

5. Хог Э., Чой К., Комков В. Анализ чувствительности при проектировании конструкций. -М.:Мир, 1988.-28 с.
6. Черепашков А.А. Применение компьютерных инженерных тренажеров для интенсификации обучения конструированию и проектированию. Тез. докл. научно-метод. конф. Интенсивные технологии обучения в подготовке специалистов. Самара, СГАУ, 1996 г.
7. Черепашков А.А. Комплекс компьютерных инженерных тренажеров для обучения конструированию Тез. докл. научно-метод. конф. Компьютерные технологии обучения: концепции, опыт, проблемы, Самара, СГТУ, 1997 г.
8. Комаров В.А. Автоматизация проектирования авиационных конструкций. Самара, СГАУ.- 1993- 70 с.

ББК Ч 480.25

А.И.Ермаков, Г.В.Иванов, В.С.Кузьмичев,
В.В.Кулагин, Н.Ф.Мусаткин, Н.И.Старцев,
С.А.Шустов

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СКВОЗНОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НА ФАКУЛЬТЕТЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (Самарский государственный аэрокосмический университет)

Проблема повышения качества образования в XXI веке будет решаться прежде всего за счет индивидуализации обучения, разработки и применения разнообразных учебных компьютерных систем, создания и применения на основе глобальной компьютерной сети национальной системы дистанционного образования.

В этой связи интегрированная компьютерная технология сквозного курсового проектирования (СККП), которая сейчас разрабатывается на факультете двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета, представляет определенный интерес.

Концептуальная схема СККП приведена на рис.1, из которого следует, что цикл работ от проектного термогазодинамического расчета до рабочих чертежей и технологических процессов изготовления деталей охвачен шестью курсовыми работами и четырьмя проектами.

С помощью СККП должна решаться прежде всего задача развития творческих способностей студентов, расширения и углубления знаний в области создания сложных технических объектов на примере авиационных газотурбинных двигателей. Сквозное курсовое проектирование призвано обеспечить понимание студентами взаимодействия различных наук, которые они изучают в отдельности, а также моделирование реального процесса

проектирования ГТД. Проблема компьютерной технологии сквозного курсового проектирования, охватывающего несколько территориально удаленных кафедр и несколько учебных семестров по времени, должна рассматриваться по меньшей мере в двух аспектах: техническом и учебно-методическом. Что касается технического аспекта, то к настоящему времени имеющиеся аппаратные и программные средства в основном обеспечивают решение проблемы сквозного курсового компьютерного проектирования. Это прежде всего наличие и развитие корпоративной университетской компьютерной сети, в том числе с выходом в INTERNET, способной обеспечить межкафедральный обмен информацией на современном уровне. Быстро развивается и соответствующее программное обеспечение в рамках интегрированной технологии CAD/CAM/CAE. Что касается второго из рассматриваемых аспектов, то здесь гораздо больше нерешенных проблем.



Рис.1

Концептуальная схема сквозного компьютерного курсового проектирования авиационных двигателей,

где N/X - числитель - нумерация курсовых работ и курсовых проектов; знаменатель - номер семестра;

1, 4 – курсовые работы по курсу “Теория и расчет ВРД”; 2, 3 – курсовые работы по курсу “Теория и расчет лопаточных машин”; 5, 6 – курсовая работа и курсовой проект по курсу “Динамика и прочность ВРД”; 7, 8 – курсовая работа и курсовой проект по курсу “Конструкция и проектирование ВРД”; 9, 10 – курсовые проекты по курсу “Технология производства ВРД”;

А – проектно-параметрическая часть сквозного компьютерного курсового проектирования, основанная на использовании CAE-технологии; В – проектно-конструкторская часть сквозного компьютерного курсового проектирования, основанная на использовании CAE/CAD-технологии; С – конструкторско-технологическая часть сквозного компьютерного курсового проектирования, основанная на использовании CAD/CAM-технологии;

→ - информационные связи.

Для решения различных задач в процессе компьютерного сквозного курсового проектирования применяемые промышленные и учебно-исследовательские САПР могут быть приняты только за основу. Для их успешного использования необходимо иметь дидактически обоснованную концепцию проведения каждой курсовой работы (проекта) и обеспечения связей между ними на методическом и информационном уровнях. Не вызывает сомнения необходимость вариантного подхода при проектировании сложного технического объекта, а также введения оптимизации полученных в каждом

варианте решений. При этом, в некоторых случаях для того, чтобы студенты лучше почувствовали характер влияния различных факторов и параметров на объект проектирования, приобрели навыки решения комплексных проблем, возникающих на стыке различных областей проектирования, оптимизация должна выполняться в неавтоматизированном режиме в виде двух или трех итераций.

Поскольку СККП затрагивает и требует взаимодействия большого количества учебных дисциплин, координации и взаимоувязки значительного числа видов проектных расчетов, возникают серьезные трудности формирования единого информационного пространства. Задача становится сложной даже в пределах одной кафедры, не говоря уже о межкафедральном уровне, на котором она превращается в самостоятельную проблему.

Таким образом, проблема организации сквозного курсового компьютерного проектирования является весьма непростой и требует от кафедр и специалистов совместного поиска ее решения.

В первой части предлагаемой статьи изложены сложившиеся на сегодняшний день подходы к решению учебно-методического аспекта проблемы СККП, а во второй – методы и средства решения проблемы формирования единого информационного пространства процесса проектирования.

1. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УСВОЕНИЯ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ И РАЗВИТИЯ ТВОРЧЕСКИХ СПОСОБНОСТЕЙ СТУДЕНТОВ В РАМКАХ СКВОЗНОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Рассмотрим как решаются эти проблемы в курсовых работах и проектах, последовательность выполнения которых указана на рис. 1.

1.1 Основные закономерности рабочего процесса и проектный термогазодинамический расчет ГТД (1/VII на рис. 1)

Опыт преподавания теории газотурбинных двигателей (точнее, плохое ее усвоение студентами) заставил основное внимание при выполнении курсовой работы уделить усвоению предметной области. Во-первых, курсовая работа выполняется до экзамена, параллельно с прослушиванием и изучением курса лекций, что ставит студента перед необходимостью самому рассчитывать и анализировать основные закономерности изменения удельных параметров двигателя, чем облегчается задача усвоения теории ГТД. Во-вторых, она выполняется не по специально написанному для этой цели учебному пособию, не по готовой методике расчета (шаблону), а по методике, которую студент для двигателя заданной схемы и заданного типа должен разработать сам.

Для реализации такого подхода организован систематическое изучение курса в течение семестра. С этой целью введены 5 контрольных работ, на которых проверяется усвоение материала, сформулированы соответственно ~100 контрольных вопросов. Для выработки умений применять знания для развития творческих способностей студентов разработаны, кроме того, ~90

задач, которые также выносятся на контроль. Наконец, и это главное, курсовая работа выдается по всем типам двигателей и параллельное с курсом лекций выполнение ее возможно только при тематическом, обобщенном изложении материала, вместо традиционного изложения по типам двигателей. Изменение методологии изложения курса явилось по существу основанием для издания учебника по теории ГТД [1, 2].

Курсовая работа состоит из 5-ти разделов (ее краткое содержание и методические указания изложены в [1] и [3]). Задание выдается на первой лекции и формулируется, например, следующим образом: “На базе двигателя RB211-535с фирмы Роллс-Ройс выбрать параметры рабочего процесса и выполнить проектный термогазодинамический расчет ТРДД для условий работы на максимальном режиме в САУ, на земле при $M_n = 0$, увеличив тягу прототипа на 17% и снизив удельный расход топлива на 8%. Модифицируя прототип, необходимо исходить из условия сохранения неизменными возможно большего числа деталей и узлов”. При выдаче задания на курсовую работу студенту рассказывается о том, что данная курсовая работа является начальным этапом сквозного курсового проектирования и решения, принятые на данном этапе во многом определяют последующие этапы СККП.

Не имея возможности достаточно полно осветить пять разделов курсовой работы, подчеркнем три ключевых момента:

- На лекциях студент изучает термогазодинамический анализ влияния различных факторов на удельные параметры ГТД, а в курсовой работе выполняет несколько вариантов поверочного расчета прототипа, анализируя при этом влияние КПД узлов и подбирая их численные значения из условия обеспечения опубликованных основных данных.
- Студент изучает основные закономерности изменения удельных параметров ГТД, а в курсовой работе рассчитывает и анализирует зависимости удельной тяги и удельного расхода топлива прототипа от параметров рабочего процесса.
- На основе полученных знаний, с учетом тенденций развития двигателей, их современного состояния и из условия обеспечения заданных основных данных студент выбирает параметры рабочего процесса “своего” двигателя и выполняет его проектный термогазодинамический расчет.

Таким образом, курсовая работа начинается с принципа действия двигателя и заканчивается тенденциями его развития. В процессе ее выполнения затрагиваются на примере одного конкретного двигателя все основные вопросы теории проектируемого ГТД, и что особенно важно, ее практически невозможно самостоятельно выполнить и удовлетворительно защитить, не освоив главные темы курса.

1.2. Совместная работа узлов и характеристики ГТД (4/IX на рис.1)

Это вторая курсовая работа по теории двигателей. Исходными данными для ее выполнения являются результаты проектного расчета, а также результаты проектирования проточной части двигателя и его узлов (работы № 2

и 3 по “лопаточным машинам”). Работа была задумана как практический способ помощи студенту в освоении наиболее сложных вопросов теории выполненного двигателя. Поэтому и организация ее выполнения по замыслу не должна была бы отличаться от организации и выполнения первой курсовой работы:

- студент изучает особенности совместной работы узлов двигателя и осмысливает их путем расчета и анализа положения “линии совместной работы”;
- изучает термодинамические основы регулирования, назначает параметры регулирования (режима) соответственно числу регулирующих факторов и выбирает несколько законов управления двигателем;
- изучает высотно-скоростные характеристики, рассчитывает их, анализирует и окончательно выбирает закон управления из условия обеспечения основных данных двигателя в определенных условиях полета.

Подчеркнем, что анализ результатов многочисленных вариантов расчета и обоснование принятых решений являются главным содержанием обеих курсовых работ. Именно за умение анализировать результаты расчета, которое выясняется в процессе “защиты”, ставится оценка.

Очевидно, что выполнение курсовых работ не по шаблону и предварительное решение большого числа задач разной сложности способствует развитию творческих способностей студентов. Описанная методика проведения курсовых работ (как составная часть разработанной на кафедре интенсифицированной технологии обучения) способствует высокому уровню усвоения материала. Об этом свидетельствуют результаты проведения региональной олимпиады по специальности, на которой за последние 15 лет студенты КуАИ СГАУ неизменно занимали по теории двигателей первое место, часто, с большим отрывом от соперников.

К сожалению в последнем учебном плане курсовую работу 4/IX пришлось перенести в девятый семестр, оторвав ее от изучения теории выполненного ГТД (8-й семестр). Негативное влияние этого можно, по-видимому, ослабить, если повысить значимость этой работы, включив в нее обоснование выбора параметров двигателя по самолетным критериям эффективности [4] и последующее уточнение принятых ранее решений. Для этого необходимо решить задачу разработки соответствующего программного обеспечения.

1.3. Формирование проточной части турбокомпрессора (2/VII на рис.1)

Этот раздел СККП является логическим продолжением работы 1/VII и его часто называют “этапом согласования параметров компрессора и турбины”. В процессе согласования определяются (точнее, оцениваются): потребные площади проходных сечений, а также их диаметральные размеры; частоты вращения роторов турбокомпрессора; число ступеней компрессора и турбины, их осевые размеры. Одним словом, формируется облик проточной части турбокомпрессора.

В прежней, традиционной постановке, курсовая работа выполнялась “с оглядкой” на двигатель-прототип. При этом из поля зрения выпадали такие моменты, как: выбор закона изменения формы проточной части; влияние уровня окружной скорости на тип и число ступеней компрессора и турбины. Все это конечно ослабляло развитие творческих способностей студентов-проектантов. Следует отметить, что другая задача рассматриваемой курсовой работы, связанная с выбором уровней скоростей течения рабочего тела в проточной части лопаточной машины, сама по себе открывает огромные возможности для “личных открытий” в плане понимания сути физических процессов, происходящих в турбокомпрессоре.

Появление УИ САПР позволило в полной степени включить в набор возможностей студента-проектанта такие приемы, как: анализ влияния изменения формы проточной части на число ступеней и осевые габариты компрессора и турбины; а также анализ влияния уровня окружной скорости на КПД и число ступеней. При этом выявляются случаи выбора неприемлемых уровней температур газа перед турбиной или степеней повышения давления в каскадах высокого давления. В этих случаях относительно безболезненно можно возвратиться на уровень 1/VII СККП и осуществить корректировку термогазодинамического расчета двигателя.

Сами подходы к формированию проточной части турбокомпрессора, изложенные в [5], предусматривают возможности для коррекции форм и размеров лопаточных венцов, если это потребуется по условиям прочности, например, в курсовом проекте 6/VIII.

1.4. Газодинамическое проектирование лопаточных машин (3/VIII на рис.1)

Ключевым моментом проектирования лопаточных машин является получение чертежа пера лопатки компрессора или турбины, выполненного в виде совокупности плоских профилей на различных радиусах.

Этой цели и посвящена курсовая работа 3/VIII. Исходными данными к ней являются выходные параметры работ 1/VII и 2/VII. Для понимания студентами сути газодинамического проектирования пера лопатки, вся работа разбита на четыре этапа: распределение работ сжатия (расширения) между ступенями и выполнение термодинамического расчета ступеней; газодинамический расчет ступеней по среднему диаметру; выбор закона закрутки пера лопатки и газодинамический расчет пера лопатки по радиусу при выбранном законе закрутки; проектирование совокупностей плоских профилей пера лопатки в контрольных сечениях по радиусу [6,7].

Сложность расчетных моделей возрастает при этом от этапа к этапу. Но наличие УИ САПР дает возможность студенту-проектанту осуществить многовариантные расчеты. При этом он получает возможность осознанно (в зависимости от назначения ГТД) выбрать оптимальное распределение работ сжатия (расширения) по ступеням, оптимальный закон закрутки для каждой из ступеней.

Иными словами, студент-проектант “приоткрывает для себя” и наглядно усваивает взаимосвязь термодинамических и конструктивно-геометрических параметров ступеней, то есть достигается самая важная цель курсового проектирования.

Кроме того, постановка курсовой работы 3/VIII в виде самостоятельных, но взаимосвязанных, этапов, позволяет очень легко скорректировать газодинамический расчет пера лопатки на любом этапе в любой ступени (не затрагивая других ступеней), если это требуется по условиям прочности.

1.5 Проектирование рабочего колеса турбокомпрессора (6/VIII на рис.1)

Данный этап СККП позволяет студентам закрепить знания, полученные в курсе динамики и прочности ВРД, приобрести практические навыки проектирования лопаток и дисков турбомашин, умение системно подходить к решению сложных проблем обеспечения длительной прочности деталей ГТД.

Исходными данными для проектирования лопаток являются выходные данные газодинамического расчета: совокупность плоских профилей лопатки на различных радиусах, параметры потока газа перед и за рабочим колесом, частота вращения ротора. Проектирование выполняется с помощью конечноэлементного комплекса ISPA. Для расчета используются объемные конечные элементы. В ходе проектирования студент должен добиться строго определенного значения минимального коэффициента запаса прочности в каждом сечении лопатки. Кроме того, в качестве технологического ограничения ему указывается минимальное значение максимальной толщины профиля пера лопатки.

Поскольку изменение геометрии конструкции (координат узлов конечных элементов) требует больших временных затрат, используется параметрическая модель лопатки, которую строят сами студенты. Варьируемыми параметрами являются коэффициенты пропорционального изменения толщин и выносы центров тяжести сечений пера лопатки. Проектирование включает несколько этапов. На первом обеспечивается несущая способность лопатки, затем одновременно с ее разгрузкой от момента, возникающего из-за действия газовых сил, достигается требуемый запас по местной прочности. На третьем этапе у лопатки формируются заданные вибрационные свойства. Конкретное задание студент получает после построения резонансной диаграммы, когда ему указывается резонанс, который необходимо сместить на строго определенный режим работы двигателя. Задача решается на основе предварительно проведенных исследований влияния толщин сечений лопатки на ее собственные частоты колебаний и развивается у студентов способность принимать обоснованные решения. На этом первая итерация проектирования лопатки завершается. Так как варьирование геометрией пера происходило без учета условий обтекания лопатки потоком газа, то осуществляется возврат к газодинамическому проектированию. В исходные данные для него включаются полученные после прочностного проектирования максимальные толщины профилей сечений. В связи с тем, что

курсовая работа 3/VIII и проект 6/VIII должны быть взаимоувязаны, они выполняются в одном семестре в виде комплексного проекта. Проектирование включает две итерации, и в будущем предполагается, что, начиная с третьей итерации, оно будет завершаться в автоматизированном режиме оптимизации.

После выполнения поверочного расчета на прочность хвостовика лопатки студенты переходят к проектированию диска. Поскольку обеспечить прочность и добиться минимальной массы диска случайными изменением его геометрии в общем случае практически невозможно, то проектирование выполняется по следующей методике:

- проводится схематизация конструкции диска, что позволяет существенно снизить число переменных, влияющих на его напряженное состояние;
- выполняется поверочный расчет исходной модели диска, размеры которой могут быть выбраны произвольно;
- делается анализ полученных результатов;
- осуществляется исследование влияния варьируемых переменных на массу и напряженное состояние диска;
- дается анализ и толкование результатов расчета, выявляются наиболее сильно влияющие параметры;
- предлагается стратегия системного изменения варьируемых параметров для обеспечения прочности и минимальной массы диска;
- проводятся итерационные приближения к оптимальной конструкции диска.

1.6 Начальный этап проектирования ротора двигателя (6/VIII на рис.1)

Проектирование ротора двигателя начинается в курсовом проекте по динамике и прочности ВРД. Главной целью этого этапа является оценка жесткости ротора на ранней стадии его проектирования, когда еще не рассмотрены вопросы конструкции опор и не определено место их расположения, не спроектированы элементы крепления деталей. На данном этапе после расчета критических частот вращения студенты окончательно принимают решение о том, будет ли проектируемый ротор жестким или гибким, что впоследствии является важным фактором при проектировании всех элементов.

Исходными данными для проектирования являются выходные данные курсовой работы 2/VII и задание на курсовой проект 7/IX. Конструкция ротора проектируется с помощью CAD/CAM системы ADEM при непосредственном участии руководителя проекта 7/IX. Созданная графическая модель позволяет составить расчетную схему ротора и определить с помощью конечно-элементного комплекса ISPA его критические частоты вращения. Для уменьшения времени вычислений модель ротора строится с помощью стержневых конечных элементов, что требует от студентов глубокого понимания физики процесса моделирования сложных конструкций. Умение моделирования реальных роторов ГТД студенты приобретают при выполнении

курсовой работы 5/VII. В этой же работе они проводят исследования влияния на динамические свойства ротора жесткостей опор и валопровода, конструктивных особенностей компрессора и турбины, температуры нагрева деталей. Все исследования завершаются анализом и толкованием результатов расчетов.

Курсовая работа 5/VII позволяет студентам не только закрепить знания, полученные в лекциях, но и приобрести навыки решения динамических проблем при проектировании ротора.

1.7. Проектные работы по конструкции ВРД

Обучение созданию конструкции отдельных модулей двигателей (компрессор, камера сгорания и т.д.) и тем более оригинальных компоновок двигателя в целом - процесс длительный, связанный с постепенным накоплением навыков самостоятельного решения проектных задач. Студенту необходимо «набить руку» на решении конструкторских проектных задач настолько, чтобы появилась уверенность в своих возможностях находить и оптимизировать решения, чтобы пришло понимание того, что любую проектную задачу, связанную с конструкцией, можно решить.

В рамках рассматриваемого сквозного курсового проектирования эти навыки формируются в VI, VII и VIII семестрах при выполнении 8-ми проектных работ по дисциплине «Проектирование и конструкция ВРД». Проектная задача ставится так, чтобы побудить исполнителя провести анализ конструкции модуля или элемента базового двигателя, указанного в задании, т.е. выявить, исходя из заданных критериев, не его преимущества, а главные недостатки и затем, используя литературные источники, конструкции других современных двигателей, собственные идеи, сделать шаг к синтезу решения поставленной задачи.

Использование базы графических данных (это конструкции более 20 ВРД разных схем и разного уровня совершенства) сделало этот процесс исключительно продуктивным – студенту не нужно тратить время на то, чтобы взять нужный чертеж, просмотр анализируемого элемента на разных двигателях занимает минуты! Масштабируя (увеличивая) изображение, студент познает мельчайшие детали исполнения.

В процессе выполнения на ЭВМ проектных работ реализуется еще одна методическая линия – связь с другими дисциплинами, востребованность результатов обучения по предыдущим курсам.

В первой проектной работе «Конструктивные схемы», где студент получает навыки вычленения конструктивной схемы из реальной конструкции, он сталкивается с проблемой оценки долговечности радиально-упорных подшипников с учетом многорежимности работы авиационного ВРД по профилю полета, выполняет расчет радиальных и осевых сил, решает задачу размещения двигателя на самолете и проводит прочностной расчет элементов подвески.

Во второй работе «Опоры двигателя», где студент впервые получает задание на переделку конструкции, выполняется расчет тепловых потоков, идущих в масляную полость, проектируется теплозащита, оценивается прокачка масла через опору, подбираются диаметры подводящих и отводящих трубопроводов и форсунок, т.е. реализуются знания и навыки, полученные в курсах «Теплопередача» и «Гидрогазодинамика». При проектировании системы суфлирования опоры студент сталкивается с особенностями течения двухфазных сред. В этой работе студент впервые использует навыки расчета на прочность методом конечных элементов (пакет ISPA). Им проводятся оценки прочности и деформаций элементов опоры.

В третьей работе «Компрессоры» проектная задача поставлена так, что студент проводит кардинальную переделку конструкции, попутно решая вопросы конструктивного размещения и оформления системы управления компрессором и системы управления его радиальными зазорами, реализуется связь прочности деталей группы А с весовыми характеристиками. Студент здесь впервые осознает, что он в состоянии полностью выполнить свою, оригинальную конструкцию.

В таком же ключе формулируются проектные задачи и в 6 проектной работе «Турбины», где наряду с переделкой конструкции приобретаются навыки подбора системы охлаждения лопаток и дисков, системы управления радиальными зазорами, оценки прочности и деформаций на разных режимах.

В пятой работе «Камеры сгорания» студент впервые сталкивается с необходимостью одновременно с разработкой конструкции проводить оценку габаритов камеры по теплонпряженности, формировать процессы горения и смещения (выбор фронтного устройства, меридионального сечения жаровой трубы и др.). Решаются интересные задачи по компенсации тепловых деформаций и оценке прочности элементов подвески и самой жаровой трубы.

В шестой работе «Форсажные камеры», обучающий акцент делается на выборе конструктивной схемы форсажной камеры (ФК), максимально отвечающей требованиям устойчивого горения. Проводятся расчет теплового состояния корпуса камеры и расчет на прочность элементов ФК, рассматриваются вопросы вибрационного горения.

Седьмая работа «Реактивное сопло» связана с разработкой конструкции регулируемого сопла по патентной схеме или с усовершенствованием конструкции современных всережимных сопел. Студент получает навыки расчета газодинамических сил, действующих на дозвуковые и сверхзвуковые створки, расчета на прочность этих створок, при этом используются знания, полученные в курсе «Теория машин и механизмов».

Восьмая работа «Реверсивные устройства» направлена на приобретение навыков проектирования реверса, решение проблем его кинематики и прочности.

Проектные работы проводятся в течение трех семестров одновременно с чтением курса «Проектирование и конструкция ВРД». В итоге это позволяет

сформировать у студента устойчивые навыки выполнения проектных задач при создании конструкции ГТД.

К сожалению этого недостаточно для того, чтобы утверждать, что таким образом сформирован инженер–конструктор, т.к. процесс синтеза оригинальной конструкции невозможно загнать в прокруство ложе алгоритма и требуется помимо навыков наличие у студентов природных способностей, выраженных таким понятием, как "искусство конструирования".

1.8 Эскизный проект авиационного ГТД (7/IX, 8/Х на рис.1)

В рассматриваемом сквозном курсовом проектировании курсовой проект по дисциплине "Проектирование и конструкция ВРД" занимает одно из главных мест, поскольку создание конструкции отдельного модуля ГТД или двигателя в целом материализует все предыдущие этапы этого процесса в виде графического образа, позволяющего оценить его технологические, эксплуатационные и экономические характеристики.

Данный проект выполняется группой студентов. Цель группового курсового проектирования - выработать у студентов навыки проектирования газотурбинного двигателя в условиях, приближенных к реальным, а именно, в конструкторском коллективе из трех-четырех человек. При этом каждый студент ведет проектирование отдельного модуля создаваемого двигателя и участвует в обсуждении проектных решений по всем остальным узлам и по двигателю в целом.

Проектирование ведется средствами компьютерной графики с использованием, как правило, базы графических данных по конструкции ВРД. Система обучения проектированию с использованием компьютерной графики и пакетов различных расчетных программ на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов СГАУ – это система, позволяющая обучать всем операциям, которые выполняет конструктор-компоновщик экстра класса, но используя не карандаш и ватман на чертежной доске, а экран дисплея. Как показал опыт, обучающий эффект в этом случае просто поразителен.

Групповой подход к организации проектирования позволяет:

- довести проектирование до конечного результата, т.е. спроектировать авиационный ГТД, выбор всех элементов которого обоснован и в основном подтвержден инженерными расчетами;
- получить навыки проектирования всех узлов и двигателя в целом;
- моделировать обстановку и характер коллективного труда, с которым встретится будущий инженер в ОКБ и на производстве;
- решать в процессе проектирования ряд задач, которые ранее при индивидуальном курсовом проектировании решить было нельзя: определять критические частоты вращения и конструктивные меры по отстройке и демпфированию колебаний роторов, считать на прочность валы, оценивать осевые силы и обоснованно выбирать подшипники, проектировать опоры и системы двигателя (маслоподачи, суфлирования и др.);

- в курсовом проекте по дисциплине «Технология производства двигателей» становится возможным студенту вести разработку технологии изготовления и сборки своей детали и своего узла, так как гарантировано различие в конструкторских решениях у всех студентов учебной группы.

Как видно, групповое проектирование органически вписывается в схему сквозного группового проектирования, так как проект двигателя делается на основе термогазодинамического расчета и газодинамических расчетов компрессора и турбины, а курсовой проект по технологии является продолжением курсового проекта по конструкции ВРД.

Следует отметить еще один, чисто воспитательный аспект группового проектирования – повышается ответственность каждого члена коллектива за результаты и сроки выполнения своей работы – не сделалъ своей части проекта добротнo и ко времени, значит подведешь всю группу.

Курсовой проект по дисциплине «Проектирование и конструкция ВРД» в новом учебном плане разделен на две части и выполняется в двух семестрах 9 и 10 параллельно с курсовым проектом по дисциплине "Технология производства ВРД".

Первая часть (7/IX) традиционная – набор конструкторских задач, включая и специальную часть, заканчивается созданием проекта и сборочного чертежа двигателя с ТУ и спецификацией, сборочного чертежа узла с ТУ и спецификацией, прочностными, тепловыми и газодинамическими расчетами (кроме компрессора и турбины). Проект защищается перед комиссией из специалистов ОКБ АО СНИК им. Н.Д. Кузнецова, которое является базовым предприятием.

Вторая часть (8/X) позволяет внести коррективы в конструкцию двигателя с учетом технологии его изготовления. Наряду с этим проектируются система управления радиальными зазорами и демифирующие устройства опор ротора.

Защита проекта после выполнения второй части производится повторно уже с защитой проекта по технологии перед комиссией из преподавателей и специалистов двух кафедр.

В перспективе предполагается, что проекты по конструкции и технологии производства ВРД сольются в один комплексный проект.

1.9. Проектирование станочного приспособления (9/IX на рис.1)

При выполнении данного проекта студенты углубляют и закрепляют полученные на лекциях теоретические знания по курсу "Проектирование приспособлений", приобретают навыки выбора оптимального варианта конструкции приспособления для обработки детали, созданной в курсовом проекте по конструкции ВРД. Они должны выполнить ряд требований, предъявляемых к конструкции приспособления: заданную в операции точность обработки, экономическую эффективность от применения приспособления, соблюдение правил охраны труда, удобство обслуживания и др.

Согласно методическим указаниям [8] установлены следующие этапы курсового проектирования:

1. Изучение и анализ исходных материалов.
2. Разработка вариантов конструктивных схем приспособления.
3. Техничко-экономические расчеты по обоснованию выбранного варианта.
4. Разработка общего вида конструкции приспособления.
5. Выполнение рабочих чертежей на оригинальные детали приспособления.

Однако внутри этапа процесс проектирования строго не регламентирован и носит характер свободного учебного исследования, в ходе которого студент сам конкретизирует общие правила проектирования.

При анализе вариантов уясняется взаимосвязь принятых проектных решений с показателями точности, производительности, стоимости и эффективности приспособления.

1.10. Проектирование технологического процесса изготовления детали или сборочной единицы двигателя (10/X на рис. 1)

Для выполнения проекта студенту выдается индивидуальное задание и чертеж детали или сборочной единицы. Этот проект непосредственно связан с курсовым проектом (8/X) по конструкции двигателя и при сквозном компьютерном проектировании один из рабочих чертежей детали двигателя используется в качестве базовой исходной информации для выполнения студентом технологического курсового проекта.

На основе знаний, приобретенных в ходе изучения курса "Технология производства двигателей ЛА", студент формирует представление о проектируемом технологическом процессе, конструкции оборудования и оснастки, о тех задачах, которые придется решать в ходе проектирования. Свои предложения он оформляет в виде схем и эскизов и обсуждает их с руководителем, который устанавливает конкретный объем проекта.

Курсовой проект выполняется согласно учебному пособию [8] и обычно состоит из следующих разделов:

1. Технологический анализ рабочего чертежа детали.
2. Определение типа производства.
3. Выбор формы и способа получения заготовки.
4. Разработка технологического маршрута изготовления детали.
5. Расчет операционных размеров и технических требований на операцию.
6. Разработка операций с расчетом режимов обработки и норм времени.
7. Проектирование специальных приспособлений.

Выполнение курсового проекта начинается с технологического анализа рабочего чертежа детали (сборочной единицы) и оценки степени соответствия конструкции детали производственно-техническим условиям ее изготовления при минимальных затратах живого и овеществленного труда. При необходимости студент должен на примерах и с помощью расчетов показать

необходимость и возможность изменения конструкции детали с целью повышения ее технологичности.

Разрабатывая технологический маршрут изготовления детали, студент принимает важнейшие решения по структуре технологического процесса. При этом приобретаются не только навыки разработки маршрута, но и знания о структурной оптимизации технологических процессов.

В разделе "Расчет операционных размеров и технических требований на операцию" студенты закрепляют полученные на лекциях знания по построению и расчету технологических размерных цепей.

При разработке операций студенты приобретают знания о структурировании операций на установочные, позиционные и переходные; оптимизации режимов резания, приобретают опыт оформления операционных карт и операционных эскизов.

В заключение отметим, что курсовые проекты по технологии двигателей ЛА - это результат творческой работы студента. При их выполнении у студентов развивается очень важный личностный компонент знаний, который принято называть опытом, интуицией. Такие знания не могут быть переданы на лекционных занятиях, т.е. непосредственно от преподавателя к студенту, а могут приобретаться студентом только в ходе самостоятельного решения практических задач. Кроме этого, студенты учатся работать со справочной литературой и нормативными документами. Выполнение курсовых проектов по технологии двигателей ЛА значительно повышает уровень понимания технологических объектов и процессов.

2. КОНЦЕПЦИЯ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРОЦЕССА СКВОЗНОГО КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ.

Информационное обеспечение сквозного курсового проектирования предполагает решение следующих основных задач:

- разработка логической модели информационного пространства факультета, обеспечивающей взаимодействие информационных потоков как в пределах одной кафедры, так и между кафедрами, участвующими в СККП.
- автоматизация выполнения проектных процедур при решении задач курсового проектирования, рассмотренных в разделе 1, накопление и хранение исходной и результирующей информации;
- автоматизация информационного взаимодействия при решении различных задач курсового проектирования; автоматизация передачи информации между территориально удаленными кафедрами.

Накопленный более чем десятилетний опыт показал, что наиболее подходящим средством для реализации концепции сквозного курсового проектирования и позволяющего решить указанные задачи, является

факультетская межкафедральная интегрированная учебно-исследовательская САПР (УИ САПР). Структура данной системы показана на рис.2.

На данном этапе она состоит из трех кафедральных УИ САПР:

- УИ САПР термодинамического проектирования ГТД (кафедра теории двигателей летательных аппаратов);
- УИ САПР конструирования ГТД (кафедра конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов);
- УИ САПР технологической подготовки производства ГТД (кафедра производства двигателей летательных аппаратов).

Как видно из рис.2 каждая УИ САПР состоит из совокупности функциональных подсистем, включающих программные комплексы для решения проектных задач, а также локальные базы данных (ЛБД) подсистемы, предназначенные для хранения исходной проектной информации и результатов решения проектных задач. Кроме того, каждая УИ САПР имеет в своем составе интегрированную базу данных, которая предназначена для накопления и хранения информации, необходимой для обмена между кафедральными УИ САПР.

Очевидно, что функционирование интегрированной межкафедральной автоматизированной системы сквозного курсового проектирования возможно в том случае, когда имеется модель информационного взаимодействия между этапами и задачами проектирования, согласованы между собой все информационные потоки. Данная задача является одной из наиболее трудоемких, поэтому для придания большей гибкости межкафедральной УИ САПР и была выбрана концепция баз данных, позволяющая обеспечить логическую и физическую независимость данных (исходных и результирующих) от программно-методического обеспечения функциональных подсистем.

На рис.3 приведена укрупненная схема информационных потоков рассматриваемой автоматизированной системы. Обмен информацией между проектными задачами в рамках одной функциональной подсистемы осуществляется через соответствующую ЛБД. Информационный обмен между функциональными подсистемами кафедральной УИ САПР может осуществляться как с помощью локальных баз данных, так и посредством интегрированной базы данных кафедры. Между кафедральными УИ САПР обмен информацией осуществляется через интегрированные базы данных кафедр (см. рис.3). На начальной стадии реализации модели информационного обмена предлагается "жесткая" структура стандартных запросов между интегрированными базами данных кафедр. По мере развития системы предполагается реализация технологии "клиент-сервер", позволяющей перескакивать не целиком файлы баз данных, а только необходимые данные.

Концепция реализации единого информационного пространства сквозного курсового проектирования на телекоммуникационном уровне представлена на рис.4.

Выполнение студентами задач сквозного курсового проектирования на рассмотренных кафедрах осуществляется на компьютерах, объединенных в соответствующие локальные сети. Интегрированные базы данных кафедр размещаются на серверах (или на псевдосерверах) указанных локальных сетей. Межкафедральный обмен информацией осуществляется с помощью созданной корпоративной сети СГАУ. При необходимости для решения задач рассматриваемого курсового проектирования (поиск информации о двигателях-аналогах, нормативно-справочной информации, новых конструкторских решений и др.) студенты могут использовать глобальную сеть INTERNET, поскольку корпоративная сеть СГАУ имеет выход в INTERNET.

Направлением дальнейшего развития информационного обеспечения компьютерного сквозного курсового проектирования является отработка технологии дистанционного запуска программного обеспечения с удаленных компьютеров, расположенных на других кафедрах, а также более широкое использование информационных ресурсов сети INTERNET.

В заключение следует отметить, что данная статья является по существу первой попыткой в комплексе изложить проблемы сквозного компьютерного курсового проектирования. Курсовые работы и проекты на факультете, как правило, сложились и хорошо отработаны. Однако их итерационная увязка (учебно-методическая и информационная), особенно межкафедральная, подлежит дальнейшему обсуждению и уточнению. Авторы будут рады получить замечания специалистов по затронутым проблемам.

каф. ТЛТА

каф. КПДТА

каф. ЦЛТА

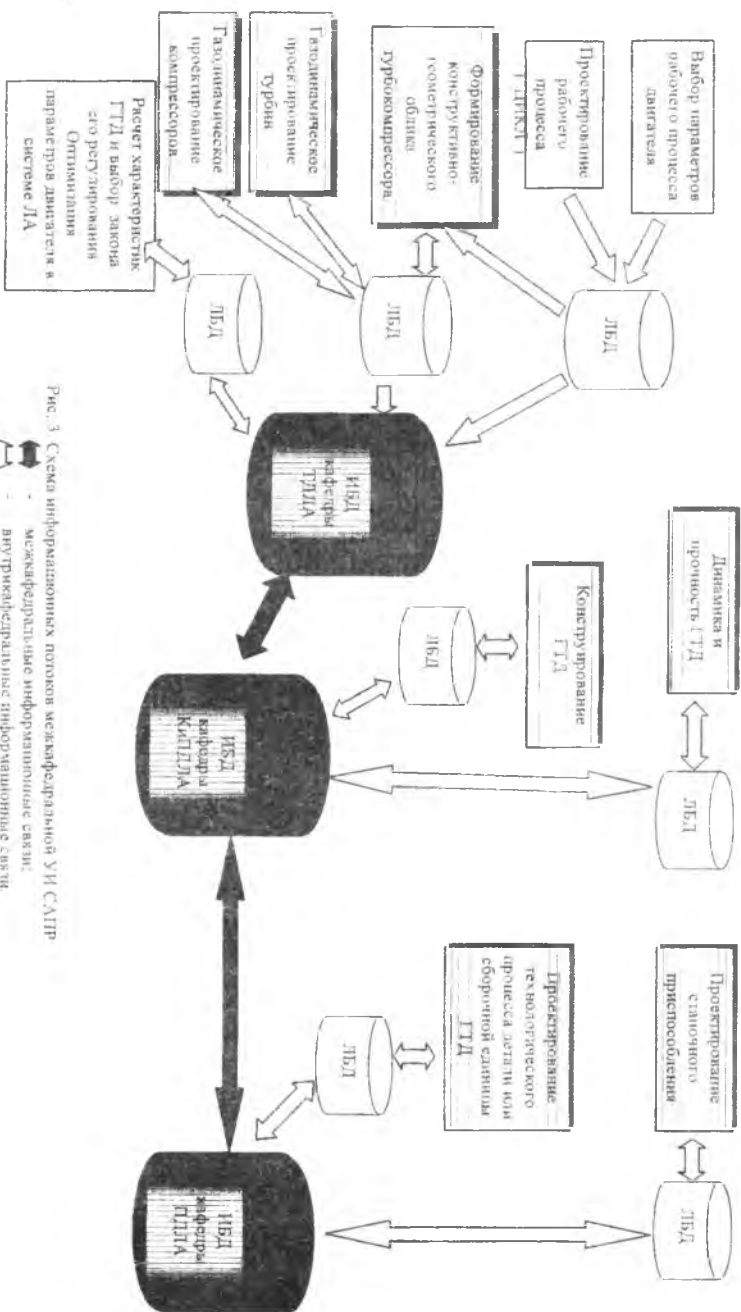


Рис. 3 Система информационных потоков межкафедральной УИ САПР

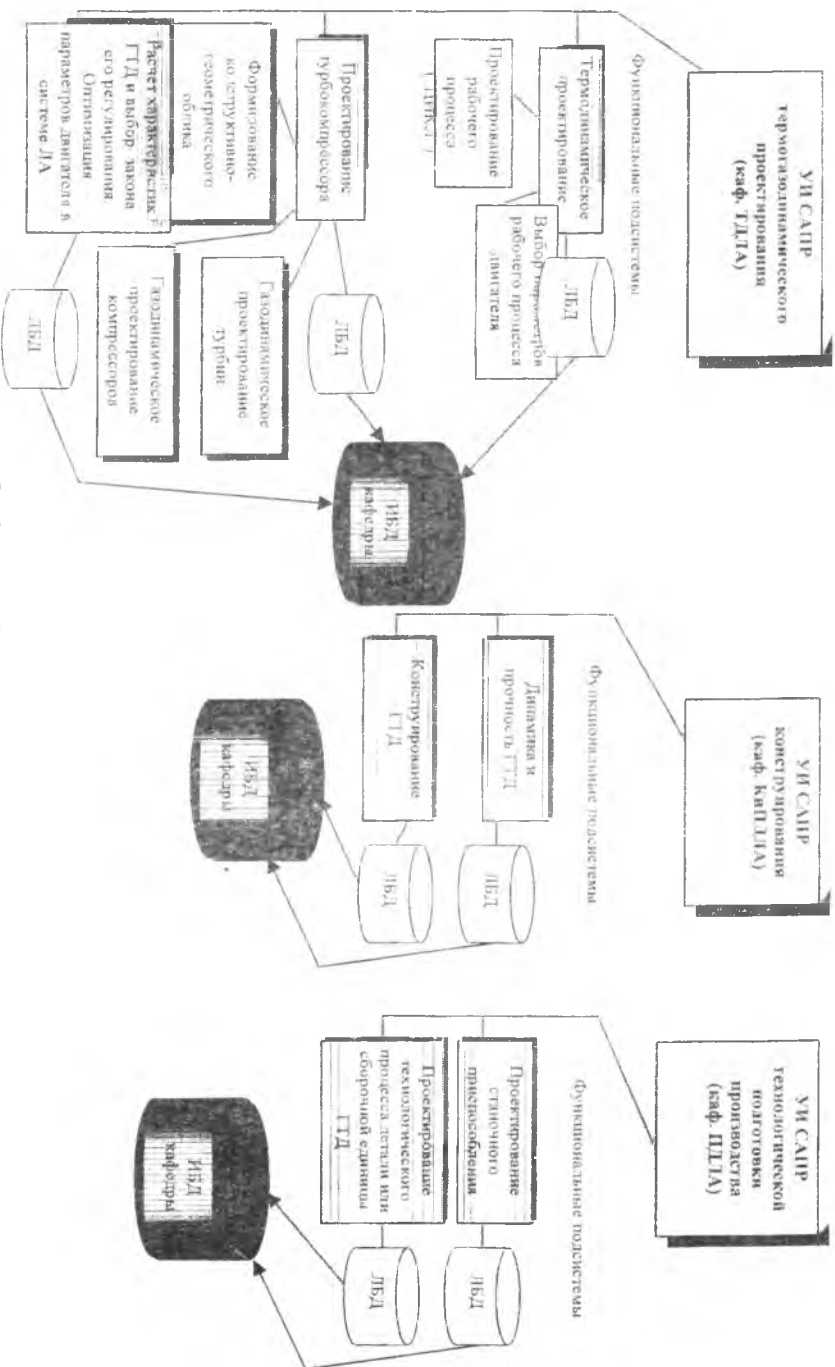


Рис. 2 Структура факультетской межфункциональной УИ САПР

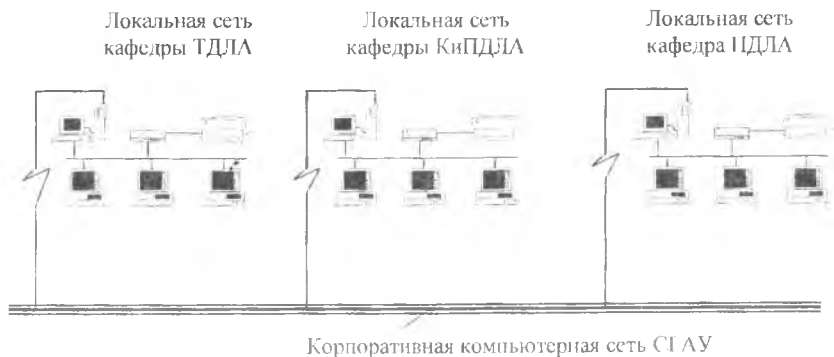


Рис.4. Реализация межкафедрального обмена информацией на телекоммуникационном уровне

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулагин В.В. Теория газотурбинных двигателей: Учебник: В 2 кн. Кн.1. Анализ рабочего процесса, выбор параметров и проектирование проточной части. - М.: Изд-во МАИ, 1994.- 264 с.
2. Кулагин В.В. Теория газотурбинных двигателей: Учебник: В 2 кн. Кн.2. Совместная работа узлов, характеристики и газодинамическая доводка выполненного ГТД.- М.: Изд-во МАИ, 1994.- 304 с.
3. Основные закономерности рабочего процесса и проектный термогазодинамический расчет авиационных газотурбинных двигателей/ Методич. указания, Сост.: С.К. Бочкарев, В.В. Кулагин, В.С. Кузьмичев.- Куйбышев: КуАИ, 1987.- 44 с.
4. Маслов В.Г., Кузьмичев В.С, Коварцев А.Н., Григорьев В.А. Теория и методы начальных этапов проектирования авиационных ГТД/ Учеб. пособие. . Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 1996.- 147 с.
5. Кузьмичев В.С., Трофимов А.А. Проектный расчет основных параметров турбокомпрессоров авиационных ГТД/ Уч. пос. - Куйбышев: КуАИ, 1990.- 72 с.
6. Мамаев Б.И., Мусаткин И.Ф., Аронов Б.М. Газодинамическое проектирование осевых турбин авиационных ГТД/ Уч. пос. - Куйбышев: КуАИ, 1984.- 70 с.
7. Стенькин Е.Д., Юрин А.В. Выбор параметров и газодинамический расчет многоступенчатого осевого компрессора авиационных газотурбинных двигателей/ Уч. пос. - Куйбышев: КуАИ, 1984.- 89 с.
8. Инженерные расчеты при проектировании станочных приспособлений для изготовления деталей двигателей ЛА. Методические указания к курсовому проектированию. - Куйбышев: КуАИ, 1986.
9. Захаров В.А., Шманев В.А., Шулепов А.П. Технология производства двигателей ЛА. Уч. пос. по курсовому проекту. - Самара, 1996.