

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВИАЦИОННОГО
ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

2011



САМАРА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВИАЦИОННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Учебное пособие

САМАРА
Издательство СГАУ
2011

Составители: *Ермаков А.И., Старцев Н.И., Фалалеев С.В.*

УДК 621.452.221.3.01

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВИАЦИОННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ:
учебное пособие / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. *А.И.Ермаков, Н.И.Старцев,*
***С.В.Фалалеев.* Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. - 19 с.**

В учебном пособии рассмотрены методические вопросы организации сквозного курсового компьютерного проекта по проектированию авиационных двигателей (АД) и энергетических установок (ЭУ).

Учебное пособие предназначено для студентов факультета двигателей летательных аппаратов, обучающихся по специальностям "Авиационные двигатели и энергетические установки" и «Проектирование авиационных и ракетных двигателей». Подготовлены на кафедре конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов.

Рецензент: *д.т.н., проф. В.Н.Матвеев*

Оглавление

Введение

1. Сквозной групповой проект: опыт, задачи

2. Общее задание по СККП. Индивидуальное задание по предмету

Библиографический список

Приложение. Задание на сквозной групповой проект. Индивидуальные задания

Введение

Создание современного авиационного двигателя (АД) - сложный процесс, включающий деятельность многих специалистов различных областей знаний. Высокие показатели качества АД закладываются в процессе его проектирования и доводки на основе тесного сотрудничества конструкторов, технологов, металлургов, испытателей, владеющих современными информационными технологиями. Конструктор должен целенаправленно использовать все свои знания, а также знания других специалистов для поиска оптимальных конструкторских решений, обеспечивающих высокий уровень характеристик создаваемого АД. Для этого он должен владеть основами проектирования АД в целом и отдельных их элементов.

Разработанное учебное пособие предназначено для использования в сквозном курсовом компьютерном проектировании (СККП), который охватывает цикл специальных дисциплин по следующим направлениям: теория АД и ЭУ, теория и расчет лопаточных машин АД и ЭУ, проектирование и конструирование АД и ЭУ, надежность АД и ЭУ, компьютерные технологии проектирования и конструирования АД и ЭУ, автоматическое регулирование АД и ЭУ, технология сборки АД и ЭУ, - для студентов, обучающихся по специальности 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки».

СККП формирует всестороннюю подготовку конструкторов по авиационным двигателям и энергетическим установкам, и определяет глубокое изучение предмета. Результат обучения - высокая профессиональная выучка, широкий спектр знаний и минимальное время адаптации в рабочем коллективе.

Учебное пособие является одним из модулей методического обеспечения по конструкции и проектированию авиационных двигателей (АД) и энергетических установок (ЭУ), входят компонентой в прогрессивную систему формирования инженера-конструктора, реализованную в Самарском государственном аэрокосмическом университете имени академика С.П.Королева. Идея этой системы состоит в том, что выпускник должен уметь проектировать авиационные газотурбинные двигатели и их элементы и на этой базе создавать оригинальные проекты других сложных изделий, уметь находить новые инженерные решения и в совершенстве владеть современными компьютерными технологиями проектирования.

1. Сквозной курсовой проект: опыт и задачи

Сквозное курсовое проектирование имеет целью связать единым общим заданием все курсовые проекты и курсовые работы по всем специальным дисциплинам, формирующим специалиста-инженера по АД и ЭУ.

Возможность этого поддается самой раскладкой этих дисциплин по времени, отведенному на обучение: вначале изучается теория двигателей, затем их конструкция, далее - технология двигателей. Это несколько курсовых проектов в 7...10 семестрах. В настоящее время реализовано включение нижеперечисленных курсовых проектов и курсовых работ.

Курсовые проекты и работы по курсам:	Семестр:
«Теория, расчет и проектирование АД и ЭУ»	7
«Теория и расчет лопаточных машин АД и ЭУ»	8
«Вибрация и прочность АД и ЭУ»	8
«Компьютерное конструирование основных узлов АД и ЭУ»	9
«Технология производства АД, ЭУ и ее компьютерная поддержка»	9, 10

Следует отметить, что проводится целенаправленная работа по привлечению к сквозному проекту и других специальных дисциплин. Все курсовые проекты и работы имеют одну общую задачу - научить выполнять проект авиационного газотурбинного двигателя и его элементов, который является квалификационной работой. Итак, если в начале обучения на специальных кафедрах дать студенту задание спроектировать двигатель и разложить это задание на части, каждая из которых выполняется и защищается на определенных кафедрах, а на финише сделать результирующую защиту перед комиссией, состоящей из всех педагогов, руководивших этими курсовыми проектами - частями общего задания, то по идее будет желанный итог – студент будет уметь проектировать двигатель, педагоги будут иметь возможность убедиться в этом и увидеть результаты своего труда, увидеть недоработки, чтобы совершенствовать затем процесс обучения.

Такая цепочка, такое сквозное проектирование проводится с 2000 года. Зачинатели сквозного проектирования надеялись, что этот учебный эксперимент, который дает отличные результаты, будет способствовать совершенствованию процесса обучения, предметных взаимосвязей, уровню подготовки. Можно сказать, что эти надежды оправдались. Студенты специализации «Компьютерные технологии конструирования авиационных изделий» выполняют проектирование, используя современные технологии: компьютерную графику с 2D и 3D моделированием, ведут термо- и газодинамическое проектирование с использованием пакета программ, расчеты на прочность проводятся в среде ANSYS, технологическое проектирование также ведется средствами машинной графики и с использованием пакета ANSYS. Защиты сквозного курсового проекта проводятся дважды: первый раз в конце 9 семестра перед комиссией специалистов ОКБ, и второй раз – перед комиссией из преподавателей во главе с деканом факультета.

Успех во многом подготовлен многолетним (начиная с 1986г.) опытом группового курсового проектирования в группе ЦИПС, когда была решена задача создания проекта авиационного двигателя при курсовом проектировании.

Следующий этапный шаг – создание компьютерной базы данных авиационных двигателей. Создание в 1995 г. компьютерного класса кафедры КиПДЛА было, наряду с формированием базы двигателей, важным мероприятием – у студентов еще не было личных компьютеров и студенты с 3^{го} по 5^й курс, а затем и дипломники были в классе,

который работал с большой перегрузкой и часто до 8-10 вечера, при этом с высоким КПД. Эффект передачи знаний от старших к младшим здесь был колоссальный.

Третий рубежный шаг – коренное изменение программы курса «Динамика и прочность АД и ЭУ» с введением метода конечных элементов и современного программного комплекса ANSYS для расчета на прочность и исследования динамики лопаток, дисков и рабочих колес.

Успешное внедрение сквозного проектирования вскрыло некоторые проблемы.

1. Необходимо четко спланировать взаимосвязь курсовых проектов и передаваемых данных.

2. При расчете лопатки на прочность и отстройке от резонансов чаще всего требуется перепрофилирование лопатки. Эта операция должна проводиться в процессе прочностного расчета, и не так как сейчас, когда на профилирование тратится много времени и проводить его нужно в другом классе. Это означает, что без программного комплекса быстрого профилирования лопатки (часы) и единого информационного пространства факультета продвижения вперед не будет.

3. При формировании концепции конструкции проектируемого двигателя, термодинамическом проектировании узлов (КС и др.), при проектировании элементов двигателя (охлаждаемых лопаток и др.) в практике преподавания на специализированных кафедрах широко используется метод проектирования от прототипа.

Ничего плохого здесь не было бы, если бы педагог давал студенту еще и метод, который позволяет создавать новые, оригинальные конструкции. Если он его не дает, что часто и есть, прототип – это плохо.

Здесь уместно привести две цитаты из работы /1/. «В настоящее время можно наблюдать проникновение формальных методов в описание творчества конструктора и в структурный синтез объектов, но это пока не обеспечивает прорыва в область принципиально новых проектных решений и математической модели творчества пока нет. Разумеется конструктор может быть знаком с исследованиями по научным методам формирования объектов, может использовать в работе САПР и интерактивные процедуры общения с ЭВМ, но основной областью приложения формально математических методов к проектной разработке пока остается параметрический синтез, т.е. оптимизация параметров структурной схемы, предложенной конструктором». «... прогресс в технике подчинен внутренним законам развития объектов, противоречиям между конфликтующими в них элементами; в конструкции объекта заключены предметный опыт разработчиков (конструкторов, ученых), результаты фундаментальных исследований, открытий и изобретений. Основным двигателем прогресса на этапе замысла объекта является творчество и интуиция конструкторов и исследователей, располагающих научной информацией и запасом знаний. Поэтому нельзя заключать разработчика уже в начале работы в жесткие рамки задач, так как талантливые проектные решения (а другие не нужны) расширяют эти рамки и меняют сами задачи (таких примеров в технике, в частности авиационной, было достаточно)».

4. Как отмечалось выше, в начале внедрения компьютерной техники в учебный процесс у студентов личных компьютеров не было, и студенты были вынуждены работать в дисплейном классе. Это было благодатное время для педагога – он мог консультировать сам, используя возможности компьютера (например, быстро найти пример исполнения элемента в другом двигателе или увеличить изображение элемента). Здесь и студенты старших курсов по просьбе педагога консультировали младших. При несовершенных маломощных компьютерах эффект работы педагога был очень высок.

В настоящее время дисплейные классы, оснащенные суперкомпьютерами, заполнены только по расписанию – в остальное время они пусты. Причины:

- любыми путями студент обзаводится собственной базой двигателей, а она сейчас насчитывает более 60 двигателей;
- педагоги и не ставят перед собой задачу обязательного присутствия студентов, если он может эту работу сделать дома.

Чтобы вернуть утраченные наработки в учебном процессе, необходимо использовать опыт педагогов кафедры в использовании РДМ – систем и решить задачу создания учебной системы на основе базы данных двигателей так, чтобы студенту было выгоднее и комфортнее работать в классе, а не дома.

5. Студенты довольно быстро и с желанием осваивают объемное моделирование. Вопрос главный – как использовать 3D модели при проектировании (создании рабочей документации) и в производстве (и в частности при контроле деталей и собранных узлов). Отсюда вытекают методические вопросы: чему учить? и как учить?

6. Факультетская программа совершенствования системы СККП предполагает создание компьютерного сопровождения процесса курсового проектирования. При осуществлении этой программы возникла идея формализованного построения конструктивных схем и даже создания компоновки двигателя. Факультет должен выработать свою позицию – какому методу проектирования двигателей отдается предпочтение при обучении студентов-конструкторов.

Общепринятым в мировой практике двигателестроительных фирм является системный подход к формированию конструкции газотурбинного двигателя, когда эта сложная система не разрабатывается и не оптимизируется сразу целиком, а используется разделение ее на части или декомпозиция. Это позволяет упростить задачу поиска оптимального решения, расширить фронт работ, предоставив автономию разработчикам частей, при этом сохранив рычаги управления за разработчиком «большой системы» /1/.

И возможен другой метод проектирования, обратный методу декомпозиции – метод композиционного проектирования. Когда формирование сложной системы производится из элементов специальным образом подобранной агрегатной базы /1/.

Сторонники «схем квадратиков», осознанно (это хуже) или нет, придерживаются именно этого метода и пропагандируют его под флагом совершенствования компьютерной поддержки СККП.

Цитаты из докладов: «для создания блок-схемы ГТД элементы двигателя представляются в виде блоков, собранных подобно кубикам», «...наконец выбирается один подходящий прототип ГТД», «предложенный подход позволяет использовать апробированные и отработанные технологические приемы, т.е. использовать опыт других разработчиков. Это является актуальным в настоящее время, когда стоимость разработки нового двигателя растет, и фирмы осуществляют совместные проекты с разделением труда, способствующим снижению расходов на создание нового двигателя» /2/.

Все просто: набирается из кубиков, т.е. из позаимствованных узлов двигателей любых фирм проектируемый двигатель. Все просто и дешево. Только два возражения.

Первое. На практике такое заимствование наказуемо. Следовательно, можно использовать только свои кубики или кубики с разрешения партнера.

Второе и главное. Где же здесь творчество, которое только и позволяет создавать принципиально новые конструкции?

Отстаивая системный подход, никто не собирается отказываться от совершенствования компьютерной поддержки СККП. Однако нужно в планах по-другому расставить акценты.

7. Необходимо составить общую блок-схему СККП с участием кафедр ТДЛА, КиПДЛА, ПДЛА и АСЭУ, введя туда блоки методического и аппаратно-програмного

обеспечения по каждой кафедре и выделить блоки, которые нужно создавать или переделывать. Необходимо отметить, что методическая поддержка разработана /3-6/.

8. В настоящее время вся система СККП основана на устных договоренностях – это ненадежная система. Нужен документ, регламентирующий и обязывающий, типа СТП – стандарта предприятия СГАУ.

2. Общее задание на СККП. Индивидуальные задания по предмету

Сквозной курсовой проект выполняется группой из 2, 4 или 6 студентов, т.к. в соответствии с программой обучения каждый студент должен выполнить проект лопаточной машины компрессора или турбины, и количество пар студентов в группе равно числу каскадов проектируемого двигателя.

Один из студентов группы, чаще наиболее подготовленный назначается старшим группы – Главным конструктором.

При распределении индивидуальных заданий по базовой курсовой работе №1 по дисциплине «Теория АД и ЭУ» Главные конструкторы получают задание на проектирование двигателей, которые будут основой для выполнения всех остальных курсовых проектов и курсовых работ, входящих в СККП. В зависимости от числа студентов в учебной группе и от типов двигателей (выбранных на совещании ведущих педагогов всех кафедр по представлению выпускающей кафедры КиПДЛА), формируется несколько коллективов, каждый со своим Главным конструктором. Комплектование таких групп идет обычно на добровольной основе.

Каждая такая группа получит задание на проектирование АД или ЭУ в рамках СККП, которое утверждается деканом факультета и которое является директивным документом по организации работ по СККП на кафедрах ТДЛА, КиПДЛА, ПДЛА и АСЭУ.

На основании этого группового задания разрабатываются задания по каждой курсовой работе и проекту, входящих в СККП. Схема показана на рис.1.

Групповое задание (ГЗ)

Разработку группового задания (ГЗ) инициирует выпускающая кафедра пятой группы – КиПДЛА. Чтобы учесть все мнения педагогов других кафедр, кафедра КиПДЛА проводит обсуждение заданий на специальном совещании и только тогда представляет ГЗ на утверждение декану факультета.

В ГЗ (приложение) указываются выходные характеристики АД и ЭУ (взлетная тяга, мощность на валу ЭУ, область использования – гражданская или военная авиация, место установки на самолете), исходные данные для расчета (высота, M_n и дальность), а также назначенный ресурс и ресурс до первой переборки. В качестве ограничений указывается удельный расход топлива $S_{уд}$, иногда температура газа перед турбиной $T_{г*}$ и делается главное указание «Остальные требования в ТЗ на двигатель»

В ГЗ указывается состав группы и персональная ответственность каждого студента за проектирование определенных узлов двигателя.

Последним разделом ГЗ определяются педагоги, которые будут руководить курсовыми работами и проектами, входящими в СККП.

ТЗ является источником исходных данных (ИД₀) для разработки индивидуальных заданий для курсовых работ и курсовых проектов на кафедрах.

Техническое задание (ТЗ) на разработку АД и ЭУ

В реальных условиях проектирования в ОКБ ТЗ формируется одновременно с определением облика (концепции) проектируемого двигателя группой ведущих специалистов (рис.2).

При курсовом проектировании студенты должны понимать ответственность и трудности этапа разработки ТЗ. Формируя ТЗ для своего двигателя приспособлением, адаптацией, базовых ТЗ для данного типа двигателя или ЭУ. Именно этот прием анализа базовых ТЗ и создание на этой основе ТЗ для своего двигателя является понятным и доступным. Разработанное таким образом ТЗ, утверждается руководителем проекта от кафедры КиПДЛА.

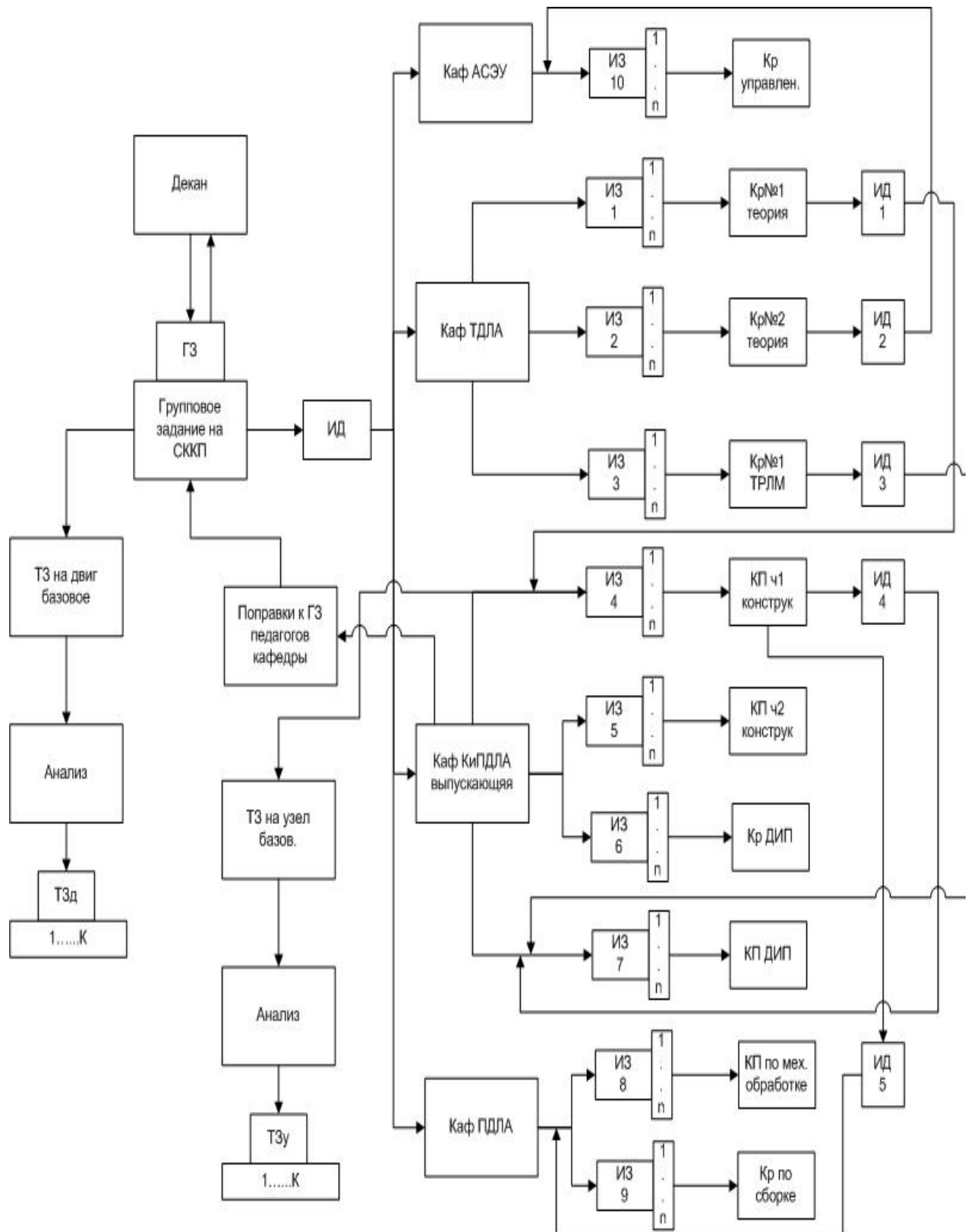


Рис. 1. Структурная схема разработки группового задания на СККП и индивидуальных заданий по курсам

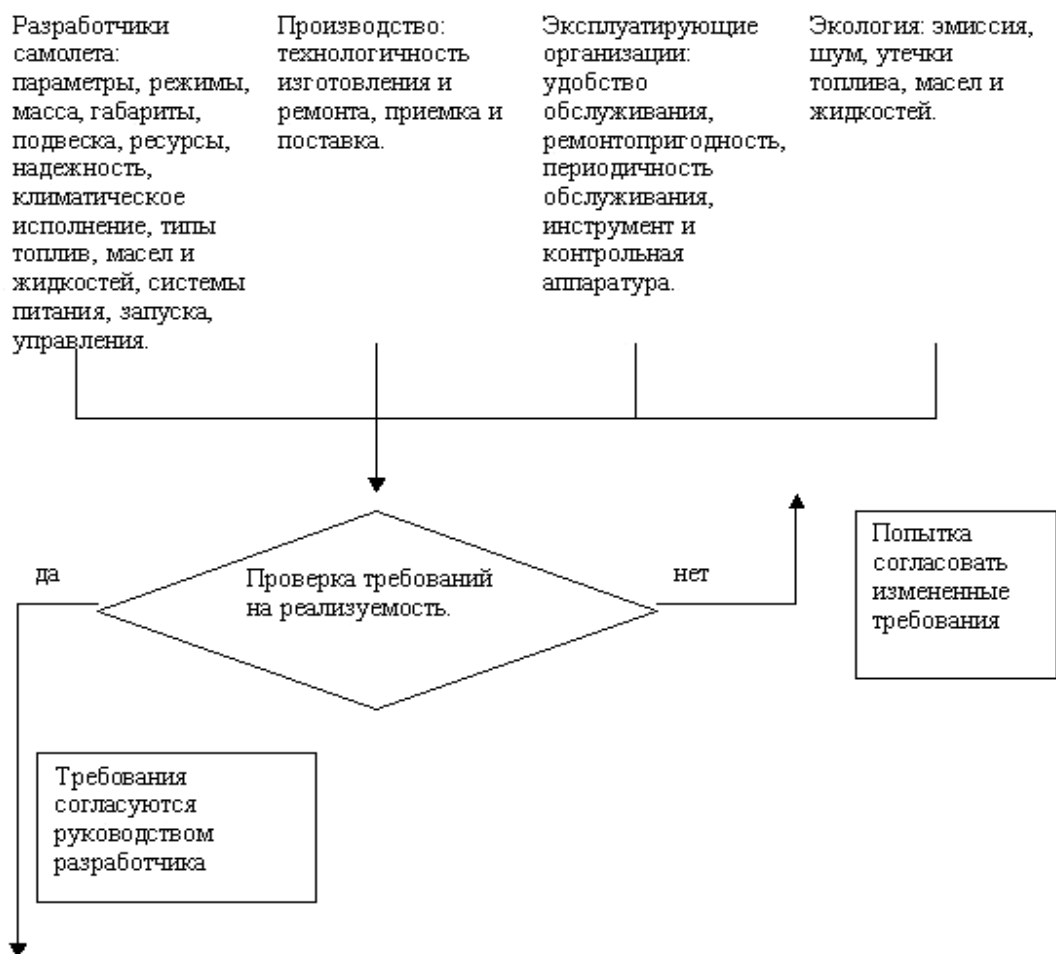


Рис. 2. Приблизительный алгоритм составления ТЗ

Чтобы реализовать такой прием разработки ТЗ, в базе данных должно существовать ТЗ, заимствованное в ОКБ по 3...5 типам АД и 2...3 типам ЭУ.

Индивидуальные задания

По каждой курсовой работе и курсовому проекту разрабатываются индивидуальные задания (ИЗ) для каждого студента (приложение 1) ИЗ₁, ИЗ₂, ИЗ₃ разрабатывается на основе ИД₀. Для разработки заданий на кафедре КиПДЛА данных ИД₀ не достаточно. Для формирования задания ИЗ₄ и ИЗ₅ необходимы ИД₁, для ИЗ₇ – ИД₃ и ИД₄.

По кафедре ПДЛА: для ИЗ₈ и ИЗ₉ – ИД₅. И наконец для формирования на кафедре АСЭУ для ИЗ₁₀ необходимо ИД₃.

ТЗ на узел (ТЗ_у)

При разработке конструкции модулей компрессора и турбины разрабатывается каждым студентом ТЗ_у – техническое задание на узел по такой же схеме, что и ТЗ на двигатель. В соответствии с индивидуальным заданием выбирается базовое ТЗ на узел и после анализа и согласования с руководителем создается ТЗ_у.

Библиографический список

1. Руднев В.Е., Володин В.В. и др. Формирование технических объектов на основе системного анализа. М.: Машиностроение, 1991., 320с.
2. Цой А.Ю., Проданов М.Е. методика использования на начальном этапе СККП хранилища данных по двигателям в среде РДМ-системы. Сборник трудов межрегиональной научно-методической конференции «Актуальные проблемы развития университетского технического образования в России». 2-3 февраля 2006г. Самара.
3. Кулагин В.В. Теория, расчёт и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник. – М.: Машиностроение, 2002. – 616 с.
4. Белоусов А.Н., Мусаткин Н.Ф., Радько В.М. Теория и расчёт авиационных лопаточных машин: Учебник. – Самара: ФГУП “Изд-во “Самарский Дом печати”, 2003.–336с.
5. Старцев Н.И. Конструкция и проектирование турбокомпрессора ГТД/ Учебное пособие. – Самара, 2006. – 216с.
6. Демин Ф.И., Проничев Н.Д., Шитарев И.Л. Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учебн. Пособие. – М.: Машиностроение, 2002. – 328 с.

**Приложение. Задание на сквозной групповой проект.
Индивидуальное задание на проектирование**

Пример задания на сквозной групповой курсовой проект

I. Спроектировать ТРДДФ АД-64 с $P_{Ф0} = 125$ кН с установкой двигателя в хвостовой части фюзеляжа. Образец ТРДДФ F100 фирмы PW.

Исходные данные: $H = 0$; $M_{п0} = 0$; $L = 1500$ км; $\tau = 2000$ ч., $\tau_{\Sigma} = 6000$ ч.

Ограничения:

1) $C_{уд Ф0} = 1,98$ кг/дан·ч; $C_{уд 0} = 0,67$ кг/дан·ч; $D_{вх} = 1180$ мм; $T_{Г^*} = 1670$ К; $\gamma_{АА} = 0,135$.

2) Двигатель должен быть выполнен строго по форме проточной части образца с максимальным приближением конструкции к оригиналу.

М 1:1. Ввести в базу данных до _____.

Остальные требования в ТЗ на двигатель и ТЗ на узлы.

II. Должны быть выполнены следующие этапы проектирования:

№	Этапы проектирования	Кафедра	Сем.
1	Термодинамический расчет на земле и высоте и формирование проточной части двигателя.	ТДЛА	7
2	Газодинамический расчет компрессора (турбины) с профилированием лопаток РК и повторным профилированием по результатам расчета на прочность и колебания.	ТДЛА	8
3	Расчет на прочность и колебания РК (лопатка, диск) с частотной отстройкой. Разработка эскизного проекта узла (компрессор, турбина) и сборочного чертежа рабочего колеса.	КиПДЛА	8
4	Проектирование двигателя: разработка конструкции всех узлов и двигателя в целом. Расчет критических частот ротора. Расчет по индивидуальным заданиям.	КиПДЛА	9,10
5	Разработка технологии сборки рабочего колеса, сборки узла	ПДЛА	9
6	Построение объемных моделей и оценка ресурса деталей группы А	КиПДЛА	10
7	Разработка технологии механической обработки детали на станках с ЧПУ	ПДЛА	10

III. По представлению заведующих кафедр руководителями проекта назначаются:

По термодинамическому проектированию	проф. Кулагин В.В.
По газодинамическому расчету компрессора и турбины	доц. Мусаткин Н.Ф. доц. Матвеев В.Н.
По расчету на прочность и колебания	проф. Ермаков А.И.
По разработке конструкций узлов и двигателя в целом	проф. Старцев Н.И.
По технологии сборки узла и двигателя	проф. Демин Ф.И.
По 3D моделированию	асс. Давыдов Д.П.
По оценке ресурса деталей группы А	доц. Виноградов А.С.
По технологии механической обработки	проф. Демин Ф.И.

Декан факультета ДЛА

Ермаков А.И.

Индивидуальное задание студенту _____

по курсовой работе по курсу «Теория, расчет и проектирование АД и ЭУ»

На базе двигателя F119 фирмы Пратт – Уитни выбрать параметры рабочего процесса и выполнить проектный термогазодинамический расчет ТРДДФ на взлетном режиме в САУ, на земле при $M_{п} = 0$, увеличив тягу прототипа на 15% и снизив удельный расход топлива на 2%. Модифицируя прототип, необходимо исходить из условия сохранения неизменными возможно большего количества деталей и узлов.

Индивидуальное задание студенту _____

по курсовому проекту по курсу «Теория, расчет и проектирование АД и ЭУ»

1. Выбор закона управления
2. Особенности совместной работы узлов проектируемого ГТД заданного типа и схемы
 - 2.1. Анализ совместной работы узлов проектируемого ГТД
 - 2.2. Особенности совместной работы узлов проектируемого ГТД
 - 2.3. Расчет линии совместной работы
 - 2.4. Определение запасов устойчивой работы компрессора
3. Расчет характеристик двигателя
 - 3.1. Составление методики расчета
 - 3.2. Расчет скоростных характеристик

Индивидуальное задание студенту _____

по курсовой работе по курсу «Теория и расчет лопаточных машин АД и ЭУ»

1. Проектный расчёт основных параметров турбокомпрессора ТРДД
 - 1.1. Расчёт диаметральных размеров и частоты вращения турбины ВД
 - 1.2. Расчёт и согласование с турбиной диаметральных размеров и числа ступеней компрессора ВД
 - 1.3. Определение предварительных размеров проточной камеры сгорания
 - 1.4. Расчёт и согласование с турбиной НД диаметральных размеров и частоты вращения вентилятора
 - 1.5. Расчёт диаметральных размеров турбины НД
 - 1.6. Построение меридионального сечения проточной части компрессора
2. Расчёт газодинамических, кинематических и геометрических параметров осевого многоступенчатого компрессора авиационного ГТД
 - 2.1. Выбор основных характеристик компрессора
 - 2.2. Газодинамический расчёт компрессора
 - 2.3. Расчёт кинематических параметров для первой, третьей и пятой ступеней компрессора ВД на среднем радиусе
 - 2.3.1 Параметры на входе в РК
 - 2.3.2 Параметры на выходе из РК и входе в НА
 - 2.4. Расчёт радиального распределения кинематических параметров 1-й ступени
 - 2.4.1 Параметры на входе в РК
 - 2.4.2 Параметры на выходе из РК и входе в СА
 - 2.5. Расчёт геометрических параметров лопаточного венца РК 1-й ступени

Индивидуальное задание студенту _____

по курсовой работе по курсу «Динамика и прочность АД и ЭУ»

1. Анализ условий работы лопатки. Обоснование выбора материалов.
2. Описание параметрической конечно-элементной (к.э.) модели лопатки. Описание модели и её возможности по изменению геометрии лопатки.
3. Проектирование лопатки из условия обеспечения ее прочности по несущей способности.
 - а) Обеспечить прочность по несущей способности при минимальной массе.
 - б) Расчет на прочность исходной конструкции лопатки.
 - в) Осуществляется проектировочный расчет лопатки на прочность: это последовательный многократный расчет лопатки на прочность с изменением профилей до достижения во всех сечениях условия: $K_b \geq 2.0$ $r_{вх} \geq 0.3$ мм, $r_{вых} \geq 0.3$ мм, $\delta_{max} \geq 2.0$ мм. При изменении профиля сечения сохраняется неизменной форма срединной линии и относительная толщина профиля.

Прикладывать: Данные расчета в виде таблицы, рисунков. Рассчитываются запасы прочности. Приводятся предельные напряжения по сечениям. Запасы прочности по несущей способности в каждом сечении. Выводы по результатам расчета о прочности и массе.

4. Проектирование лопатки из условия обеспечения ее прочности по местной прочности.

а) Расчет лопатки на изгиб от действия газовых сил. Ось лопатки – радиальная ось. Сравнительная оценка напряжений растяжения и изгиба. Выполняется расчет на прочность от действия газовых и центробежных нагрузок.

б) Проектировочный расчет лопатки на местную прочность: это многократный расчет лопатки на прочность при последовательном увеличении линейно изменяющихся по высоте лопатки выносов центров тяжести сечений до полной компенсации напряжений изгиба в опасном сечении. При расчетах необходимо прикладывать 60% величины газовой нагрузки.

в) Рассчитываются запасы по местной прочности лопатки. Нагрузка прикладывается в полном объеме; выводы о местной прочности лопатки. Коэффициент запаса $K_m \geq 1.8$.

Прикладывать: Данные расчета в виде таблицы, рисунков. Рассчитываются запасы прочности. Приводятся предельные напряжения по сечениям. Запасы прочности по местной способности в каждом сечении. Выводы по результатам расчета о прочности и массе.

5. Расчет рабочего колеса на колебания.

5.1. Резонансная диаграмма рабочего колеса.

а) Строится резонансная диаграмма в предположении, что диск является абсолютно жестким. При построении резонансной диаграммы учитывается влияние температур.

б) Дается анализ резонансной диаграммы.

5.2. Исследование влияния толщины профилей на собственную частоту первой изгибной формы колебаний лопатки:

а) Выполняется расчет при последовательном двукратном изменении толщины трех сечений лопатки: втулочного, среднего, периферийного. Одно изменение – увеличение толщины на 10%, другое – уменьшение на 10%;

б) Расчет выполняется в виде графиков изменения массы и собственной частоты колебаний лопатки от величины изменения толщины сечения в процентах;

в) Дается анализ и делается вывод по результатам исследования.

5.3. Частотная отстройка.

а) Выполняется смещение указанного консультантом резонанса при минимальном изменении массы лопатки. Технологические ограничения при выполнении отстройки:

$r_{вх} \geq 0.3$ мм; $r_{вых} \geq 0.3$ мм; $\delta_{max} \geq 1.5$ мм.

б) Строится новая резонансная диаграмма.

6. Перепрофилирование лопатки.

7. Окончательный расчет на прочность лопатки:

а) Необходимо обеспечить $K_b \geq 1.6$, $K_m \geq 1.7$, $r_{вх} \geq 0.2$ мм; $r_{вых} \geq 0.2$ мм; $\delta_{max} \geq 1.2$ мм.

б) Делается вывод по результатам расчета.

8. Расчет на прочность хвостовика лопатки

а) Рассчитать нагрузку на хвостовик

б) Граничные условия, проектировочный расчет из условия $K_m \geq 2$

Индивидуальное задание студенту _____

по курсовому проекту по курсу «Вибрация и прочность АД и ЭУ»

1. Расчет исходного варианта диска на прочность: вычерчивается продольный разрез, проводится расчет диска. Строятся графики радиальных, окружных эквивалентных напряжений по радиусу диска. Рассчитываются запасы в заданных сечениях.

2. Проведение расчетных исследований по влиянию геометрических параметров диска на его напряженное состояние и массу. Каждое исследование при двукратном измерении параметров: первое – увеличение на 15%, второе – уменьшение на 15%. Результаты расчетов приводятся в виде графиков.

Исследование влияния на напряженное состояние диска радиуса центрального отверстия, толщин и т.д. (назначается консультантом).

3. Анализ результатов исследований.

4. Рекомендации по снижению массы диска и обеспечению прочности.

5. Проектировочный расчет диска. Осуществляется многократный расчет диска для обеспечения $K_m > 1.6$ и минимальной массы. Оптимизация - на основе исследования. Для окончательного варианта расчета – рисунок распределения напряжений. Строятся графики изменения напряжений и коэффициентов запаса по радиусу диска.

6. Выводы по проектированию диска.

Индивидуальное задание студенту _____

по курсовому проекту по курсу «Компьютерное проектирование основных узлов АД и ЭУ»

Спроектировать АД в соответствии с заданием на сквозной групповой курсовой проект.

Часть I

1. Спроектировать ТНД, опору турбины и форсажную камеру двигателя.

2. Термодинамическое проектирование.

- результаты расчета на взлетном и крейсерском режимах в последней итерации;
- схема проточной части с размерами и параметрами в контрольных сечениях (к/р ТДЛА и последующие расчеты);
- конструктивная схема двигателя и разделение на модули. Обосновать выбор формы проточной части от входа до среза сопла.

3. Проектирование ТНД.

- таблица параметров за каждым лопаточным венцом;
- обосновать форму проточной части (ТРЛМ);
- отработать конструкцию исходного варианта для введения в базу;
- обосновать отсутствие бандажной полки на 1 РК;
- выполнить расчет охлаждения лопаток по прототипу;
- выполнить инженерный расчет осевых и радиальных зазоров (номинальные и предельные отклонения);
- выполнить расчет допустимых дисбалансов и размещение грузов;
- выполнить инженерный расчет осевых и радиальных нагрузок в опорах, выбрать все подшипники ротора и рассчитать стяжное устройство;
- выполнить альтернативный вариант ТНД с облегчением конструкции на 10% и повышением КПД. Подтвердить это весовым анализом и расчетом диска на прочность в альтернативном варианте.

4. Проектирование опоры турбины.

- обосновать конструктивную схему опоры с демпфером и разделить ее на сборочные единицы;
- определить прокачку масла через опоры с учетом охлаждения, спроектировать подвод и слив масла, суфлирование и наддув уплотнений;
- спроектировать систему теплозащиты маслополости и систему подвода воздуха на охлаждение;
- спроектировать уплотнения и демпферы.

5. Проектирование ФК.

- провести газодинамический расчет по Щукину с учетом двухконтурности и обосновать число и расположение стабилизаторов у двигателя образца и число контуров топливоподдачи;

- обосновать расчетом на прочность конструкцию подвески топливных коллекторов и стабилизаторов.

6. Расчеты на прочность.

- расчеты на прочность рабочей лопатки, выбор и расчет хвостовика;

- построение и анализ резонансной диаграммы;

- расчет на прочность диска;

- критическая частота вращения ротора;

- расчет непробиваемости корпуса.

7. Графическая часть (М1:1).

- сборочный чертеж двигателя со спецификацией и ТТ (свои узлы и ТТ);

- сборочный чертеж ТНД со спецификацией и ТТ;

- сборочный чертеж РК (или всего ротора);

- рабочие чертежи: лопатки, диска и детали.

Часть II.

1. Устранение замечаний комиссии ОКБ и выполнение незавершенных работ по заданию части I.

2. Инженерный расчет осевых и радиальных сил и выбор подшипника.

3. Расчет на прочность детали МКЭ – кольца нижней опоры направляющего аппарата первой ступени компрессора высокого давления ТРДДФ АД-65. Требования к точности изготовления.

4. Расчет ресурса лопатки компрессора проектируемого двигателя.

5. Принципиальная схема сборки узла с нумерацией узлов и деталей на конструктивной схеме. Описание порядка сборки.

6. Принципиальная схема сборки двигателя с нумерацией модулей и деталей на конструктивной схеме двигателя. Описание порядка сборки. (см. Приложение б).

7. Специальная часть проекта.

Индивидуальное задание студенту _____

по курсовой работе по курсу «Технология производства АД, ЭУ и ее компьютерная поддержка»

1. Начальный анализ детали.

1.1 Составление плоского и объемного чертежей обрабатываемой детали.

1.2 Технологический анализ чертежа детали.

1.2.1 Назначение детали.

1.2.2 Описание поверхностей детали.

1.2.3 Характеристика взаимосвязи поверхностей детали (размеров).

1.3 Характеристика материала данной детали.

1.4 Анализ технологичности детали.

1.5 Заключение.

2. Проектирование технологического процесса изготовления детали.

2.1 Определение числа ступеней обработки поверхностей.

2.1.1 Выбор типа производства.

2.1.2 Выбор вида исходной заготовки.

2.2 Разработка маршрутной технологии.

3. Расчёт операционных размеров технологического процесса.

3.1 Расчёт линейных размеров.

3.2 Расчёт диаметального размера нормативным способом.

- 3.3 Обоснование и назначение технических требований на операцию.
4. Расчёт режимов резания одной из выбранных операций.
- 4.1 Расчёт режима резания.
- 4.2 Разработка графической технологии на данную операцию.
5. Определение поведения заготовки в технологической системе.
- 5.1 Расчёт поведения заготовки методом конечных элементов.
- 5.2 Выводы и предложения.

Исходные данные:

1. Чертеж двигателя _____.
2. Годовая программа выпуска: 50 моторокомплектов в год.

***Индивидуальное задание студенту _____
по курсовому проекту по курсу «Технология производства АД, ЭУ и ее компьютерная
поддержка»***

1. Анализ конструкции ротора.
2. Проектирование конструктивно-технологической схемы сборки ротора.
3. Разработка 2-3 графических технологий на сборку.
 - разработка графической технологии затяжки болтового соединения.
 - разработка графической технологии точения периферии лопаток ротора.
4. Разработка специального приспособления для сборки узла.
 - разработка приспособления для сборки ротора.
5. Разработка контрольно-измерительного устройства для сборки узла.
 - разработка приспособления для контроля радиальных биений.
6. Расчёт на прочность в системе ANSYS.

Исходные данные:

1. Чертеж двигателя _____.
2. Серийность: 50 моторокомплектов в год.