

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

**Лабораторный практикум к дисциплине
«Конструирование основных узлов и систем авиационных двигателей»**

Методические указания для преподавателей

САМАРА

2010

УДК 621.452.221.3.01(075)

Составители: Старцев Николай Иванович
Новиков Дмитрий Константинович

В лабораторном практикуме содержатся методические указания преподавателям для проведения лабораторных работ по курсу «Конструкция основных узлов и систем авиационных двигателей» со студентами факультета двигателей летательных аппаратов, обучающимися по магистерской программе «Интегрированные информационные технологии в авиадвигателестроении».

Подготовлен на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов.

ВВЕДЕНИЕ

За полвека использования авиационных газотурбинных двигателей в мире накоплен многомерный опыт создания этих сложных изделий, которые стоят в первом ряду высоких технологий. Этот опыт несет большой информационный и обучающий потенциал, использование его для формирования новых поколений инженеров-конструкторов – задача весьма актуальная.

Нужно иметь в виду, что каждый авиационный ВРД концентрирует в себе идеи, технические решения и научные достижения своего времени. Это информационное богатство нужно использовать разумно, изучать конструкцию двигателей по какой-то схеме, чтобы, не перегружая студента второстепенными деталями, а основываясь на принципах проектирования, показать ему наиболее ценные решения, которые имеют долговременное действие и применение.

Отсюда важность создания системы изучения конструкции авиационных ВРД. Ибо через знакомство с оригинальными конструкциями, через изучение и анализ их, через разгадку замысла конструкции идет осмысление и передача опыта проектирования.

Учебное пособие обобщает опыт совершенствования такого вида учебных занятий, как лабораторные работы по изучению и анализу конструкции ВРД кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета, начиная с середины 80-х годов, когда началась подготовка инженеров-конструкторов в рамках программы Министерства высшего образования РСФСР «Целевая интенсивная подготовка студентов (ЦИПС)». Именно тогда был сделан окончательный переход к так называемому поузловому изучению конструкции ВРД.

Представленная технология изучения и анализа конструкции ВРД входит компонентой в систему формирования инженера - конструктора получившую в Самарском государственном аэрокосмическом университете название «система пятой группы».

Идея этой системы подготовки современных инженеров конструкторов состоит в том, что выпускник должен уметь: проектировать воздушно-реактивный двигатель и его элементы и на этой базе создавать оригинальные проекты других сложных изделий, уметь находить новые инженерные решения и в совершенстве владеет современными информационными технологиями. Все графические (2D, 3D - моделирование, документация) проектные процедуры термодинамические расчеты, расчеты на прочность, тепловые и другие расчеты должны выполняться с использованием современных пакетов программ.

В основе системы несколько принципов.

Прочность усвоения материала, так как знания - это основа творчества будущего инженера. Эти знания нужно дать, используя весь набор дисциплин, лабораторные и практические занятия, индивидуальную конструкторскую подготовку и производственные практики. Исходят из того, что творческая деятельность обучающегося, за редким исключением, не может выйти за пределы имеющихся у него знаний.

К этому примыкает второй принцип - **многократность повторения учебного материала в разных формах** - в результате чего формируются: устойчивые навыки проектирования. Так, каждая тема в дисциплине «Проектирование и конструкция ВРД» прорабатывается студентами четырежды: лекции, лабораторная работа, проектная работа как специальное упражнение, формирующее конструкторские навыки, наконец, контрольная работа.

Грамотное выполнение с самого начала любой проектной процедуры (чертежи, расчеты и т.д.). Если навыки работы были сформированы неправильно, то переучить будет трудно или даже невозможно и поэтому может быть отрезан путь к достижению высокой квалификации.

Основная доля заданий при обучении должна быть выполнена только на «хорошо» и «отлично», т.к. низкий уровень исполнения не способствует приобретению профессиональных навыков. Этот принцип реализуется при простом соблюдении дисциплины труда и созданием таких условий обучения, при которых у студентов есть стимул сделать работу с высокой оценкой.

Ядром системы является базовый курс «Проектирование конструкция ВРД», где используются результаты изучения технических дисциплин. Само содержание этого курса охватывает изучение всех этапов проектирования двигателя в целом и проектирование каждого модуля и аккумулирует в себе востребованность знаний при изучении практически всех нижеперечисленных дисциплин.

И стержнем здесь стал сквозной групповой курсовой проект, где ставится задача связать единой целью курсовые работы и курсовые проекты по дисциплинам специализации 130215 «Компьютерные технологии проектирования, конструирования и производства ВРД»:

- теория ВРД,
- теория лопаточных машин,
- динамика и прочность ВРД,
- проектирование и конструкция ВРД,
- надежность ВРД,
- компьютерные технологии проектирования, конструирования ВРД,
- автоматическое регулирование ВРД,
- технология сборки ВРД,
- технология механической обработки

Цель - научить студента проектировать ВРД, его узлы и элементы, начиная с термодинамического проектирования, создания конструкции двигателя, оценки прочности и надежности и кончая проектированием технологических процессов изготовления и сборки. Необходимо, используя опыт традиционного и группового курсового проектирования, повысить обучающий эффект до такого уровня, чтобы студент мог выполнить эскизный проект ВРД современными средствами машинного проектирования.

Групповой курсовой проект в нашем случае - это проект авиационного ВРД, который выполняют 3...5 студентов и, в отличие от традиционной формы курсового проекта, где студент выполняет проект только одного модуля двигателя (компрессора или турбины), мы получаем конечный продукт проектирования, который выводит студентов по умениям на уровень исполнения квалификационной работы (дипломного проекта), где тоже должен быть спроектирован двигатель.

Сквозной групповой курсовой проект - это эстафета, когда результаты одного курсового проекта являются исходными данными для последующего и, чтобы связать все проекты организационно, группе выдается задание, утвержденное деканом факультета. Таким образом, студент четко представляет, что каждая курсовая работа, каждый курсовой проект по вышеназванным дисциплинам есть часть работ по сквозному проекту, хотя выполняются они в разных семестрах (7,8,9 и 10) и на разных кафедрах.

После каждого этапа (курсовой проект или курсовая работа) проводится защита. Заключительная защита происходит перед комиссией, куда входят педагоги всех кафедр, участвовавших в выполнении сквозного группового курсового проекта. Это итог работы по сквозному проекту, поэтому студент должен продемонстрировать умение использовать знания и навыки, полученные при изучении указанных дисциплин. Следовательно, оценка на этой защите интегральная - по всем предметам, входящим в сквозной проект, она отражает готовность студента выполнить квалификационную работу - дипломный проект, используя современные компьютерные технологии проектирования CAD/CAM/CAE системы, CALS технологии.

Сквозной проект методически объединяет усилия педагогов кафедр в большом временном интервале (7-10 семестр). Логические связи в содержании проекта

позволяют совершенствовать методику обучения проектированию по ходу выполнения проекта: разрешаются взаимные претензии, выполняются пожелания, и все это предопределено системой взаимоотношений, взаимобязанностей, а не случайными договоренностями между кафедрами и педагогами. В итоге – четкая увязка межпредметных переходов, исключение повторов и более эффективное использование учебного времени.

В контексте системы «пятой группы» находят свое предназначение и технология изучения и анализа конструкции по индивидуальным заданиям на лабораторных работах, и выполнение практических индивидуальных заданий как на производственной практике, так и в рамках специальной дисциплины «Индивидуальная конструкция подготовки».

Свои требования и методические приемы имеет в этой системе преддипломная практика и квалификационная работа - дипломный проект.

«Система пятой группы» имеет свою программу работы со школьниками в специальных лицейских классах городских школ, программу работы с абитуриентами и порядок отбора студен коллектив учебной группы по рейтингу, что позволяет вузовским педагогам наполнить учебный процесс информацией и навыками более высокого уровня.

Результат обучения в системе: высокая профессиональная выучка, широкий спектр знаний, авторитет «пятой группы», минимальное время адаптации в рабочем коллективе. Все это позволяет выпускникам найти место в ОКБ и в любой фирме.

Учебное пособие содержит общие методические положения изучения и анализа конструкции основных элементов авиационного ВРД: конструктивно - силовая схема, компрессор, камера сгорания, турбина, опоры ротора, форсажная камера, реактивное сопло, реверсивное устройство, редуктор. Включает 225 индивидуальных заданий. Комплекс заданий адаптирован к наглядным материалам (натурные макеты, чертежи, схемы и др.) моторного класса Самарского аэрокосмического университета, но методические основы проведения таких занятий и сам набор и содержание заданий без особых затруднений можно переработать применительно к имеющимся в распоряжении вуза макетам и чертежам двигателей, используя описанный опыт.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ВРД

Роль изучения выполненных конструкций в становлении инженера-конструктора.

Лабораторные работы по изучению такого сложного изделия как авиационный воздушно-реактивный двигатель (ВРД) опираются на общие закономерности обучения и представляют собой использование наглядности в обучении.

Введение в обучение наглядных материалов: натуральных макетов двигателей, отдельных узлов и агрегатов, деталей (охлаждаемой лопатки турбины), моделей, чертежей, 3-D-моделей, различных схем и т.д. должно учитывать два момента. Первый - какую роль тот или иной наглядный материал выполняет в усвоении предмета? Второй - в каком отношении находится предметная основа выбранного наглядного материала к предмету, подлежащему усвоению?

Говоря о роли наглядного материала в усвоении предмета, необходимо указать на то, что функции наглядного предмета могут быть разными. Это может быть стремление в процессе обучения оживить изучаемый материал конкретным, красочным образом предмета или самим предметом и тем самым сделать предмет для обучения более конкретным. Или это может быть непосредственное включение наглядного материала в процесс обучения для решения конкретной педагогической задачи.

Не отрицая присутствия первого фактора, необходимо подчеркнуть, что лабораторные работы по изучению конструкции ВРД связаны с решением именно специальной педагогической задачи, которая формулируется так: «Изучая конструкцию ВРД, отмечая

ее особенности, преимущества и недостатки, студент должен ответить на вопрос не только «как сделано», а главное, «почему так сделано», какие мотивы лежат в основе этих конструкторских решений, почему конструктор выбрал именно такое исполнение и таким образом заимствовать опыт проектирования».

Такая постановка цели лабораторных работ определяется связью их с основной проблемой, которая решается при изучении дисциплины «Проектирование и конструкция ВРД» студентами специализации 130215, - научить студента проектировать ВРД, его элементы и системы.

В процессе поиска ответа на вопрос, «почему так сделано», решается задача получения навыков анализа конструкции, т.е. нахождения сильных и слабых сторон принятого конструкторского решения, привития интереса к такому анализу.

Впоследствии, с годами, этот интерес к анализу конструкции и о работы перерастут в интуицию, помогающую конструктору находить оригинальные оптимальные решения.

Задания разработаны так, что при выполнении всего комплекса лабораторных работ студент сталкивается с необходимостью анализа конструкции практически всех типов и характерных исполнений, авиационных ВРД. Здесь необходимо отметить, что конструкция авиационных ВРД вбирает в себя все достижения науки, технические решения, известные ко времени создания двигателя, т.е. обладает| большим информативным потенциалом.

Поэтому, отмечая отношение предметной основы наглядного материала к предмету, подлежащему усвоению, можно сделать вывод, что лабораторные работы являются частью предлагаемой системы формирования инженера-конструктора.

Само построение задания каждой лабораторной работы, принятое в предлагаемой системе обучения проектированию, когда необходимо раскрыть неизвестное ответом на вопрос, «почему так сделано», создает проблемную ситуацию для студента.

Проблемная ситуация характеризует определенное психологическое состояние обучаемого, возникающее при выполнении задания, для которого нет готовых средств. В методических пособиях нет прямых ответов на главный вопрос: почему так сделано? Это состояние требует усвоения новых знаний о предмете, приложения усилий для поиска способов выполнения практического задания.

Введение в учебный процесс элементов проблемности повышает активность студентов, способствует развитию у них интереса познанию. Однако здесь необходимо учитывать разный уровень подготовки студентов в группе. И если для кого-то задание оказывается не по силам, проблемная ситуация угнетает, дезорганизует, замедляет процесс познания. Наоборот, хорошо подготовленного, способного студента она стимулирует к поиску, активизирует в работе, что соответствует его желанию и стремлению постоянно применять свои знания на практике.

Поэтому при проведении лабораторной работы важна роль педагога, который может оказать студенту своевременную помощь в разрешении ситуации. Помощь эта может быть или в виде консультации, или в индивидуальном выборе степени трудности задания. Это означает, что использование приемов проблемного обучения должно дополняться индивидуальным обучением.

В индивидуальном обучении таится еще один аспект, который в значительной мере определяет эффективность познания при таком виде занятия, как лабораторные работы.

Дело в том, что до введения предлагаемой системы формирования инженера-конструктора использовался групповой метод проведения лабораторных работ, когда учебная группа в 20-25 человек делилась на несколько подгрупп по 5-7 человек и каждой такой подгруппе давалось одно общее задание, следовательно, и письменный отчет о работе в этом маленьком коллективе был совершенно одинаковым. Это было слабым местом группового метода, т.к. приводило к тому, что добросовестно задание выполняли не все студенты, у некоторых из них появлялся соблазн просто повторить то, что написали в отчете их товарищи, дисциплина труда на занятиях поэтому была низкой и, как

следствие, результат обучения тоже был невысоким.

Такой устоявшийся годами порядок уже после 1-2 занятий настолько надоел студенту, что пребывание в моторном классе становилось для него не "радостным процессом познания", а занятием, которое нужно поскорее закончить. "Легкость" в проведении лабораторных работ по курсу "Проектирование и конструкция ВРД" для преподавателя проявлялась в том, что он стремился показать студенту, "как сделано" - задача относительно простая при наличии методического пособия по изучению двигателя.

К сожалению, такое положение в определенной мере устраивало студентов и педагогов.

Недостаток такой концепции проведения лабораторных работ в том, что совершенно упускается из вида основное назначение этого вида занятий - учить студента проектированию, то есть рассматривать лабораторные работы наравне с лекционным курсом, курсовыми работами и курсовым проектом в процессе формирования инженера-конструктора, создателя новых, оригинальных двигателей.

Индивидуальное задание, которое при необходимости может быть разным по степени трудности, меняет эту картину кардинально: проблемная ситуация активизирует и дисциплинирует обучаемого, и поэтому педагог находится постоянно в творческом поиске.

При новой постановке задачи студент на лабораторных работах не просто знакомится с конструкцией ("как сделано"), но решает обратную задачу, то есть находит объяснение тем решениям, которые принял конструктор в данной конкретной конструкции, разгадывает причины побудившие принять именно это решение. Это непросто, т.к. требует значительных умственных усилий и вызывает затруднения у многих студентов. Но это, как показала многолетняя практика работы по этому принципу, заставляет студента готовиться к лабораторной работе изучать пособия и лекционный материал, активно использовать контакты с преподавателем как на самом занятии, так и на лекциях, воспринимать каждый авиационный двигатель как сгусток идей, научно-технических достижений того времени, когда двигатель создавался.

Поставить студента в такие условия, чтобы он не мог уклониться от активной деятельности при выполнении лабораторной работы, это вторая задача, которая решалась в учебном пособии. Студента нужно занять большой полезной работой, из которой он выберет необходимое самостоятельно. Решением второй задачи в учебном пособии стало индивидуальное задание по лабораторной работе. Каждый студент получает свое задание и выполняет его один. Как показал опыт, такая организация дела на первом же занятии снимает настрое безответственности и формирует у студента направленность на запланированный результат - получение новых знаний и навыков проектировании ВРД.

Это благоприятное взаимодействие студента и педагога обусловлено предлагаемой «системой пятой группы», когда в пределах заданного времени (4-8ч) студент имеет возможность получить от педагога и ответ на вопрос, и совет, и наставления, а педагог может передать свои знания и опыт конкретному студенту. Такая организация дает высокий обучающий эффект.

Надо видеть эту атмосферу напряженного учебного труда, когда студент, выполняя свое задание в ограниченное время и стремясь сделать все хорошо, чувствует себя при этом уверенно, работает с интересом, в любой момент может обсудить затруднения с учителем.

Методическое обеспечение лабораторных работ

Подбор нужных источников информации при организации лабораторных работ по изучению конструкции производится, исходя из концепции наглядности в обучении.

Наглядность в учебном процессе - это использование визуального и осязательного восприятия информации. Здесь нужно иметь в виду, что не все люди воспринимают

информацию одинаково. Одному надо услышать (слуховой тип восприятия), другому - увидеть (зрительный тип), а кому-то прикоснуться (осязательный тип). В основном люди воспринимают информацию несколькими способами (смешанный тип). Поэтому задача использования наглядности, разных ее видов состоит в том, чтобы, изменяя канал восприятия (от постоянного слушания человек устает), активизировать познавательный процесс.

К видам учебной наглядности относят натурные вещественные модели (натурные макеты двигателей), графические изображения (чертежи, объемные изображения, схемы, объемные модели и т.д.), знаковые модели (графики, диаграммы, формулы).

Как уже говорилось, наглядность в лабораторной работе по изучению конструкции - это основа учебного процесса, т.е. наглядный материал создает первоначальный образ, который входит в наше сознание.

Натурный макет ВРД - основной носитель наглядности. Это чаще всего реальный двигатель, у которого вырезана одна четверть круга, что обеспечивает видимость его внутреннего устройства. Этот вид наглядного материала выступает не только как носитель учебной информации, он оказывает психологическое воздействие на обучаемого. Встреча с «железом» вызывает у обучаемого эмоциональный подъем: «Так вот, оказывается, он какой, этот легендарный НК-12, о котором столько говорилось на лекциях! Все это, оказывается, реально существует, сделано людьми и работает». Он осматривает макет, трогает, старается качать, крутить... И от того, возникает ли этот всплеск интереса, во многом зависит обучающий эффект наглядности.

Однако для полного понимания конструкции, т.е. взаимного положения и взаимодействия ее элементов, осознания принципов их функционирования, натурального макета бывает обычно недостаточно. В связи с этим полное методическое обеспечение лабораторной работы в нашем случае - это триада: натурный макет, чертеж (или схема) и описание конструкции двигателя или узла.

Чертеж позволяет дополнить информацию о конструкции, т.е. найти ответы на вопросы, которые невозможно было по разным причинам получить, изучая натурный макет. Поэтому эти два вида учебной наглядности должны использоваться совместно. Например, над макетом двигателя располагается чертеж, изображающий его продольный разрез. Наглядность может быть усилена, если чертеж будет цветным, где по определенной схеме выделены элементы двигателя (например, ротор каждого каскада трехвального двигателя изображен своим цветом).

Третью составляющую методического обеспечения, описание конструкции модуля рационально представить в двух видах: базовое пособие и описание конструкции рассматриваемого узла конкретного двигателя (поузловое пособие). Покажем это на примере модуля: компрессора.

Базовое методическое пособие включает в себя описание процесс сжатия воздуха в компрессоре, принципа действия устройств обеспечивающих газодинамическую устойчивость (система перепуска регулируемые направляющие аппараты, перфорация), устройств связанных с управлением радиальными зазорами, а также критерии качества модуля, то есть общие понятия, необходимые для понимания анализа конструкции компрессора любого ВРД. Если это содержание раскрыто в лекционном курсе, необходимость такого пособия невелика. Оно необходимо, когда лабораторная работа проводится до того, как прочитаны лекции, что случается тогда, когда лекции читаются потоку из нескольких групп.

Позуловое пособие используется при изучении и анализе конструкции только компрессора конкретного двигателя и должно концентрировать внимание на особенностях конструкции, активизировать студента в стремлении к анализу конструкции.

Поэтому построение пособия должно отвечать следующим требованиям:

- краткое описание конструкции как констатация с использованием принятых определений. Например, «ротор компрессора низкого давления барабанно-дискового типа

с соединением дисков радиальными штифтами», но без конкретизации типа «штифты устанавливаются натягом...», с таким расчетом, чтобы студент постоянно чувствовал недостаток информации при ответе на вопрос задания «как сделано»:

- должны быть отражены особенности конструкции. Например «щелевой отбор воздуха в систему перепуска воздуха» и кратко дан ответ на вопрос, «почему так сделано» в виде «для обеспечения заданной пропускной способности и уменьшения уровня возбуждения колебаний лопаток». Такое содержание ответа несет дефицит информации и побуждает студента использовать свои знания и консультации педагога для формирования полного ответа.

- пособие должно быть небольшим по объему, с рисунками, расположенными по тексту, на его изучение студент не должен затрачивать много времени.

При проведении всего комплекса из девяти лабораторных работ можно выстроить задания так, чтобы студент ознакомился с конструкцией ВРД всех типов и назначений.

Достаточность набора наглядного материала определяется целью, поставленной при изучении дисциплины. Можно построить такую схему, чтобы в числе натуральных макетов было по одному представителю каждого типа ВРД: ТРД, ТВД, ТРДД, ТВдД ТРДФ и ТРДДФ.

Однако такой набор не позволяет обеспечить индивидуальность задания по лабораторной работе ни по одному из модулей газогенератора, а тем более таким, как редуктор, форсажная камера, реактивное сопло и реверсивное устройство.

Поэтому принцип комплектования должен быть несколько необычным - «чем больше двигателей, тем лучше». Однако реализовать это идею трудно из-за сложности размещения в моторном классе вновь приобретаемых двигателей из-за постоянного дефицита свободных площадей.

Выход из положения может быть один - нужно использовать графический наглядный материал. И вполне приемлемой должна быть ситуация, когда в наборе натуральных макетов нет указанного в задании двигателя и в качестве основного вида наглядности выступает сборочный чертеж двигателя или узла: порядок выполнения лабораторной работы изменяться не должен.

Расширяют использование графического наглядного материала современные компьютерные системы. Они позволяют

- увеличить количество изучаемых образцов по любому модулю, повысить возможности освоения опыта проектирования:

- разработать сценарий сборки и разборки модуля и двигателя в целом и демонстрировать технологию сборки и разборки, одну из трудных для понимания студента операций при создании проекта модуля или двигателя;

- использовать 3-D модели, которые приближают изображение к натурному макету и в определенной степени заменяют его, а по возможности сделать любое сечение или разрез изучаемого элемента обладают большей информативностью;

- увеличить масштаб, выделить наиболее ярко нужные элементы конструкции, что облегчает процесс изучения и анализа;

уменьшить трудоемкость в оформлении графической части отчета по лабораторной работе и соответственно увеличить время на осмысление и анализ конструкции узла, т.е. эффективнее использовать учебное время.

Для реализации этих возможностей должна быть создана графическая база данных ВРД и объемных моделей модулей.

Структура индивидуального задания и технология обучения

Индивидуальное задание состоит из трех вопросов, на которые студент находит ответ,

изучая конструкцию по натурному макету, чертежу и другим наглядным материалам, а также используя базовое поузловое пособие.

Исходной основой в построении нового учебного процесса в лабораторных работах по изучению и анализу конструкции ВРД стал переход от традиционного метода, когда изучалась конструкция одного из типов двигателей (ТРД, ТВД, ТРДД и т.д.) как единого целого к поузловому изучению, когда изучается конструкция определенного узла-модуля (компрессора, турбины и др.) на всех типах двигателей.

Схема «единого целого» позволяет обучаемому устойчиво усвоить целостный образ двигателя, и в этом его преимущество.

Схема же поузлового обучения логически связана с лекционным курсом, где без рассмотрения принципов проектирования каждого модуля в отдельности невозможно охватить весь спектр проблем связанных с выполнением требований к его конструкции. Эта связь выражается в том, что после лекционного освещения методики проектирования модуля следует лабораторная работа по изучению анализу его конструкции.

Позуловый метод выдвинут самой жизнью. За полвека истории авиационных ВРД выполнены десятки оригинальных конструкций, что позволяет вести систематический анализ конструкции модулей самых разных исполнений и таким образом обобщать и изучать опыт проектирования.

Структура индивидуального задания выбрана таким образом, чтобы изучить физические основы процессов, происходящих в рассматриваемом узле (например, в регулируемом реактивном сопле конструктивную схему и конструкцию основных элементов (это первый вопрос задания), провести сравнение исполнения одного и того же элемента (например, створки сопла) на различных двигателях и указать на предпочтительное решение (второй вопрос задания), подробно рассмотреть конструкцию отдельного элемента, указать на преимущества и недостатки (третий вопрос).

Студент, работая над первым вопросом задания, изучает узел как целое, включая функции его в составе ВРД, то есть назначение его в цикле двигателя, физические процессы, происходящие в узле (например, в реактивном сопле - разгон реактивной струи до сверхзвуковой скорости, особенности течения газового потока в сопле и воздуха при внешнем обтекании сопла на разных режимах работы двигателя и полета самолета и др.).

Очень часто студент, прослушав курсы термодинамики, теплотехники, теории двигателей и др., не может приложить их к реальной конструкции. В то же время не имеет смысла изучать, например, конструкцию компрессора и системы управления (механизации) компрессора для обеспечения газодинамической устойчивости (перепуск воздуха и регулируемые направляющие аппараты), если студент не знает, как сжимается воздух в компрессоре, какие отрицательные эффекты паритирует механизация компрессора. Лабораторные работы по изучению конструкции ВРД можно рассматривать как последнюю возможность у студентов восполнить этот пробел.

Второй вопрос задания нацелен на решение обратной задачи, т.е. на поиск ответа на вопрос, «почему так сделано». Для этого используется сравнение исполнений одинаковых элементов на различных двигателях.

Концепция изучения конструкции по индивидуальным заданиям основана на том, что каждый авиационный ВРД как наглядный материал воплощает в себе многие научно-технические достижения своего времени и представляет собой концентрированный опыт проектирования. Задание достаточно емкое, и отражает тот факт, что не слишком трудное. Задание не вызывает проблемной ситуации.

Однако, как было сказано нужно учитывать, что на слабо подготовленного студента или студента, проходящего обучение по смежной специализации, проблемная ситуация может действовать отрицательно. Поэтому педагог должен регулировать степень трудности задания. Состав задания дает такую возможность в зависимости от специализации или уровня подготовленности учебной группы. Так для групп,

специализирующихся в области технологии, эксплуатации и т.д., можно ограничиться одним первым вопросом, или первым и вторым, или первым и третьим, или, наконец, педагог может разработать собственные задания.

Важным элементом эффективности обучения при проведении лабораторных работ по изучению конструкции является подготовленность студента. Он должен усвоить определенный объем информации и выполнить контрольное задание: это может быть тест нескольких вопросов на ЭВМ или письменный ответ на первый вопрос задания.

Второй подход, как показала практика, более продуктивен - готовить ответ на первый вопрос, по мнению самих студентов, рационально во внеурочное время. В этом случае задание на лабораторную работу должно быть выдано заранее.

Отдельного рассмотрения заслуживает тестирование студентов как средство контроля готовности студента к выполнению задания по лабораторной работе. Это, безусловно, эффективная мера при большом числе студентов, например, поток из 2 - 3 групп.

Студент, не выполнивший тестовое задание, не допускается до лабораторной работы.

Если преподаватель работает только с одной группой и хорошо знает ее, тестирование необязательно. В этом случае в качестве допуска для выполнения работы может служить подготовленный ответ на первый вопрос задания, которое выдается студенту в самом начале изучения узла в лекционном курсе. Студент, не успевший ответить на первый (наиболее трудоемкий) вопрос, присутствует на занятии, работает, но лишается права получить зачет (обычно такой студент не успевает выполнить все задание).

При проведении лабораторной работы вначале необходимо сводить всю группу студентов в моторный класс, рассказывая о наиболее характерных экспонатах, формируя у студентов знания обо всех основных типах рассматриваемого модуля, а не только о тех, которые отмечены в задании и которые будут подробно изучены. Как показывает опыт, на это требуется 15-20 минут времени.

Если при этом группа разделена на две подгруппы, а занятие ведут два преподавателя, то представляется возможность провести ознакомление с конструкцией изучаемого модуля на разных двигателях только для половины группы, что повышает эффект наглядности и дает возможность студентам увидеть подробности.

Очень важный этап - оформление отчета и сдача работы. Примеры ответа на вопросы даны по каждой лабораторной работе. Педагоги склоняются к тому, чтобы отчет писать аккуратно от руки на отдельных листках формата А4, рисунки выполнять от руки, а более сложные распечатывать на графической базе ЭВМ.

Защита отчета о лабораторной работе по изучению конструкции сложных модулей ВРД при дефиците времени на опрос чаще всего выливается в форму ответов на вопросы педагога после просмотра им отчета.

Если при сдаче работы выяснится, что студент в отчете не полностью ответил (или совсем не ответил) на некоторые вопросы задания или не в состоянии ответить на вопросы преподавателя, сдачу работы следует перенести на следующее занятие. Как показывает опыт, после такого переноса студент бывает более подготовленным к следующей работе.

Разделяются мнения педагогов относительно того, что лучше (с точки зрения получения навыков проектирования) при выполнении графической части отчета (рисунки, схемы): делать их от руки или воспользоваться распечаткой изображения из графической базы ЭВМ.

Распечатка, безусловно, несет больше информации, но тогда студент не использует «эффект прорисовки» для лучшего проникновения в суть конструкции и запоминания. Однозначного ответа на этот вопрос пока нет.

Лабораторная работа должна быть подготовлена: наглядные материалы, пособия и др. должны быть скомплектованы к началу занятий; продуман рассказ об изучаемом модуле и маршрут передвижения по моторному классу; проведено тестирование студентов и каждому

из них должно быть известно решение о допуске его к лабораторной работе.

Если допуском к лабораторной работе служит предварительный ответ на первый вопрос индивидуального задания, то текст ответа должен быть выполнен накануне, проверен педагогом и при хорошей оценке студент допускается до участия в работе.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТЫ

«Опоры»

Методически целесообразно рассказать о конструкции опор двигателя на примере какого-то одного двигателя, а на других продемонстрировать особенности конструкции, оригинальные решения.

В качестве базового двигателя можно выбрать двигатель Д-30, разрез которого выполнен достаточно подробно. На этом двигателе можно показать: конструкцию литых и сварных опор, расположение опор с РУП за компрессором, межвальным подшипник, подвод масла (как внешний через ребро или лопатки опоры, так и внутренний через центральную трубку, расположенную в центре вала, к межвальному роликовому подшипнику); переход от неподвижного маслопровода к вращающемуся: систему откачки масла отдельно от каждого подшипника; суфлирование задней опоры компрессора ВД и турбин ВД и НД с помощью динамического суфлера; гидродинамические демпферы в опорах турбин ВД и НД и упругие втулки «беличье колесо» на передних опорах компрессоров ВД и НД; лабиринтные уплотнения в опорах хорошо отлаженную систему наддува уплотнений.

На двигателе Д-36 интерес представляют двухопорная статически определяемая система всех трех роторов; опоры роторов СД и ВД с РУП имеющие большие выносы и потому размещенные близко к центру масс роторов компрессоров СД и ВД; гидродинамические демпферы в опорах ротора ВД и турбин СД и НД; упругий нелинейный элемент в виде втулки «беличье колесо» в опоре компрессора СД; уплотнение опор РТКУ и РТКУ в комбинации с лабиринтами.

На двигателе Р11Ф2-300 следует обратить внимание на спаренные подшипники, образующие РУП каскада ВД; на межвальные подшипники в средней и задней опорах ротора НД; на систему подвода и слива масла в опорах с межвальными подшипниками; на уплотнения валов состоящих из контактных уплотнений с металлическими кольцами в комбинации с лабиринтами; на связь опоры турбины с корпусом двигателя через болты в первом СА; на окончание трубопровода сбрасывающего воздух из динамического суфлера на срез сопла.

На двигателе НК-144 интерес представляют пластинчатые демпферы во всех опорах; теплоизоляция корпуса подшипников задней опоры; подвод и слив масла и суфлирование в задней опоре.

На двигателе ВК-1 следует показать расположение трех опор на малой длине ротора и обеспечение статической определенности системы с помощью шарнира, а также охлаждение опоры турбины с помощью прокачки воздуха, подаваемого специальной крыльчаткой.

На двигателе НК-12МВ следует показать нелинейный элемент в виде упругой втулки, расположенной на валу турбины в зоне задней опоры турбины.

На двигателе НК-12МВ интерес представляет и передняя опора турбины; смещение третьей опоры ротора (роликоподшипник) от геометрической оси при сборке двигателя (~ на 1,0 мм) позволяет "нагрузить" подшипник на всех режимах работы и исключить проскальзывание и износ тел качения, откачку масла отдельно из каждой опоры, расположенной в зоне камеры сгорания (2 и 3 опоры). Это принципиальное решение родилось в процессе доводки двигателя.

На двигателе Д18-Т интерес представляет схема и конструкция подвешивания двигателя на пилоне под крылом. Кронштейн переднего пояса подвески, окруженный обтекателем, воспринимает осевую силу (тягу), боковую силу и вес двигателя и таким образом освобождает от

нагрузки этими силами стойки наружного контура опоры.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТЫ «Редукторы»

Изучение принципов проектирования редукторов в курсе «Детали машин» формирует у студентов навыки создания редукторов общего назначения, там не ставится цель рассматривать проблемы, возникающие при создании авиационных редукторов, такие как:

- интенсификация теплоотвода многократным увеличением прокачки масла;
- многорежимность и обусловленное этим снижение надежности (ресурса);
- точная установка режима работы двигателя в случае ТВД и ТВаД и связанная с этим задача установки ИКМ;
- размещение редуктора по длине двигателя и влияние редуктора на поля скоростей и давлений воздуха на входе в компрессор;
- минимизация массы редуктора и др.

Поэтому отметить эти особенности конструкции редукторов авиационных ВРД важно в самом начале на одном из редукторов.

ТВД НК-12МВ имеет дифференциальный редуктор для соосных винтов и ИКМ торсионного типа. Важно отметить непревзойденную в течение 40 лет уникальность редуктора по передаваемой мощности -15000 л.с. Следует показать передачу осевой силы от винтов, работу соосных ВИШ, систему противообледенения винтов.

ТВД АИ-20 имеет редуктор замкнутой схемы, у которого центральное колесо внутреннего зацепления дифференциала соединено с центральным колесом внешнего зацепления планетарной передачи с остановленным водилом. Остановленное водило кинематически связано с подвижными элементами ИКМ гидравлического типа. Кинематика этого редуктора вызывает затруднения у студентов, поэтому кинематическую схему редуктора и принцип действия ИКМ желательно разобрать заранее, в процессе подготовки к лабораторной работе.

ТВД АИ-24, редуктор имеет исполнение, аналогичное редуктору двигателя АИ-20. Здесь уместно показать ВИШ двухпозиционной схемы и смонтированную на макете противообледенительную систему лопастей винта.

ТВД НК-4 имеет планетарный редуктор, ИКМ торсионного типа, малые габариты и массу. Рационально показать торец выходного вала с торцевыми треугольными шлицами для крепления втулки воздушного винта.

ТВД М-601В - повернутый на 180° двигатель с размещением редуктора и винта непосредственно за выходным устройством делает эту необычную конструкцию вначале малопонятной. Редуктор простой, соосный, двухпоточный, ИКМ гидравлического типа с отслеживанием деформаций элементов ходовой части. ВИШ - обратной схемы (с противовесом).

ТВВД НК-93 - имеет компактный дифференциальный редуктор для двухступенчатого винтовентилятора с противовращением, с ИКМ. Следует отметить, что передаваемая редуктором мощность - около 30 тыс. л.с.

ТВаД ГТД-350 - имеет простой, однопоточный редуктор в середине длины двигателя, что позволяет, как и в компоновке двигателя М-601В, получить минимальную длину входного вала (от свободной турбины).

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТЫ

Конструктивные методы снижения роторной вибрации

В лабораторной работе изучаются две темы:

1. Назначение допустимых дисбалансов ротора компрессора (турбины)
2. Изучение конструкции и выбор параметров устройств для снижения роторной вибрации.

Обе темы базируются на изучении конструкции этих устройств, принципе их действия на двигателях, размещенных в моторном классе кафедры КиПДЛА и на двигателе, разрабатываемом в курсовом проекте.

1. В проектируемом двигателе выделяются роторы компрессора или турбины (по ответственности студента в групповом проекте), для которых нужно определить допустимые дисбалансы, т.е. наметить плоскости приведения, оценить вес балансировочных грузов и радиус их размещения.

Работа базируется на знании ГОСТ 22061-76 «Системы классов балансировки» и на информации, полученной на 2-й производственной практике, где изучали технологии динамической балансировки и оформление балансировочных чертежей ротора.

Выполнение работы не вызывает затруднений у студентов, т.к. вопросы балансировки изучаются на предыдущих курсах.

2. Тема «Изучение конструкции и выбор параметров устройств для снижения роторной вибрации» основана на изучении конструкции и принципа действия упругих нелинейных элементов и конструкции и принципа действия гидродинамических демпферов (ГДД) и пластинчатых демпферов.

Педагог должен знать хорошо предмет, т.к. студенты с большим трудом осваивают теорию вопроса, и добиваться понимания принципа действия, математического описания его, приходится долго.

Конструкция нелинейных элементов изучается в конструкции двигателей НК-12МА, НК-4, CFM-56, GE-90 и др. Студент описывает конструкцию и принцип действия.

Конструкция ГДД не только анализируется в работе, но и делается полный расчет его в составе ротора ВД или НД ТРДД, определяется коэффициент передачи.

Педагогу необходимо добиваться полного понимания предмета лабораторной работы в отчете и особенно при защите его.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТЫ

Конструктивные методы повышения вибрационной прочности лопаток

Работа строится на создании конструкции демпфера лопатки компрессора или турбины в зависимости от того, какой узел проектирует студент в групповом курсовом проекте и на изучении конструкции типов демпферов, из которых студент делает выбор.

Лабораторная работа начинается с изучения демпферов лопаток, созданных в СГАУ и демпферов, внедренных на двигателях, и заканчивается оценкой переменных напряжений в лопатке и запаса прочности по пределу выносливости.

Работа не вызывает затруднений у студентов.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТЫ

Размещение агрегатов на двигателе

Студенту демонстрируется размещение агрегатов на одном из двигателей, где эти агрегаты доступны для обзора. В моторном классе кафедры КиПДЛА таким двигателем для ТРДДФ АЛ-31Ф с верхним размещением агрегатов.

Агрегаты разделены на 2 группы: приводные и неприводные.

Приводные агрегаты (насосы, регуляторы, генераторы и др.) для функционирования получают приводной крутящий момент от ротора ВД через центральный привод и систему шестерен коробки приводов. В работе студенты описывают закрепление на коробке приводов одного из агрегатов.

Неприводные агрегаты (блоки системы управления и системы запуска, теплообменники, фильтры, баки, датчики системы контроля и защиты и др.). Они размещаются в разных точках на поверхности корпуса и испытывают климатические нагрузки, а также получают возбуждения от вибрации. Главная задача установки агрегатов на виброизоляторы - обеспечить заданный в ТУ на агрегат уровень нагрузки.

В работе студент делает расчет и разрабатывает установку агрегата на известные виброизоляторы.

Лабораторная работа начинается в моторном классе, затем продолжается в лаборатории вибропрочности СГАУ, где студенты знакомятся с технологией изготовления материала МР и с конструкцией виброизоляторов из материала МР.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАБОТЫ

Трубопроводы

Большое число трубопроводов на авиационном двигателе (до 400): топливных, масляных, воздушных, трубопроводов гидросистемы и др., затрудняет понимание студентом их назначения. Но такая задача и не ставится в лабораторной работе.

До студента нужно донести, что главное в проектировании систем трубопроводов на авиационном двигателе обеспечить абсолютную их герметичность в течение ресурса, т.е. исключить утечки по арматуре и при разрушении трубопроводов.

В лабораторной работе студент изучает конструкцию одного-двух трубопроводов, изображает их прокладку в соответствии с принятыми в производстве правилами и делает расчет расстояния между опорами для двух случаев:

- при частотной отстройке;
- при демпфировании колебаний трубопровода и выбирает конструкции опор для этих случаев.