнях декомпозиция использует другие элементы, имеющие свои условные изображения: сборочных единиц, деталей и частей деталей, несущих определенные функции /5/.

Абстракции

Записать конструкцию ГТД можно в сжатой форме в виде формулы. В частности, конструктивная связь роторов и статоров при силовом воздействии элементов:

$$\frac{c-b-a}{n-p-m} K-x-T-j$$

где x - вид силового замыкания турбокомпрессора: А - внешнее замыкание, В - разветвленное замыкание, С - внутреннее замыкание, D- двойное замыкание;

K - количество силовых поясов в компрессоре;

T - количество силовых поясов в турбине;

a, b, c - количество опор в компрессоре (a - в первом от камеры сгорания силовом поясе, b - во втором, c - в третьем);

i, j, q - количество опор в турбине (i - в первом от камеры сгорания силовом поясе, j - во втором, q - в третьем);

n - число валов;

p - общее число опор;

m - число межвалльных опор.

Например, ТРДД НК - 93 может быть записан в виде:

$$\frac{2^2 2 - A - 1^2}{3 - 8 - 2}$$

Описание модели двигателя и его проектирования также возможно методами теории множеств и математической логики с использованием т.н. «порождающей среды» /6/, однако современные средства автоматизации проектирования в полной мере их еще не поддерживают.

Традиционно при изучении конструкций авиационных ГТД основное внимание уделяется выявлению связей развития. Эти связи устанавливаются обычно путем сопоставления нескольких последовательных модификаций двигателей. Такой сравнительно - исторический метод, дополненный структурно - функциональными приемами, дает возможность создать генеалогическое дерево семейства двигателей или их элементов, позволяющее проследить процесс генерирования идей, лежащих в основе создания двигателя или семейства двигателей. В правильно спроектированном двигателе каждый элемент и каждый конструктивный признак имеет вполне определённую функцию (нет «лишних деталей»).

Анализ конструкции авиационных ГТД производится в следующей последовательности:

1. Выбор конструкции для анализа. Определяется типоразмер двигателя, его назначение и область применения.

2. Анализ конструктивной системы ГТД. Выявляются основные конструктивные элементы двигателя, составляющие его конструктивную систему. Определяются условия работы этих элементов и требуемые параметры.

3. Анализ силовой системы ГТД. Выявляются элементы двигателя, воспринимающие действующие нагрузки. Определяются силы и моменты, действующие на отдельные элементы двигателя и их взаимное влияние. Составляется баланс усилий в силовой системе двигателя по осевым, радиальным и кружным связям (отдельно по ротору и статору).

4. Поэлементный анализ двигателя. Двигатель разбивается на несколько элементов, каждый из которых имеет вполне определённую функцию по обеспечению работы двигателя или его элементов. При этом рассматриваемый двигатель представляет собой верхний уровень, а выделенные функциональные элементы - нижний. Если требуется продолжить анализ, то каждый из выделенных элементов нижнего уровня рассматривается как самостоятельный технический объект, который также можно разделить на несколько функциональных элементов, и т. д. Например, двигатель - компрессор; компрессор - ротор; ротор - ступень; ступень - рабочее колесо; рабочее колесо - диск, лопатка; лопатка - замок и т. д.

5. Представление систем в виде условных графических схем. Небольшое число условных элементов дает возможность несложного представления их в формализованном компьютерном виде.

В процессе анализа конструктивных систем при сравнении конструкций различных двигателей оценку их совершенства надо производить по некоторым показателям или критериям.

Принцип прогрессивного развития для каждого нового поколения двигателей заключается в улучшении одних и неухудшении других критериев. Эти критерии образуют четыре группы [7]:

1. Функциональные критерии, характеризующие показатели реализации функции двигателя.

Они, в свою очередь, могут включать в себя производительность (интегральный уровень развития двигателя : мощность, тяга ...); надёжность (безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность).

2. Технологические критерии, обеспечивающие экономию трудозатрат при изготовлении двигателя и подготовке его к эксплуатации. Кроме того, эти критерии направлены на экономию материалов, зависящую от технологических факторов. К ним относятся:

критерий трудоёмкости изготовления;

критерий технологических возможностей (отражает фактор наследственности в технике при переходе от одного поколения двигателя к другому). Этот критерий заставляет в наибольшей мере сохранять и использовать проверенные практикой функциональные элементы, отработанную технологию их изготовления и существующее технологическое оборудование;

критерий использования материалов.

3. Экономические критерии. К ним относятся:

критерии расхода материалов;

критерии расхода энергии;

критерии затрат на информационное обеспечение.

4. Экологические критерии, связанные с вопросом человеческого фактора и воздействия на окружающую среду.

Анализ конструктивного развития двигателей реализуется в виде таблицы.

Таблица 1

Описание поколения ГТД	Главные недостатки конструкции	Критерии развития и показатели качества	Улучшенные показатели качества по сравнению с прототипом
1	2	3	4

Использование уникальной возможности Центра Истории Авиационных Двигателей - наличие большого количества (около 70) натурных макетов авиационных ГТД всех типов, а также технической документации по ним - позволяет студентам легко сформировать ряд из двигателей одного назначения или из двигателей одного класса тяги и т. д.

Пример: Ряд ТВД: НК-12, НК-4, АИ-20, АИ-24, М-601.

Ряд ТРДД: Д-20П, Д-30 - 3 серия, Д-30КУ, НК-8, АИ-25, Д-36, Д-1811, НК-56.

Или внутри ряда объединить двигатели по каким-либо признакам, например: ТРДД с большой степенью двухконтурности Д-36, Д-18Т, НК-56, ПС-90 и т.д. Всё это позволяет индивидуализировать обучение, т.е., каждый студент в отдельности изучает принципы конструирования двигателя в целом и его элементов по предложенной схеме. получает в качестве объекта изучения определённый двигатель (или ряд двигателей) и изучает его конструкцию

индивидуально с помощью имеющихся методических пособий, чертежей, технических описаний и т.п. При этом исключается ситуация, когда при групповом изучении основную работу проделывают отдельные студенты, а остальные переписывают у них результаты.

Используется разработанный комплекс вопросов по конструкции двигателей и его элементов. Эти вопросы раздаются студентам на практическом занятии, и они самостоятельно отвечают на них, используя необходимые учебные пособия и макеты. Благодаря большому количеству макетов, имеется возможность изучить двигатели всех типов.

Для синтеза новой конструкции применяется методология системного иерархического выбора оптимальных конструкторско-технологических решений, которая включает в себя следующие этапы [3,8]:

- определение рациональной функциональной структуры двигателя;
- определение физического принципа действия;
- анализ технических решений для этого принципа действия;
- пути оптимизации параметров двигателя и представление его в виде модели.

На основе решения этих задач каждый студент индивидуально выполняет домашнее задание по разработке новых технических решений на уровне изобретений. В качестве объектов выбираются функционально выделяемые сборочные единицы конструкции двигателя: опоры, демпферы, уплотнения, клапанные агрегаты и др.

Реализация компьютерной поддержки проектирования идет по пути создания интегрированных систем (ИС), обеспечивающих среду моделирования, оценки и производства конструкций. Инструментальные системы автоматизации реализованы пока на простых двумерных моделях. Типичным представителем которых является операционная среда СПРУТ [9], имеющая свой встроенный язык монитора, позволяющая данные, получаемые при расчете параметров, переносить в параметризованное изображение элементов в одной операционной среде. В других ИС эти вопросы решаются подключением специальных модулей для организации приложений.

При разработке своей системы автоматизированного проектирования согласно описанию /СПРУТ/ прежде всего выполняется типизация конструкций проектируемых изделий, что позволяет достичь максимальной степени автоматизации проектирования и многократно повысить производительность труда и надежность проектирования.

Применяется следующая методика разработки типовой системы ГТД:

- определяется **перечень исходных данных**, на основании которых может быть выполнен расчет конструкции и ее вычерчивание;
- определяются **комбинации взаимно исключающих вариантов** конструкции изделия в целом и его отдельных компонентов;
- определяются **изменяемые и неизменяемые компоненты**;
- определяются **допустимые предельные значения** изменяемых параметров;

- излагается **методика проектирования** для каждого варианта конструкции;
- прорабатываются **варианты простановки размеров** на моделях и чертежах;
- формулируются **запросы системы** к конечному пользователю;
- определяются варианты **записи технических требований**;
- готовится необходимая **нормативно-справочная информация**.

В случае невозможности типизации конструкции в целом возможен путь автоматизации проектирования отдельных компонентов.

С появлением новых технических возможностей на кафедре происходит переход к использованию более мощных т.н. «тяжелых» интегрированных CAD/CAM/CAE-систем трехмерного геометрического моделирования, дающих более удобное зрительное восприятие объектов и высокую наглядность. Трехмерные геометрические модели, созданные в CAD/CAM/CAE-системе типа SIMATRON¹¹ /10/, могут быть рассмотрены на экране монитора в каркасном (прозрачном) или поверхностном, твердотельном (закрашенном) представлении, под любым углом зрения, в разрезе. По результатам моделирования для отчета автоматически можно вывести любые виды на твердые носители.

Результатом всех этих работ является модель автоматизации конструкторского отдела на основе таблицы 2 рабочих мест, функций и пакетов прикладных программ (ППП), облегчающих выполнение этих функций.

Таблица 2

Рабочие места	Функции	ППП
1	2	3
Конструкторский отдел		
Руководитель и ведущий специалист	Планирование, диспетчирование, учет работы, просмотр результатов. Разработка предварительных сборочных чертежей	Симатрон, CPDM
Конструктор-деталировщик	Проектирование моделей деталей, проверка собираемости детали с соседними. Полуавтоматическое проектирование чертежей, проектирование моделей изделия для оценки дизайна.	Симатрон, CPDM, СимаРендер
Конструктор-«сборщик»	Сборка моделей сборочных единиц из моделей деталей, проверка собираемости, полуавтоматическое проектирование окончательных сборочных чертежей и спецификаций	Симатрон, CPDM, PRO_M
Расчетчик	Расчеты на прочность и др.	CPDM, NASTRAN и др

Рабочие места	Функции	ППП
1	2	3
Архив твердых копий	Учет, хранение, выдача	CPDM
Администратор БД	Администрирование БД и вычислительной сети. Установка программного обеспечения. Хранение информации.	CPDM

Разработанные принципы анализа конструктивных элементов двигателей, исследование их исторического развития в развитии в различных фирмах и изучение влияния разработок этих фирм друг на друга и на процесс авиадвигателестроения позволяют углубить и расширить подготовку инженеров авиадвигательных специальностей и в процессе обучения проектированию наполнить компьютерную информационную систему, предназначенную для поиска и хранения конструкторской информации новыми схемами и моделями элементов и с созданием библиотеки деталей и сборочных единиц ГТД возможна реализация методики поиска нового решения сборочных единиц и обеспечения сборки.

Системный анализ конструкций двигателей и их элементов, схем конструкций и силовых элементов позволяют на стадии проектирования и выбора конструктивно-силовой системы двигателя использовать богатый опыт предшествующих работ, а также прогнозировать пути развития отдельных элементов конструкции двигателя. Этому посвящена дальнейшая работа по выбранному направлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джонс Дж.К. Методы проектирования. - М.: Мир. 1986. - 326 с.
2. Хилл П. Наука и искусство проектирования. - М.: Мир. 1973. - 264 с.
3. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. - М.: Машиностроение. 1988. - 368 с.
4. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. - М.: Конкорд, 1992. - 519 с.
5. Автоматизация проектирования лопаток авиационных турбомашин (методология, алгоритмы, системы). Аропов Б.М., Балтер В.П., Камынин В.Я. и др. - М.: Машиностроение, 1994. - 240 с.
6. Павлов В.В. Математическое обеспечение САПР в производстве летательных аппаратов. - М.: МФТИ. - 1978. 64 с.
7. Ханзен Ф. Основы общей методики конструирования. -Л.: Машиностроение. 1969. - 164 с.
8. Науман Э. Принять решение - но как? : Пер. с нем. - М.: Мир, 1987. - 198 с.
9. Пакет СПРУТ (Инструментальная система для разработки конструкторско-технологических САПР, т.3. - Советско-американское АО ФОРТ ДИАЛОГ, Набережные Челны, 1992. - 376с.

10. Cimatron. Основные сведения и общесистемные функции. версия 7.0. - Российско - ирландское АО Би Питрон, Санкт-Петербург - 1996.- 300 с.

ББК Ч 486.2.

Е.В.Лямин

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

(Самарский государственный аэрокосмический университет)

Одной из задач математического образования в техническом ВУЗе является обучение будущего инженера математическому моделированию изучаемого объекта и качественному и количественному анализу свойств этой модели. Центральную роль при этом играют:

- алгоритмы преобразования символьной математической информации;
- алгоритмы преобразования числовой информации;
- алгоритмы преобразования символьной и числовой информации в графические образы.

К первым можно отнести преобразования, применяемые к уравнениям, в результате чего может быть найдено решение задачи в аналитическом виде. Ко вторым относятся методы численного решения математических задач. К третьим относится, например, графическое представление решений, полученных в аналитическом или численном виде.

Традиционные компьютерные технологии в математическом образовании были нацелены в основном на изучении двух последних алгоритмов.

Появление новых интегрированных математических систем (ИМС), освоивших компьютерную алгебру, позволяет эффективно решать задачу изучения всех составляющих при составлении и исследовании математических моделей.

В статье проводится краткий сравнительный анализ ИМС, обсуждаются методические приемы и возможности использования ИМС в процессе обучения математики в техническом ВУЗе, излагается опыт применения ИМС DERIVE для проведения лабораторных работ по математике.

Сравнительный анализ ИМС

Уже сейчас известно множество математических систем и пакетов, позволяющих автоматизировать проведение как числовых, так и символьных вычислений. Краткий обзор таких систем приведен в [1,2]. К недостаткам многих из этих систем (Maple V R3/R4, Mathematica 2/3, MathCAD 6.0 PLUS и