

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ И РАЗВИТИЕ УГАТУ

И. А. КРИВОШЕЕВ**РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
ИСПЫТАНИЙ И ДОВОДКИ
АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВЫХ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ****(Основные этапы и результаты работы
кафедры авиационных двигателей УГАТУ)****Кривошеев
Игорь Александрович**

профессор кафедры авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1976). Д-р техн. наук по тепловым двигателям летательных аппаратов (УГАТУ, 2000). Исследования в области автоматизированного проектирования авиационных двигателей.

Тел: (3472) 23 88 88 E-mail: krivoch@mail.rb.ru

Формирование научной школы по автоматизации проектирования авиационных двигателей началось с 1983 года, когда кафедры «Конструкция авиационных двигателей» и «Проектирование и испытание авиационных двигателей» объединились в новую кафедру «Авиационные двигатели», при этом опыт подготовки кадров и научно-исследовательской работы двух кафедр послужил серьезной базой. Вновь образованную кафедру возглавил доктор технических наук, профессор А. М. Ахмедзянов.

Интенсивному и успешному развитию как учебного процесса, так и научно-исследовательской работы в этот период способствовали:

- организация в 1987 году на предприятии НПП «Мотор» филиала кафедры, давшего импульс к использованию богатого опыта проектно-конструкторской деятельности предприятия в учебном процессе кафедры (организация цикла лекций по специальностям, доступ студентов к уникальному лабораторному оборудованию);
- развитие загородной лаборатории по испытанию полноразмерных ГТД (типа ТА-6А, P25-300);
- разработка новых технологий организации учебного процесса: информационные технологии, многоступенчатая подготовка.

Как ответ на требование времени в дополнение к традиционной специальности «Авиационные двигатели и энергетические установки», базой для которой служат проводимые научные исследования, с 1996 года на кафедре ведется подготовка специалистов по технической эксплу-

атации ЛА и двигателей, организован филиал кафедры при авиакомпании «Башкирские авиалинии».

В настоящее время кафедра АД — это учебно-научный комплекс, обеспечивающий подготовку инженеров по специальностям: 1302 — «Авиационные двигатели и энергетические установки», 1303 — «Эксплуатация авиационной техники», а также бакалавров по направлениям «Авиационные двигатели и энергетические установки» и 1005 — «Теплоэнергетика».

Кафедра сегодня выполняет широкий спектр научных и научно-методических исследований, направленных на повышение эффективности учебного процесса, поиск новых путей образовательной деятельности [2–9], на решение перспективных задач авиадвигателестроения.

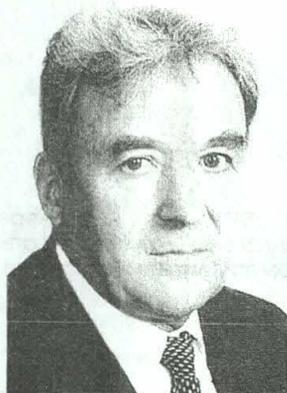
Итогом всей педагогической и научной деятельности кафедры можно назвать фундаментальный учебник «**Проектирование авиационных ГТД**», изданный в 2000 году [1] и высоко оцененный генеральными конструкторами, директорами заводов, ведущими учеными ЦИАМ и авиационных вузов России, Украины и за рубежом (запросы уже поступили из Китая, Израиля, Румынии).

1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Одним из ведущих научных направлений кафедры АД в настоящее время является разработка новых информационных технологий (в рамках концепции CALS) и их внедрение в процесс проектирования и моделирования авиационных двигателей.

На январь 2001 года это направление официально было заявлено как научная школа «**Математическое моделирование термогазодинамических процессов авиационных двигателей**». Основателем и руководителем этой школы [1, 10–29, 53] был доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки БАССР, заслуженный деятель науки и техники России, лауреат Государственной премии РБ в области науки и техники заведующий кафедрой АД с 1983 по февраль 2001 г. (до даты своей безвременной кончины)

Альберт Мухаметович Ахмедзянов.²



По данному направлению силами сотрудников НИЛ САПР-Д, преподавателей, докторантов, аспирантов, а также ряда студентов кафедры ведется работа по созданию компьютерной технологии проектирования, конструирования авиадвигателей и их узлов. По отдельным деталям (лопаткам компрессоров и турбин) удалось довести цепочку автоматизации до технологической подготовки и изготовления деталей и оснастки.

К настоящему времени разработаны и внедрены в ряде моторных ОКБ подсистемы САПР:

- АСПАД (интегрированная САПР для работы специалистов ОКБ в режиме коллективного пользования по проектированию двигателей и его узлов с информационным обменом через банки данных);

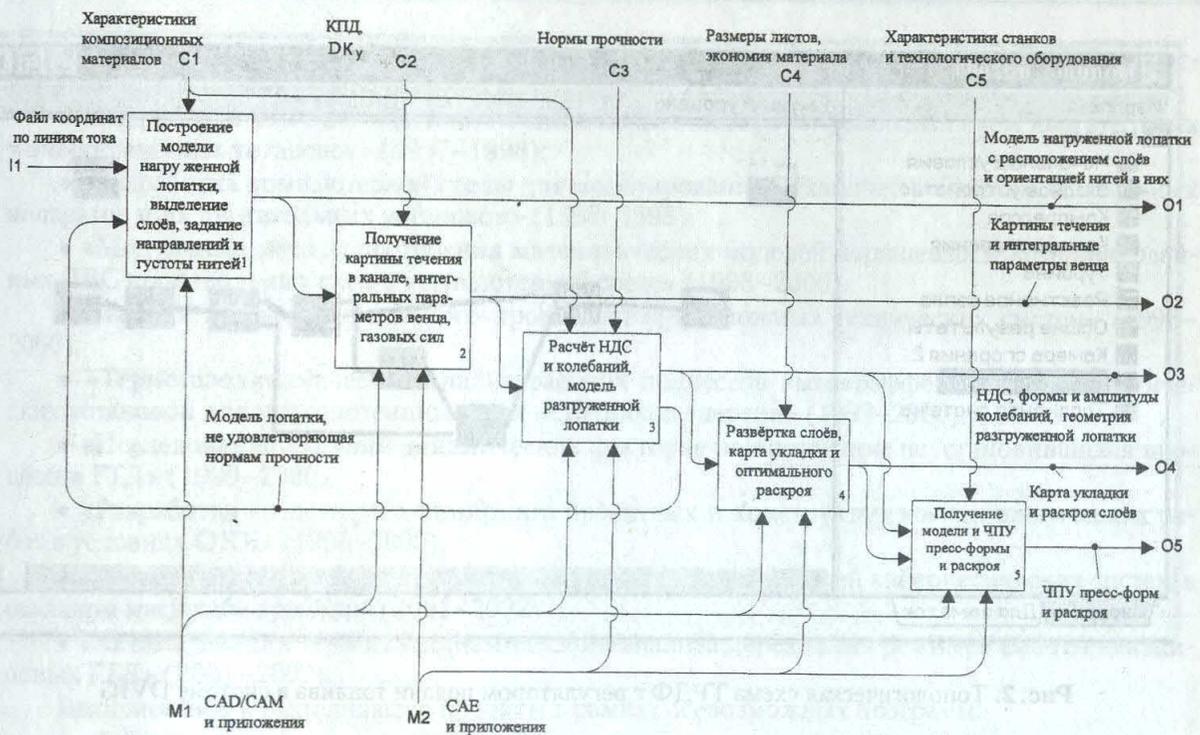
- ПАРАД (подсистема структурного и параметрического синтеза, анализа и оптимизации на уровне двигателя); интегрированная САПР «Лопатка» (охватывающая этапы проектирования, конструирования, технологической подготовки и изготовления лопаток компрессоров, турбин и близких к ним деталей авиадвигателей) — версия в среде отечественной системы Альфа (УГАТУ) и в среде CAD/CAM Cimatron и Unigraphics с использованием CAD-системы Solid-Works и CAE-системы ANSYS (рис. 1);

- подсистемы САПР «Турбина» и Компрессор» (обеспечивающие проектирование узла в объеме эскизного проекта).

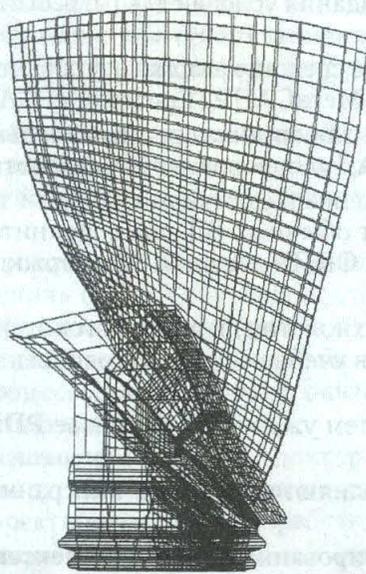
В стадии развития и усовершенствования находятся версии подсистемы DVIG (для структурного и параметрического синтеза, термогазодинамического анализа и оптимизации практически любых двигателей: ГТД, РДТТ, ТРД, ДВС, ДИЦ, комбинированных ДУ и наземных ГТУ, включая парогазовые и т.д.), подсистемы моделирования лопаточных машин (KOMPR, TURB), камер сгорания, механизмов и масляных систем (рис. 2).

¹<http://www.ad.ugatu.ac.ru/ad/progs.htm>

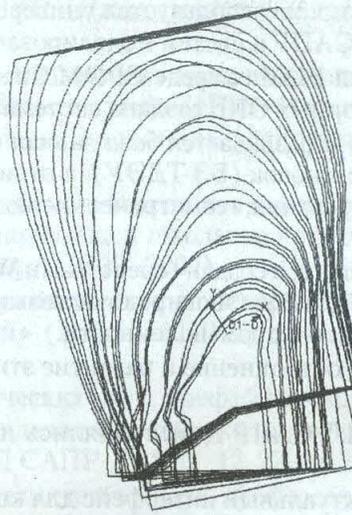
²<http://www.ad.ugatu.ac.ru/ad/frame.htm>



а



б



в

Рис. 1. Функциональная IDEF0-диаграмма разработки композиционной лопатки вентилятора (а), ее модель (б), карта развёртки и укладки слоев в пресс-форму (в)

Развивается направление разработки средств и технологии автоматизированного создания САПР (Framework, CASE- и PDM-технологии в рамках технологии CALS).

По технологии SADT с использованием методик IDEF (пакета Design/IDEF) ведется анализ и моделирование процесса разработки ГТД (традиционного, учитывающего особенности авиационных ГТД VI поколения и новая организация процесса). На этой основе разрабатыва-

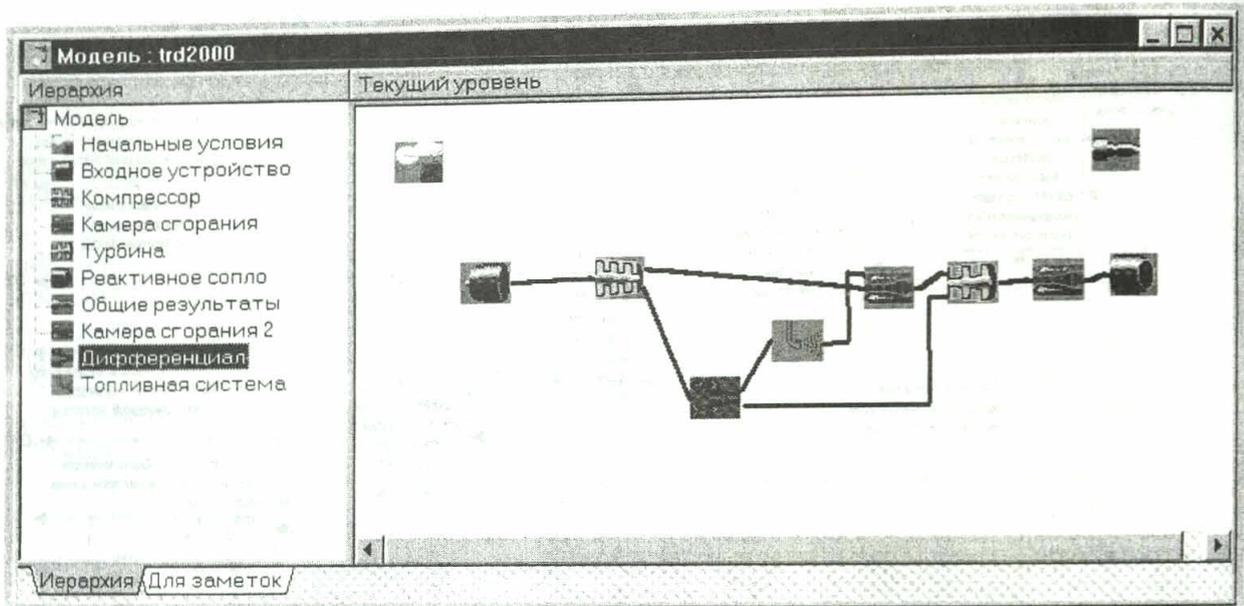


Рис. 2. Топологическая схема ТРДФ с регулятором подачи топлива в системе DVIG

ются средства реинжиниринга процесса с целью создания условий для разработки авиационных ГТД VI поколения.

Создано и широко используется универсальное средство автоматизированного построения и модификации САПР и систем моделирования — МетаСАПР (Framework) САМСТО.

В технологии PDM (в среде CPDM Cimatron) для организации параллельного проектирования в авиамоторных ОКБ создана система СПРАД (сопровождение разработки АД).

Разработана и развивается база знаний с удаленным доступом в области тепловых двигателей и энергоустановок (БЗ ТДЭУ); в отличие от обычных БД, она дополнительно включает средства моделирования, геометрические модели и СППР — систему поддержки принятия проектных решений.

Силами студентов создан (средствами Web-технологии) и развивается электронный атлас авиационных ГТД и ЭУ. Он широко используется в учебном процессе, одобрен и предполагается к использованию в промышленности.

Дальнейшее объединение и развитие этих систем уже начато на основе PDM и Workflow в среде SmartTeam.

На базе НИЛ САПР-Д выполнялись и выполняются проекты, выигранные в конкурсах грантов:

- «Интеллектуальный интерфейс для конструирования гибких комплексов автоматизированного проектирования сложных технических систем» (1994–1995);
- «Разработка гибкой интеллектуальной системы для моделирования робототехнических комплексов и технологических процессов» (1994–1995);
- «Разработка инструментальных средств анализа и синтеза математических моделей сложных технических объектов» (1994–1995);
- «Разработка научных основ и методов создания интегрированных САПР в машиностроении» (1996–1997);
- «Компьютерная среда для моделирования технических объектов переменной структуры» (1996–1997);
- «Интеллектуальный комплекс для моделирования робототехнических комплексов и технологических процессов» (1996–1997);
- «Разработка научных основ и методов создания интегрированных САПР в машиностроении» (1996–1997);

- «Разработка теоретических основ оценки и отладки параметров серийных ТРДФ при испытании на самолетах» (1996–1997);
- «Разработка автоматизированной системы для выбора оптимальных схем двигательных и энергетических установок» (1997–1998);
- «Разработка компьютерной среды для моделирования механических систем летательных аппаратов и их двигательных установок» (1997–1998);
- «Модульные методы построения математических моделей поршневых и комбинированных ДВС произвольных схем в компьютерной среде» (1998–2000);
- «Теория автоматизированного проектирования сложных технических систем» (1998–2000);
- «Термогазодинамический анализ рабочих процессов высокоэффективных энергетических установок для низкопотенциальных источников энергии» (1999–2000);
- «Исследование влияния динамических факторов на протекание неустановившихся процессов ГТД» (1999–2000);
- «Разработка средств реинжиниринга проектных и конструкторско-технологических работ в условиях ОКБ» (1998–2000);
- «Теоретические аспекты построения математических моделей кибернетических систем в реальном масштабе времени» (2001–2002);
- «Автоматизация термогазодинамического анализа переходных режимов работы авиационных ГТД» (2001–2002).

Выполнялись и выполняются проекты в рамках всевозможных программ:

- «Автоматизация системной разработки сложных изделий с использованием элементов искусственного интеллекта» (НТП «Научные исследования высшей школы в области производственных технологий», 2000);
- «Информационное и организационное обеспечение проведения студенческих олимпиад, конкурсов, конференций в среде Internet» (МКП «Наукоемкие технологии образования», 1998–2000);
- «Компоненты и методы системной разработки сложных изделий с использованием элементов искусственного интеллекта в рамках CALS-технологий» (НПТ «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники», подпрограмма «Качество», 2000–2002);
- «САЕ-технологии в создании научно-технического задела для авиационных двигателей шестого поколения» (НТП «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники», подпрограмма «Транспорт», 2000–2002).

В процессе создания и работы школы «**Математическое моделирование термогазодинамических процессов авиационных двигателей**» (НИЛ САПР-Д) сформировался зрелый коллектив научных сотрудников.

Хайдар Сагитович Гумеров, доктор технических наук, профессор кафедры АД, старейший научный сотрудник, можно смело его назвать идеологом этой школы, ученый, который вносит мудрые корректировки во все разработки НИЛ САПР-Д [1, 11, 12, 22, 25, 30, 31, 51, 53].

Игорь Александрович Кривошеев, доктор технических наук, профессор кафедры АД, заведующий лабораторией САПР-Д, занимающийся проблемами САПР с 1986 года. В 2000 г. по результатам работы в этом направлении им была защищена докторская диссертация «Автоматизация системного проектирования авиационных двигателей», которая по сути подытожила многолетнюю деятельность НИЛ САПР-Д в этом направлении [1, 5, 20, 29, 32–45, 53].

Дмитрий Григорьевич Кожин, кандидат технических наук, докторант кафедры АД, который занимается исследованиями в области теории моделирования систем, функционального моделирования технических объектов, в частности авиационных двигателей и энергетических установок; разработкой CASE-технологии моделирования различных технических объектов. В частности он является основным автором МетаСАПР (Framework) — «оболочки» САМСТО [14–16, 26, 27, 46–49].

Иван Михайлович Горюнов, кандидат технических наук, доцент кафедры АД, разработал автоматизированную систему решения траекторной задачи — выбора размерности авиационного ГТД. Его можно назвать одним из создателей и разработчиков подсистем DVIG и ПГУ. Его научные интересы связаны с исследованием и математическим моделированием авиацион-

ных ГТД и теплоэнергетических установок. В научно-исследовательской лаборатории САПР-Д ведет направление, связанное с разработкой новой версии DVIGw (для Windows) и системы моделирования теплоэнергетических установок [28, 30, 31, 53, 65, 71, 73].

Вячеслав Леонидович Христолюбов, кандидат технических наук, доцент кафедры АД, его основным научным направлением является создание баз знаний и баз данных в области авиационных двигателей, разработка методик их применения в процессе проектирования авиационных двигателей и энергетических установок. В 1998 году им была написана диссертация «Проектирование авиационных двигателей в среде базы знаний» [5, 15, 39, 53].

Дмитрий Альбертович Ахмедзянов, кандидат технических наук, доцент кафедры АД, занимается разработкой методики математического моделирования термогазодинамических процессов в авиационных ГТД различных схем на переходных режимах его работы с учетом влияния различных динамических факторов. Им разработана универсальная компьютерная среда DVIGp для моделирования термогазодинамических процессов в ГТД различных схем на нестационарных режимах [20, 34, 36, 37, 50–56].

Валерий Федорович Харитонов, кандидат технических наук, докторант кафедры АД, разработал систему газодинамического анализа основных камер сгорания ВРД, программу расчета камер сжигания жидких промышленных отходов. При его непосредственном участии разработаны модули формирования облика, определения основных параметров газодинамического и теплового расчета основной и форсажной камер сгорания ВРД для системы АСПАД-88. В настоящее время им ведутся работы по моделированию газодинамических процессов в камере сгорания ВРД с использованием программных комплексов конечно-элементного анализа [49, 57–64].

Владимир Петрович Алаторцев, кандидат технических наук, доцент кафедры АД, является экспертом по отечественным и зарубежным системам моделирования ГТД (DVIG, Gas-Turb, JavaGTS), по внедрению CALS-технологий в проектирование АД и в подготовку специалистов [2, 11, 12, 30, 31, 65].

Флорида Амировна Дикова, кандидат технических наук, доцент кафедры АД, являлась одним из основных разработчиков САПР-Д, в частности системы АСПАД-88. В настоящее время занимается проблемами моделирования облика компрессора ГТД и ГТЭУ. Ею разработана система газодинамического анализа осевых, диагональных и центробежных компрессоров [66, 67].

Виктор Иванович Ижикеев, кандидат технических наук, ст. науч. сотр. НИЛ САПР-Д, один из основных разработчиков ПАРАД (подсистемы структурного и параметрического синтеза, анализа и оптимизации на уровне двигателя).

Кроме того, серьезный вклад в развитие школы внесли кандидаты технических наук, доценты **Ильдар Хайдарович Бадамшин** и **Камиль Фаритович Галиуллин**, сегодня занятые в становлении новой специальности «Техническая эксплуатация самолетов и двигателей», а также работающие в других организациях, защитившие на кафедре кандидатские диссертации аспиранты и соискатели, с которыми кафедра продолжает поддерживать творческие контакты: Т.Р. Яруллин, Н.А. Матковская, А.В. Медведев, Л.Х. Юлдыбаев.

2. ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В 1997 года кафедра АД выступила инициатором проведения научно-исследовательских работ по этой перспективной проблеме [21, 25, 28, 38, 39, 67–71].

Преподавателями, аспирантами и студентами по данной проблеме:

- сформулированы теоретические предпосылки использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии;
- оптимизированы энергетические установки, использующие низкотемпературные и возобновляемые источники энергии;
- разработана система термогазодинамического анализа рабочих циклов в компьютерной среде;

• разработана информационная база знаний в области технологий и систем использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии.³

Работы велись и ведутся:

• по межфакультетскому проекту «Развитие Учебно-научного центра «Высокоэффективные технологии и системы использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии», выполняемому в рамках Федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 1997–2000 годы»;

• по проекту «Использование маршевых авиационных ГТД (P13-300, P95Ш) в качестве энергетических установок теплоэлектростанций» (программа «Конверсия и высокие технологии. 1997–2000 годы»);

По данной проблеме на кафедре были выиграны гранты:

• «Разработка системы математического моделирования рабочих процессов энергоустановок произвольных схем с использованием возобновляемых и низкотемпературных источников энергии» (1998–2000);

• «Пути совершенствования экономичности энергетических установок с учетом циклов изменения нагрузки» (1998–2000).

В 1999 году А. М. Ахмедзянову, А. А. Рыжову, А. А. Салихову была присуждена Государственная премия Республики Башкортостан за комплекс работ «Основы теории нетрадиционных преобразователей энергии и внедрение их в экономику Республики Башкортостан».

В рамках данного направления за четыре года получен значительный информационный материал по нетрадиционным преобразователям энергии. Более четко определились потребности региона в специальностях энергетического профиля. УГАТУ проделал значительную работу по целевой подготовке кадров по договорам с «Башкирэнерго». Усилия ОАО «Башкирэнерго» (при активном участии УГАТУ) по развитию нетрадиционной энергетики в таких технических решениях, как использование газотурбинных агрегатов для выработки электрической энергии, создание мини-ГЭС, работы по утилизации рассеянного низкотемпературного тепла, подкреплены научно-исследовательской работой и готовящимися кадрами высокой квалификации.

Ведется подготовка специалистов для предприятий энергетики региона по специальности 1302 со специализацией «Газотурбинные энергетические установки». Все выпускники специализации распределены по окончании обучения на предприятия «Башкирэнерго».

3. ПРОБЛЕМЫ НАДЕЖНОСТИ, РЕСУРСА И ИСПЫТАНИЙ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

В середине 60-х годов сотрудники кафедры приступили к разработке крупной научно-исследовательской темы, связанной с повышением надежности, ресурса и качества выпускаемых двигателей. Проводились статистические и аналитические исследования влияния малых отклонений в геометрии изготавливаемых деталей двигателя на характеристики двигателей и узлов, решались проблемы по отладке параметров в процессе статочных и контрольных испытаний, а также задача по разработке программ испытаний двигателей на надежность и ресурс. Специально для проведения таких исследований был создан на загородной площадке «Аэропорт» уникальный экспериментально-исследовательский комплекс со стендами для натуральных испытаний авиационных ГТД.

В настоящее время данной проблемой на кафедре активно занимается

Анас Саидович Гишваров, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой АД с апреля 2001 года. В 1993 году им была защищена докторская диссертация, посвященная созданию теоретических основ ускоренных испытаний технических систем на надежность и ресурс [74–95].

Актуальность проводимых исследований обусловлена необходимостью:

• сокращения длительности испытаний, объема изделий, а также материальных затрат на проведение испытаний в процессе как опытного, так и серийного производства;

• уменьшения длительности испытаний по определению проделанного ресурса изделия и характеристик его рассеяния (определение фактических запасов по ресурсу);

• уменьшения длительности сравнительных испытаний на этапе научно-исследовательских работ по выбору перспективных схем и конструктивных решений при создании новых изделий;

³<http://www.ad.ugatu.ac.ru/knbase/knbase.htm>

- сокращения издержек от морального старения изделий;
- повышения надежности изделий за счет сокращения цикла доводки;
- уменьшения загрязнения окружающей среды выбросами NOx, CO и др. (при испытании авиационных ГТД).

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, проводимых под руководством А.С.Гишварова, внедрены в процесс создания и доводки широкого круга изделий: авиационных турбогенераторов ТГ60/2СМ и ТГ17; турбонасосных установок ТНУА, ТНУ86-3, ТНУ-86А; авиационных вспомогательных двигателей ТА-12 и ТА-12А; авиационных вспомогательных двигателей ТА-8 и ТА-8В; авиационного вспомогательного двигателя ТА-6А-1; авиационного двигателя ТА-6А, а также авиационных электроприводных насосов агрегатов постоянного тока типа ЭЦН (ЭЦН321М, ЭЦНГР-5А и др.); центробежных насосов типа ДЦН (ДЦН-68, ДЦН-96); гидротурбоприводных насосов типа ГТН (ГТН-6, ГТН-7-3, ГТН-10, ГТН-11); авиационных гидролопаточных приводов-генераторов типа РГЛ (ПГЛ-40, ПГЛ-40-2, ПГЛ-80); струйных насосов типа СН (СН-3Ф, СН-5 и др.); буровых центробежных насосов типа УНБ и буровых насосных агрегатов ЦНА всех классов.

Непосредственное и наиболее плодотворное участие в проведении исследований по данной проблеме принимали на разных этапах А.М.Ахмедзянов, С.А.Тимашев, В.Е.Либерман, Р.А.Амиров, И.Х.Бадамшин, Р.Г.Сарваретдинов, О.В.Иванов, Р.З.Салихов, А.М.Гантман, Р.Т.Идрисов, В.Б.Гуммель, А.А.Скачков, В.В.Белкин и др.

Результаты исследований внедрены в АКБ «Кристалл» (Москва), НПО «Звезда» (Томилино, Московской обл.), ПО «ФЭД» (Харьков), ПО «ДАЗ» (Днепропетровск), ГУП УАП «Гидравлика» (Уфа), ОКБ «Гидромеханика» (Уфа), ФГУП НПП «Мотор» (Уфа) и др.

Дополнительно информация по тематике данного направления приведена в «Вестнике УГАТУ» № 3 за 2000 г.

4. ОТРАСЛЕВАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ГИБКИХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ (НИЛ ГТ)

НИЛ ГТ была создана в 1994 году, базовым предприятием было определено Уфимское агрегатное объединение «Гидравлика» (ныне ГУУАП «Гидравлика»).

НИЛ ГТ специализировалось в области исследований статистической прочности, устойчивости, мало- и многоцикловой прочности, виброустойчивости и вибропрочности гибких металлических трубопроводов (ГМТ) — гибких металлорукавов (ГМР) и сильфонных компенсаторов, а также фторопластовых рукавов. Одной из основных задач лаборатории также была разработка теоретических основ для создания новых технологий изготовления ГМТ и фторопластовых рукавов, позволяющих расширить их эксплуатационный диапазон, повысить ресурс и надежность [96–101].

За годы деятельности лаборатории были созданы новые методы расчета с применением современных методов вычислений, разработанных алгоритмов и программных продуктов. Разработаны и внедрены новые конструкции и технологии изготовления ГМТ, получено более 120 авторских свидетельств и патентов на устройство, способы изготовления, прообразцы.

Разработки НИЛ ГТ внедрены на 13 крупных предприятиях России, в их числе ГУП УАП «Гидравлика», КБ «Химавтоматика», ОКБ им. Туполева и др.

Лаборатория принимала активное участие в национальной космической программе «Энергия–Буран».

В настоящее время НИЛ ГТ принимает участие в новых космических разработках — «Ангара», «Протон-М», — а также совместно с ИМАШ РАН в международной конверсионной программе. Основными заказчиками НИЛ ГТ являются КБ «Химавтоматика» (Воронеж), ГУП УАП «Гидравлика» (Уфа), ОАО «КамАЗ», ОАО «ВАЗ» и пр.

Кадровый потенциал НИЛ ГТ:

Валерий Каюмович Итбаев, доктор технических наук, профессор, заслуженный машиностроитель РБ, лауреат премии Правительства России в области науки и техники;

Анатолий Михайлович Брюханов, кандидат технических наук, заведующий лабораторией ГТ, заслуженный изобретатель РБ и России, лауреат премии Правительства России в области науки и техники;

Лев Николаевич Гархов, кандидат технических наук, доцент кафедры АД.

5. РАБОТА АСПИРАНТУРЫ И ДОКТОРАНТУРЫ НА КАФЕДРЕ

На кафедре эффективно, с 1965 года, работает аспирантура. Тематика диссертационных работ, как правило, вписывается в круг разрабатываемых проблем. Эффективность аспирантуры достаточно высока, что обеспечивается четко сформулированной целью конкретного исследования; научными задачами, решение которых необходимо для достижения поставленной цели; систематической работой научных руководителей с аспирантами. В качестве научных руководителей при подготовке аспирантов специальности 05.07.05 задействованы наиболее квалифицированные преподаватели кафедры — Х.С.Гумеров, А.С.Гишваров, И.А.Кривошеев, В.К.Итбаев. Особый вклад в подготовку научных кадров внес профессор, зав. кафедрой А.М.Ахмедзянов. Объем статьи не позволяет перечислить все фамилии сотрудников, защитивших диссертации на соискание кандидатских и докторских диссертаций. Данную информацию можно найти на сайте кафедры АД — кандидатские и докторские защиты.⁴

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные за истекший период исследования позволили решить актуальную проблему разработки новой технологии проектирования и доводки авиационных двигателей VI поколения на основе CALS-технологии.

Предложены методы и средства для автоматизации системного проектирования и доводки двигателей в интеграции с моделями СУ и самолета. Это позволяет организовать работу в ОКБ и на заводах по накоплению знаний в виде БЗ (баз знаний), классификаторов и библиотек фрагментов моделей функциональных, конструкторских и технологических элементов, баз статистической информации (БДСТ) с предложенной структурой и выделенными параметрами, инвариантными к проектно-доводочной ситуации. Использование этих компонентов в разрабатываемой на кафедре компьютерной среде (на основе PDM, Workflow, решателя и СППР, связанных с CAD/CAM/CAE) позволяет повысить качество создаваемых двигателей и эффективность процесса их разработки (рис. 3).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ К НАСТОЯЩЕМУ ВРЕМЕНИ

1. Построены функциональные, информационные и динамические модели процесса проектирования двигателей. Выделены основные компоненты среды для комплексной автоматизации системного проектирования и доводки двигателей VI поколения. Модели в формате Design/IDEF используются в ряде ОКБ и заводов.

2. Предложена новая информационная технология проектирования двигателя, в соответствии с которой единая многоуровневая многоаспектная модель двигателя в виде ОНГ (из взаимосвязанных деревьев ФЭ, КЭ

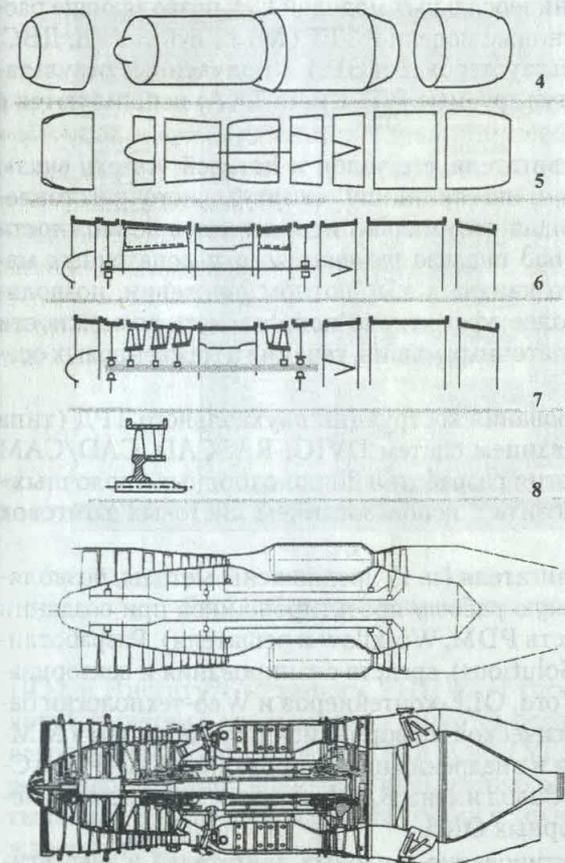


Рис. 3. Геометрическая интерпретация конструкторской модели двигателя в зависимости от числа уровней в дереве проекта (в PDM)

и ТЭ) динамически формируется в процессе проектирования на основе библиотек фрагментов моделей структурных элементов (СЭ)-объектов с помощью универсальной управляющей

⁴<http://www.ad.ugatu.ac.ru/ad/geninfo.htm>

программы-решателя, выявленной последовательности и универсального алгоритма принятия решений, разработанной системы поддержки принятия решений, накапливаемой в предложенном компактном виде (БДСТ) априорной информации по выполненным проектам.

3. Обоснованы методы, позволяющие универсальным образом реализовать обобщенные проектно-доводочные процедуры и использовать их при разработке двигателей. Предложена унифицированная внутренняя сетевая структура объектов, моделирующих СЭ и их информационных связей, обеспечивающая инкапсуляцию и наследование, упрощающая алгоритм обработки решателем дерева проекта.

4. Разработаны алгоритм и система поддержки принятия решений при синтезе дерева проекта и моделей СЭ, проверенные на примере выбора вида и типа двигателя (аналог Р195) для СУ конкретного ЛА (аналог штурмовика Су-25).

5. Разработаны принципы, позволяющие формировать библиотеки фрагментов математических моделей ФЭ, КЭ и ТЭ, развивать и использовать их для системного проектирования и доводки двигателей. На основе предложенного сетевого представления внутренней структуры объектов разработаны методы контроля адекватности, выявления факторов, требующихся для учета, непрерывного развития моделей СЭ за счет введения уточняющих рекуррентных операторов. Технология развития и унификации моделей СЭ показана (в среде системы DVIG с использованием Framework SAMSTO) на примере унификации модели ФЭ «камера сгорания» и ее тестирования при моделировании различных процессов в составе моделей различных двигателей. Предложены методы моделирования стационарных и неустойчивых процессов в двигателях разных типов на основе базового набора универсальных моделей СЭ, позволяющие расширить возможности проектировщиков. Разработанные модели РДТТ (М14 ГЖГ), ЖРД, ДВС, различных типов ГТД, ТКА80/0.5, ГТЭУ10.95, эксгаустеров для ЭРЛ и полученные результаты (в том числе ряд авторских свидетельств на регулируемые РДТТ и на ТКА) используются в ряде ОКБ и заводов.

6. Предложена методика конструирования двигателя, его узлов и деталей «сверху вниз», параллельно с функциональным моделированием, по принципу «виртуального изготовления» с поэтапным учетом требований, позволяющая оптимально использовать возможности CAD/CAM/CAE-систем (рис. 4). Предложен метод анализа течения газа в лопаточных машинах на основе «виртуального» эквивалентного канала в абсолютном движении, позволяющий, в дополнение к применяемым методам, более эффективно использовать возможности CAD/CAM-систем для анализа характеристик лопаточных машин, течения в межвенцовых осевых зазорах, прогноза помпажных явлений.

Демонстрация проведена на примере формирования конструкции двухвального ТРД (типа Р195), КНД и турбины в его составе с использованием систем DVIG, RASCAD, CAD/CAM Unigraphics и Cimatron. CAD/CAM/CAE-технология разработки широкохордных «полочных» вентиляторных лопаток из металлического композита с использованием листовых заготовок внедрена в ГУНПП «Мотор».

7. На основе моделей процесса разработки двигателя (п. 1) предложены методы, позволяющие организовать и оптимизировать параллельную работу проектировщиков при создании двигателя (с использованием единой модели, средств PDM, Workflow и решателя). Разработанная с использованием CPDM (Cimatron и Smart Solutions), средств сканирования и векторизации (Vectory), AutoCAD и Cimatron, Excel и MsWord, OLE-контейнеров и Web-технологии база и система управления конструкторско-технологической информацией используются в ММПО «Салют» и УМПО. По результатам разработки и внедрения интегрированной САПР-Д АСПАД (демонстрация системы проведена в ФГУП «Завод имени В. Я. Климова») предложена методика автоматизации создания двигателей в моторных ОКБ.

8. Разработаны методики и технологии проектирования тепловых двигателей и энергетических установок с использованием баз знаний, позволяющие развернуть в отдельных ОКБ и в отрасли коллективную работу над автоматизированным накоплением, систематизацией и использованием знаний в двигателестроении. В качестве альфа-версии разработана и внедрена в РосНИИ ИС база знаний в области тепловых двигателей и энергоустановок (БЗ ТД ЭУ).

Научное, учебное и опытно-промышленное использование результатов математического, компьютерного и экспериментального исследований и методик в моторных ОКБ (ФГУП «Завод имени В. Я. Климова», АО «Львюлка-Сатурн», АО «Рыбинские моторы», ФГУП «НПП «Мотор», ФРЦ-КБ им. акад. В. П. Макеева), на серийных моторных заводах (ММПО «Салют», УМ-

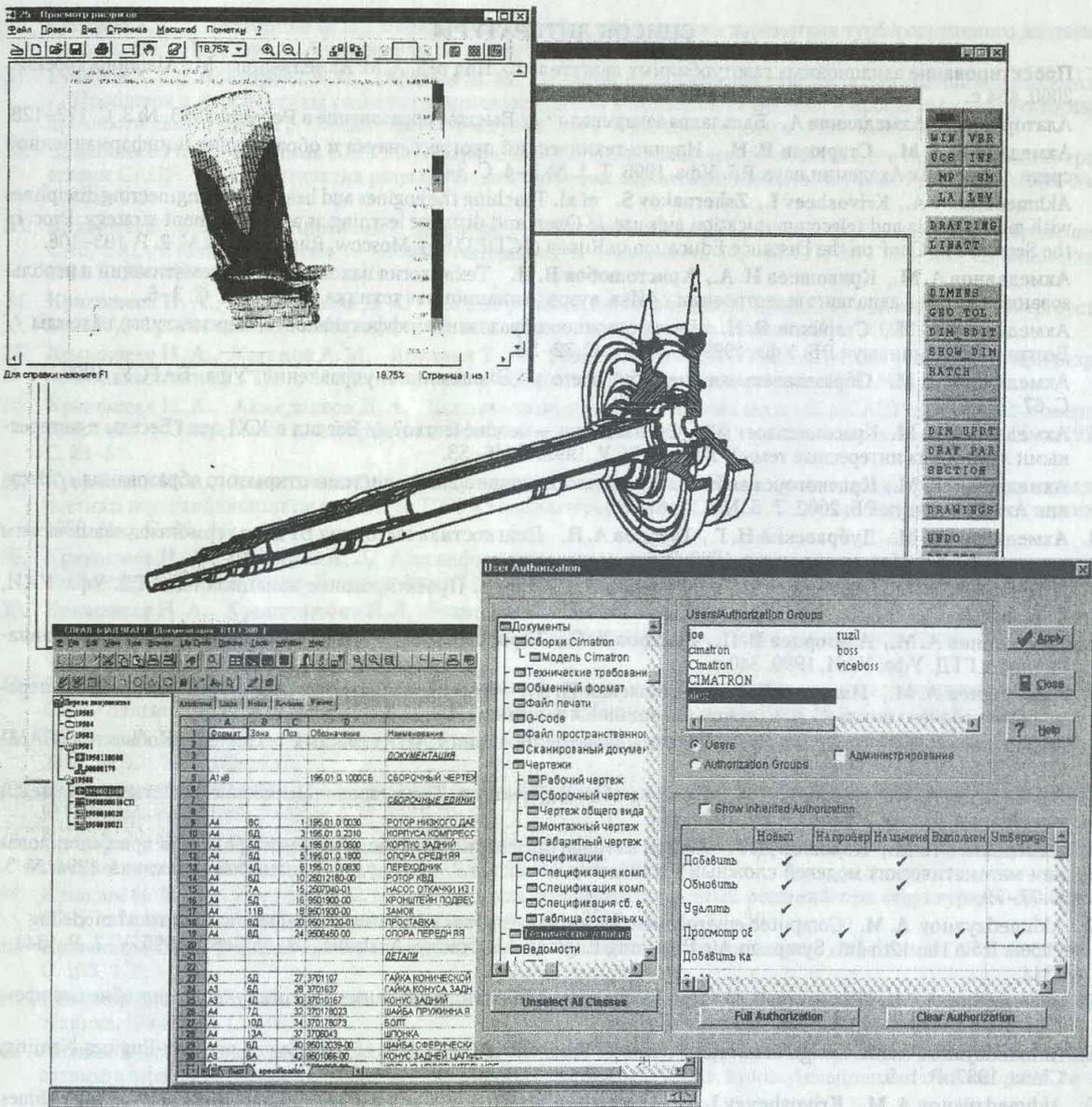


Рис. 4. Конструирование двигателя с использованием CAD/CAE и PDM

ПО), в Институте механики УНЦ РАН (по проекту «Разработка высокоэффективных технологий и систем использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии» в рамках ФЦКП «Интеграция») и в вузах (УГАТУ, СГАУ) привело к существенному ресурсосбережению, экономии времени и повышению эффективности подготовки специалистов и разрабатываемых двигателей, энергетических и технологических установок на их основе, что подтверждено актами.

Вооруженная сформированной концепцией автоматизации и организации системной разработки двигателей и энергоустановок, имея ряд собственных программных средств и лицензии на CAD/CAM Cimatron, PDM и Workflow SmartTeam (предоставленные фирмой Би-Питрон), доступ к продуктам фирм MSC (NASRAN), ANSYS, EDS (Unigraphics), кафедра активно работает над реализацией этой концепции и внедрением ее в промышленность и в учебный процесс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей / Под ред. А. М. Ахмедзянова. М.: Машиностроение, 2000. 454 с.
2. Алаторцев В., Ахмедзянов А. Бакалавра заказывали? // Высшее образование в России. 1995. № 3. С. 122–128.
3. Ахмедзянов А. М., Стариков В. Н. Научно-технический прогресс, наука и образование в информационной среде // Вестник Академии наук РБ. Уфа, 1996. Т. 1, № 3–4. С. 3–8.
4. Akhmedzianov A., Krivosheev I., Zshernakov S. et al. Teaching the engines and heat power engineering disciplines with multy-media and telecommunication aids use // Open and distance learning as a development strategy: Proc. of the Second Int. Conf. on the Distance Education in Russia (ICDED 96). Moscow, Russia, 1996. V. 2. P. 103–106.
5. Ахмедзянов А. М., Кривошеев И. А., Христолюбов В. Л. Технология накопления систематизации и использования знаний в авиадвигателестроении // Изв. вузов. Авиационная техника. 1997. № 4. С. 3–6.
6. Ахмедзянов А. М., Стариков В. Н. Дистанционное образование: эффективность, перспективы, надежды // Вестник Академии наук РБ. Уфа, 1999. Т. 4, № 3. С. 32–38.
7. Ахмедзянов А. М. Образовательная среда будущего // Экономика и управление. Уфа: БАГСУ, 1999. № 6. С. 67–71.
8. Ахмедзянов А. М. Красота спасет мир. Образование – человечество? // Взгляд в XXI век (Беседы с интересными людьми на интересные темы). Уфа: БАГСУ, 1999. С. 46–53.
9. Ахмедзянов А. М., Красногорская Н. Н. Методологические аспекты системы открытого образования // Вестник Академии наук РБ. 2000. Т. 5, № 4. С. 67–75.
10. Ахмедзянов А. М., Дубравский Н. Г., Тунаков А. П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. М.: Машиностроение, 1983. 206 с.
11. Ахмедзянов А. М., Алаторцев В. П., Гумеров Х. С. и др. Проектирование авиационных ГТД. Уфа: УАИ, 1987. 227 с.
12. Ахмедзянов А. М., Алаторцев В. П., Гумеров Х. С., Тарасов Ф. Ф. Термогазодинамические расчеты авиационных ГТД. Уфа: УАИ, 1990. 340 с.
13. Ахмедзянов А. М., Ижикеев В. И., Матковская Н. А. Формирование математических моделей ГТД переменного рабочего цикла // Изв. вузов. Авиационная техника. 1990. № 3. С. 83–86.
14. Ахмедзянов А. М., Кожин Д. Г. Системы конструирования САПР сложных технических объектов (САМСТО). Уфа: УГАТУ, 1993. 32 с.
15. Ахмедзянов А. М., Кожин Д. Г., Христолюбов В. Л. и др. Термогазодинамические расчеты двигателей и лопаточных машин. Уфа: УГАТУ, 1994. 46 с.
16. Ахмедзянов А. М., Кожин Д. Г. Анализ методов организации вычислительных процессов при формировании математических моделей сложных технических объектов // Изв. вузов. Авиационная техника. 1994. № 3. С. 77–79.
17. Akhmedzyanov A. M. Computer environment for aircraft engines of arbitrary schemes mathematical modeling // Papers from the 12th Int. Symp. on Air Breathing Engines. Melbourne, Australia, 10–15 Sept., 1995. V. 2. P. 1341–1344.
18. Ахмедзянов А. М., Жернаков В. С. Принципы эквивалентности в технике и жизни (учебное пособие с грифом ГК РФ по ВО) М.: МАИ, 1996. 182 с.
19. Akhmedzyanov A. M. Design of aircraft engines // Proc. of the 1997 China–Russia Symp. on Aero-Engines. Nanjing, China, 1997. P. 1–9.
20. Akhmedzyanov A. M., Krivosheev I. A., Akhmedzyanov D. A. Mathematical simulation of time varying regimes of aircraft engines work // Proc. of the 1997 China–Russia Symp. on Aero-Engines. Nanjing, China, 1997. P. 63–65.
21. Ахмедзянов А. М., Мавлютов Р. Р., Салихов А. А. Учебно-научный центр «Высокоэффективные технологии и системы использования низкотемпературных и возобновляемых источников энергии» в решении проблем повышения эффективности энергоснабжения Республики Башкортостан // Научно-технический и научно-образовательный комплекс региона: проблемы и перспективы развития. Уфа: УГАТУ, 1998. С. 92–100.
22. Ахмедзянов А. М., Гумеров Х. С., Рыжов А. А. Прошлое, настоящее и будущее научно-технического потенциала авиапредприятий Республики Башкортостан в образовании и науке // Научно-технический и научно-образовательный комплекс региона: проблемы и перспективы развития. Уфа: УГАТУ, 1998. С. 167–169.
23. Яруллин Т. Р., Ахмедзянов А. М. Электронные информационные архивы в структуре систем автоматизированного проектирования авиационных двигателей // Изв. вузов. Авиационная техника. 1998. № 1. С. 111–118.
24. Рыжов А. А., Алексеев Ю. С., Ахмедзянов А. М. Основные направления развития авиационных газотурбинных двигателей // Вестник УГАТУ. 2000. № 1. С. 67–81.
25. Ахмедзянов А. М., Гумеров Х. С., Салихов А. А. Нетрадиционные преобразователи энергии в энергетике // Вестник УГАТУ, 2000. № 2. С. 103–108.
26. Ахмедзянов А. М., Кожин Д. Г. САЕ-технологии в проектировании авиационных ГТД // Вестник СГАУ. Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Вып. 4. Ч. 1. Самара: СГАУ, 2000. С. 152–160.
27. Ахмедзянов А. М., Тунаков А. П., Кожин Д. Г., Сагитов Н. Ш. О месте функциональных приложений ГРАД, ПАРАД, DVIG, САМСТО в САЕ-технологии // Изв. вузов. Авиационная техника. 2000. № 2. С. 71–73.
28. Ахмедзянов А. М., Горюнов И. М., Шакиров А. Л. Термогазодинамический анализ рабочего процесса преобразователей низкопотенциальной энергии // Изв. вузов. Авиационная техника. 2000. № 3. С. 79–80.
29. Ахмедзянов А. М., Кривошеев И. А. Информационная технология разработки авиационных двигателей: состояние и перспективы // Изв. вузов. Авиационная техника. 2000. № 4. С. 70–73.

30. Гумеров Х. С., Алаторцев В. П., Горюнов И. М. Оценка и отладка параметров турбореактивного двигателя на самолете // Изв. вузов. Авиационная техника. 1998. № 3. С. 72–77.
31. Гумеров Х. С., Алаторцев В. П., Горюнов И. М. Изменение параметров двигателя при постановке на самолёт // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в поволжском регионе и проблемы конструкторской прочности двигателей: Тр. объединенной междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1999. С. 89–90.
32. Кривошеев И. А., Рахимов Б. Э. Функциональная модель технического объекта и его проектирование средствами САПР // Автоматизация разработки авиационных двигателей: Межвуз. науч. сб. Уфа: УАИ, 1989. № 1. С. 112–115.
33. Кривошеев И. А. Проблемы перевода отечественного авиадвигателестроения на современные САЕ/САД/САМ-технологии // Новые материалы и технологии. М.: МАТИ (РГТУ) им. Циолковского, 1996. С. 89–98.
34. Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А. Моделирование нестационарных процессов в двигателях и энергоустановках // Тр. Российско-китайского симп. по авиадвигателестроению. Нанкин, КНР, 1997. С. 63–65.
35. Кривошеев И. А., Каганов А. М., Яруллин Т. Р. Использование SADT и CAD/CAM-технологий при разработке авиационных ГТД // Информационные технологии. М: Машиностроение, 1998. № 5. С. 2-0-8.
36. Кривошеев И. А., Ахмедзянов Д. А. Использование нестационарных моделей в САПР двигателей и энергоустановок // Энергетика и информатика. Проблемы и перспективы: Сб. тр. Всерос. науч.-техн. конф. Уфа, 1998. С. 23–31.
37. Кривошеев И. А.; Ахмедзянов Д. А. Модульный принцип учета влияния динамических факторов на характеристики неустановившихся процессов ГТД в компьютерной среде DVIG // Изв. вузов. Авиационная техника. 1999. № 1. С. 36–41.
38. Кривошеев И. А., Шакиров А. Л. Классификация низкопотенциальных источников энергии // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Тр. 2-й науч.-практ. республ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 79–85.
39. Кривошеев И. А., Христолюбов В. Л. База знаний «Низкопотенциальные преобразователи энергии» // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Материалы второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 85–88.
40. Кривошеев И. А., Жернаков С. В. Использование сетевых методов представления математических моделей в САПР двигателей // Информационные технологии. М: Машиностроение, 1999. № 5. С. 17–26.
41. Кривошеев И. А. Методология автоматизации системной разработки двигателей // Вестник СГАУ. Самара, 2000. № 3, ч. 3. С. 182–187.
42. Кривошеев И. А. САПР авиационных двигателей: состояние и перспективы // Информационные технологии. М.: Машиностроение, 2000. № 1. С. 8–15.
43. Кривошеев И. А., Пузеева Е. Г. Декомпозиция одновального ТРД для автоматизированного формирования силовой схемы // Вестник СГАУ. Самара, 2000. № 3, ч. 2. С. 182–187.
44. Кривошеев И. А., Жернаков С. В. Поддержка принятия проектных решений при структурном синтезе в САПР двигателей // Информационные технологии. М., 2000. № 2. С. 17–30.
45. Кривошеев И. А. О создании информационных систем в авиадвигателестроении // Вестник УГАТУ. 2000. № 1. С. 165–170.
46. Кожин Д. Г. Об одном подходе к построению оболочки расчетных подсистем // Изв. вузов. Авиационная техника. 1994. № 2. С. 110–112.
47. Кожин Д. Г., Ахмедзянов А. М. Интеллектуальный интерфейс для конструирования гибких комплексов автоматизированного проектирования авиационных двигателей // Изв. вузов. Авиационная техника. 1997. № 1. С. 62–66.
48. Кожин Д. Г. Язык описания моделей газотурбинных двигателей // Изв. вузов. Авиационная техника. 1999. № 2. С. 75–76.
49. Коновалова А. В., Кожин Д. Г., Харитонов В. Ф. Система газодинамического анализа камер сгорания ГТД // Изв. вузов. Авиационная техника. 2000. № 4. С. 58–60.
50. Ахмедзянов Д. А., Гурьев Б. И. Кинематический анализ механизмов в компьютерной среде. Уфа: УАИ, 1994. 36 с.
51. Ахмедзянов Д. А., Гумеров Х. С., Иванов И. В. Прямая и обратная задачи расчета переходных (неустановившихся) режимов авиационных ГТД // Изв. вузов. Авиационная техника, 1996. № 3. С. 86–90.
52. Ахметсафин Р. Д., Стариков В. Н., Ахмедзянов Д. А. Прогулка в Internet. Уфа: УГАТУ, 1996. 98 с.
53. Ахмедзянов Д. А., Горюнов И. М., Гумеров Х. С. и др. Математические модели авиационных двигателей произвольных схем (компьютерная среда DVIG): Учеб. пособие / Под ред. А. М. Ахмедзянова. Уфа: УГАТУ, 1998. 127 с.
54. Ахмедзянов Д. А. Универсальный алгоритм организации расчета неустановившихся режимов работы авиационных двигателей // Прогресс. Качество. Технология: Тр. III конгр. двигателестроителей Украины с иностр. участием. Харьков: ХАИ, 1998. С. 53–57.
55. Гурьев Б. И., Ахмедзянов Д. А. Кинематический анализ рычажных гидро- и пневмомеханизмов, не подчиняющихся классификации Л. В. Ассура // Изв. вузов. Авиационная техника. 1998. № 1. С. 84–88.
56. Ахмедзянов Д. А. Математическое моделирование термогазодинамических процессов авиационных ГТД произвольных схем на переходных режимах // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в поволжском регионе и проблемы конструкторской прочности двигателей: Тр. объединен. междунар. науч.-техн. конф. Самара, 1999. С. 90–91.

57. Харитонов В. Ф., Надыршин А. Я., Давыдов Г. И., Большагин В. И. Математическая модель смесительного устройства с патрубками для основной камеры сгорания ГТД // Испытания авиационных двигателей: Межвуз. науч. сб. 1986. № 14. С. 122–128.
58. Ахмедзянов А. М., Харитонов В. Ф., Сираев Э. З. и др. Создание на базе форсажной камеры ВРД установки для сжигания жидких промышленных отходов, содержащих токсичные вещества // Изв. вузов. Авиационная техника. 1995. № 1. С. 101–106.
59. Харитонов В. Ф., Ивах А. Ф. и др. Исследование возможности создания установки для сжигания жидких промышленных отходов на основе форсажной камеры реактивного двигателя (на англ. языке) // Тр. китайско-российского симп. по авиадвигателестроению. Нанкин, КНР, 1997. С. 159–164.
60. Харитонов В. Ф. Система предварительного проектирования камер сгорания ГТД // Авиационные технологии 21 века: Тр. 5-го междунар. науч.-техн. симп. Тр. ЦАГИ. 1999. Вып. 2640, т. 2. С. 185–191.
61. Харитонов В. Ф., Надыршин А. Я., Давыдов Г. И. Исследование распределения параметров газового потока на выходе из смесителя основной камеры сгорания // Испытания авиационных двигателей: Межвуз. науч. сб. 1990. № 17. С. 139–145.
62. Коновалова А. В., Харитонов В. Ф. и др. Метод предварительного проектирования камер сгорания ГТД // Вестник Самарск. гос. аэрокосмич. ун-та. Сер. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». Самара, 1999. Вып. 3, ч. 2. С. 184–189.
63. Коновалова А. В., Харитонов В. Ф. Газодинамический анализ камер сгорания ГТД на начальных этапах проектирования (на англ. яз.) // Актуальные проблемы авиадвигателестроения: Тр. междунар. симп. 12–13 апреля 1999. Уфа: УГАТУ, 1999. С. 61–64.
64. Коновалова А. В., Харитонов В. Ф. Газодинамический анализ камер сгорания ГТД на этапе предварительного проектирования // Двигатели 21 века: Тез. докл. междунар. науч. конф. Декабрь 2000. М.: ЦИАМ, 2000. С. 163–165.
65. Горюнов И. М., Алаторцев В. П., Галиуллин К. Ф. Изменение основных параметров рабочего процесса ГТД АЛ-31Ф в эксплуатации // Испытания авиационных двигателей. Уфа: УГАТУ, 1995. № 19. С. 65–69.
66. Дикова Ф. А., Асадуллин И. А., Суворов С. Г. Формирование облика компрессора газотурбинной установки // Техника машиностроения. М.: НТП «Вираз-Центр», 2000. № 5. С. 9–10.
67. Дикова Ф. А., Суворов С. Г., Асадуллин И. А. Некоторые особенности проектирования компрессоров газотурбинной энергетической установки, создаваемой на базе авиационного ГТД // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Матер. второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 161–166.
68. Асеев С. Н., Болдарев О. Н., Гумеров Х. С. Энергетическая установка на базе авиационного ГТД // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Матер. второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 171–180.
69. Бадамшин И. Х., Маскаев В. И. Низкопотенциальный преобразователь энергии НПЭ-14 // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Матер. второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 88–94.
70. Асеев С. Н., Гумеров Х. С., Симаков П. В. Утилизация тепла охлаждения мощных энергетических агрегатов // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Матер. второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 117–119.
71. Шакиров А. Л., Горюнов И. М. Термогазодинамический анализ рабочего процесса НПЭ // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Матер. второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 72–79.
72. Ахмедзянов А. М., Дружинин Л. Н., Горюнов И. М., Дикова Ф. А. и др. Математическая модель и программа расчета параметров и характеристик турбореактивных двигателей (вариант системы программ САПР ГТД ЦИАМ на языке ФОРТРАН-4). Техн. отчет № 9875. М.: ЦИАМ, 1982. С. 242.
73. Ахмедзянов А. М., Горюнов И. М., Дикова Ф. А. и др. Технический проект подсистемы САПР-Д «Эскизный проект». Отчет инв. № 02850050739. Уфа: УАИ, 1985. 56 с.
74. Гишваров А. С., Ахмедзянов А. М., Либерман В. Е. Обобщенный подход к расчету эквивалентных режимов испытаний ГТД // Изв. вузов. Авиационная техника. 1979. № 3. С. 3–8.
75. Гишваров А. С., Либерман В. Е., Алаторцев В. П. Отладка параметров двигателя ТА-6А в процессе серийного производства // Авиационная промышленность. 1979. № 8. С. 23–24.
76. Гишваров А. С., Ахмедзянов А. М. Расчет оптимальных ускоренных режимов испытаний авиационных ГТД // Авиационная промышленность. 1980. № 3. С. 102–111.
77. Гишваров А. С., Ахмедзянов А. М., Либерман В. Е., Чечулин А. Ю. Исследование ВСУ с целью построения программы ускоренных испытаний // Испытания авиационных двигателей: Межвуз. науч. сб. Уфа: УАИ, 1980. № 8. С. 108–114.
78. Гишваров А. С., Скачков А. А., Либерман В. Е. Соместные ускоренные испытания ВСУ ТА-6А и его узлов // Испытания авиационных двигателей: Межвуз. науч. сб. Уфа: УАИ, 1981. № 9. С. 78–81.
79. Гишваров А. С., Ахмедзянов А. М., Либерман В. Е. Оптимальная область режимов ускоренных испытаний авиационных ГТД // Авиационная промышленность. 1983. № 7. С. 24–26.
80. Гишваров А. С., Бадамшин И. Х., Либерман В. Е. Эффективность ускоренных испытаний вспомогательной силовой установки // Авиационная промышленность. 1983. № 10. С. 70–73.
81. Гишваров А. С., Салихов Р. З., Белкин В. В. и др. Программа ускоренных испытаний турбонасосной установки // Авиационная промышленность. 1984. № 10. С. 61–65.
82. Гишваров А. С., Идрисов Р. Т. Выбор оптимальных режимов стендовых ресурсных испытаний ГТД, их систем и агрегатов, эксплуатируемых в различных условиях // Авиационная промышленность. 1985. № 12. С. 23–28.

83. **Гишваров А. С., Бадамшин И. Х.** Ускоренные испытания авиационных ГТД с применением метода «разупрочнения» // Изв. вузов. Авиационная техника. 1985. № 1. С. 79–82.
84. **Гишваров А. С., Иванов О. В.** Техничко-экономическое обоснование ускоренных испытаний изделий авиационной техники с учетом достоверности информации // Испытания авиационных двигателей: Межвуз. науч. сб. Уфа: УАИ, 1988. № 16. С. 35–48.
85. **Гишваров А. С., Сарваретдинов Р. Г., Иванов О. В.** Обоснование ускоренных эквивалентных испытаний ГТД многовариантного применения // Изв. вузов. Авиационная техника. 1989. № 3. С. 49–52.
86. **Гишваров А. С., Иванов О. В.** Выбор режимов ускоренных ресурсных испытаний высоконадежных сложных технических изделий // Надежность и контроль качества. М., 1990. № 2. С. 20–25.
87. **Гишваров А. С.** Повышение эффективности периодических испытаний изделий авиационной техники // Испытания авиационных двигателей. Уфа: УАИ, 1995. № 19. С. 76–81.
88. **Гишваров А. С.** Математическое моделирование процессов ГТД на основе совмещенного планирования эксперимента // Испытания авиационных двигателей. Уфа: УАИ, 1995. № 19. С. 13–19.
89. **Гишваров А. С., Тимашев А. А.** Мониторинг по критериям экологической безопасности и надежности // Испытания авиационных двигателей. Уфа: УАИ, 1995. № 19. с. 125–130.
90. **Гишваров А. С., Якупов А. А.** Выбор объема, режимов и длительности ускоренных ресурсных испытаний с учетом основных этапов жизненного цикла изделия // Испытания авиационных двигателей. Уфа: УАИ, 1995. № 19. С. 130–133.
91. **Guichvarov A.** Technology of development of programs of accelerated testes of aircraft engines on reliability and resurce // Proc. of the 1997 China–Russia Symp. on Aero-Engines. Nanjing, China, 1997. P. 35–41.
92. **Гишваров А. С.** Повышение эффективности утилизации тепла энергетической установки с применением парожидкостных инжекторов // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Матер. второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 117–120.
93. **Гишваров А. С., Кондратьева Н. В., Минигалеев С. М.** Метод снижения затрат на проведение экспериментальных исследований сложных технических изделий // Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан: Матер. второй науч.-практ. респ. конф. Уфа: УГАТУ, 1999. Ч. 1. С. 138–142.
94. **Гишваров А. С.** Теория ускоренных ресурсных испытаний технических систем. Уфа: Гилем, 2000. 350 с.
95. **Гишваров А. С., Минигалеев С. М.** Выбор оптимальных параметров ускоренных совмещенных испытательных технических систем // Авиационная промышленность, 2000. № 2. С. 7–13.
96. **Гусенков А. П., Итбаев В. К., Лукин Б. Ю. и др.** Унифицированные гибкие элементы трубопроводов: Справоч. пособие. М.: Машиностроение, 2001. 284 с.
97. **Итбаев В. К.** Вибропрочность гибких металлических трубопроводов при протекании рабочих сред // Изв. вузов. Авиационная техника. 1996. № 3 С. 78–82.
98. **Итбаев В. К.** Ускоренные испытания компенсаторов системы выпуска транспортных средств // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1996. № 4. С. 108–112.
99. **Итбаев В. К.** Расчет вынужденных колебаний гибких металлических трубопроводов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1996. № 3. С. 30–36.
100. **Itbaev V., Karasev S., Tarkhov I.** Problems of maintenance of vibrating stability and vibrating durability of flexible metal pipelines of engines of flying apparatus // Proc. of the 1997 China–Russia Symp. on Aero-Engines. Nanjing, China, 1997. P. 126–129.
101. **Брюханов А. М., Дубасов Н. П., Итбаев В. К.** Новое в производстве компенсаторов систем выпуска автомобилей // Автомобильная промышленность. 1998. № 10. С. 12–15.