

На правах рукописи

ЗРЕЛОВ ВЛАДИМИР АНДРЕЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЗДАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГТД
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИСТОРИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
ИХ КОНСТРУКТИВНО-СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ**

Специальность 05.07.05 – Тепловые, электроракетные
двигатели и энергоустановки
летательных аппаратов
07.00.10 – История науки и техники
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

САМАРА 2008 г.

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» (СГАУ)

Научный консультант – доктор технических наук, профессор
Белюсов Анатолий Иванович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Данильченко Валерий Павлович;

доктор технических наук, профессор
Равикович Юрий Александрович;

доктор технических наук, профессор
Чуйко Виктор Михайлович.

Ведущая организация – ОАО «Моторостроитель»

Защита состоится «31» октября 2008 г. в 10 час. на заседании диссертационного совета Д 212.215.02 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» (СГАУ) по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева» (СГАУ).

Автореферат разослан « ____ » _____ 2008 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор



Д.Л. Скуратов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Одним из важнейших факторов, определяющих качество авиационных ГТД, является выбор их конструктивно-силовых схем (КСС). Поэтому тема диссертационной работы, направленной на повышение эффективности создания авиационных ГТД на основе анализа исторического развития их КСС, является **актуальной**, имеющей важное практическое и научное значение.

Актуальным является создание компьютерной информационной системы обработки, хранения и поиска информации по авиационным ГТД, включающей в себя базы данных по параметрам, КСС, элементам конструкции, применению, а также по разработке и производству двигателей.

Большое значение имеет использование принципа преемственности, т.е. применение проверенных, хорошо зарекомендовавших себя проектных, расчетных, конструкторских, технологических и других решений при создании новых двигателей. Это особенно важно на этапе формирования КСС будущего двигателя, концентрирующей в себе новое решение и дающей возможность увидеть весь спектр его решений. В этом случае недостаток исходной информации обуславливает интерактивный характер проектирования и обязательное использование накопленного опыта. В настоящее время отсутствует системное представление КСС отечественных ГТД, созданных с начала их первых разработок до настоящего времени.

Актуальным является создание хранилища данных об апробированных конструктивных и технологических приемах реализации схемных решений ГТД.

Актуальным является разработка принципов алгоритмизации процессов анализа и синтеза КСС ГТД на ранних этапах проектирования двигателя благодаря созданию системы условных графических изображений элементов конструкции ГТД и моделей описания взаимодействия роторов и статоров двигателей. Наличие таких систем и моделей позволит формализовать процесс описания структуры ГТД и создать его обобщенную КСС.

Актуальным является создание методологии оценки изменения параметров, эффективности совершенствования и поиска путей развития КСС ГТД с учётом влияния на них изменения параметров двигателей.

Для создания конкурентоспособных авиационных двигателей актуальным является исторический анализ деятельности предприятий разработчиков и изготовителей двигателей. Выявление схем взаимодействия конструкторских бюро и серийных предприятий, позволивших при создании двигателей различных поколений в СССР/России решить ряд стратегических задач в различные исторические периоды, позволяет разработать модели эффективного процесса решения актуальных проблем двигателестроения и создания научно-технического задела для перспективных разработок.

С целью сохранения авиационных двигателей как прототипов для проектирования, а также как исторических памятников отечественной техники, являющихся достоянием не только отечественной, но и мировой культуры, актуальным является создание Центра истории авиационных двигателей (ЦИАД). Этот центр - не только хранилище натуральных образцов отечественной научной и технической культуры, прогрессивных для каждого исторического периода и оказавших влияние на исторические события и политику, но и научно-исследовательское подразделение, реализующее современные технологии обработки и представления данных о двигателях.

Целью работы является повышение эффективности процессов создания авиационных ГТД путем анализа, выявления факторов и тенденций развития, а также разработки принципов проектирования двигателей на схемном уровне.

Для реализации этой цели необходимо решение следующих научных задач:

- создание современной информационной базы данных по параметрам, применению и КСС авиационных ГТД;
- разработка методологии анализа и прогнозирования развития КСС с учётом влияния на них изменения параметров ГТД;
- разработка методов формализации описания КСС ГТД;
- разработка методов автоматизированного проектирования КСС авиационных ГТД;
- разработка модели эффективного процесса создания отечественных авиационных газотурбинных двигателей;
- исторический анализ развития авиадвигателестроения, выявление факторов и тенденций деятельности основных отечественных научно-конструкторских и производственных школ, установление и обоснование приоритетов в области авиационных ГТД;
- обобщение историко-научного материала с целью воссоздания целостной картины развития отечественного авиационного двигателестроения;
- разработка методологической основы создания и функционирования учебно-научно-технических центров авиационных ГТД на примере Центра истории авиационных двигателей имени академика Н.Д. Кузнецова.

Области исследования включают:

- методы проектирования и конструирования авиационных ГТД на основе систем автоматизации поддержки проектирования;
- прогнозирование развития КСС авиационных ГТД.

Объектом исследования является процесс создания авиационных газотурбинных двигателей.

К предметам исследования относятся документы и другие материалы, характеризующие основные этапы деятельности предприятий разработчиков и изготовителей отечественных авиационных двигателей, информацию о параметрах, применении, КСС и элементах конструкции ГТД, а также возможные модели процесса создания отечественных авиационных ГТД.

Методологическую и теоретическую основы исследования составляют научные труды отечественных и зарубежных авторов в области авиационного двигателестроения.

Используются статистические методы прогнозирования, методы регрессионного анализа, позволяющие обосновывать тенденции развития параметров ГТД, выявлять их закономерности и обосновывать прогнозируемые значения этих параметров, а также устанавливать основные закономерности формирования КСС двигателей.

Исследование базируется на фактологической основе - реальных конструкциях двигателей и их элементов.

В основу исследования положен принцип интерпретации технических решений в контексте исторических процессов, событий, фактов.

Использованы теория множеств, позволившая разработать методику анализа и синтеза КСС турбокомпрессоров авиационных ГТД, и теория представления объектов науки и техники в музеях, а также теория универсального эволюционизма.

Применены современные системы управления данными об изделии (PDM–системы), а также системы объемного моделирования (CAD-системы).

Применяется системный подход при формировании единой базы знаний по истории разработки и производства двигателей, а также при представлении информации о них в ЦИАД имени академика Н.Д. Кузнецова. Выявленные общие свойства и закономерности, характерные для любых типов ГТД, включены в базу знаний.

Информационная база исследования включает:

- научные источники в виде данных и сведений из книг, журнальных статей, научных докладов и отчетов, материалов научных конференций, семинаров и симпозиумов;
- технические описания самолетов, вертолетов и двигателей;
- статистические источники в виде отечественных и зарубежных статистических материалов, документов разных организаций, фондов, архивов;
- официальные документы в виде законодательных и других нормативных актов, в том числе положений, инструкций, докладов, проектов;
- результаты собственных расчетов.

На защиту выносятся:

- метод создания современных информационных баз данных по параметрам, применению и КСС авиационных ГТД;
- метод формализации процесса описания структуры ГТД и система условных графических изображений элементов конструкции ГТД для автоматизированного проектирования двигателей;
- метод прогнозирования развития КСС авиадвигателей с учетом влияния на них изменения параметров ГТД, базирующийся на опыте и традициях проектирования, производства и эксплуатации двигателей;
- модель эффективного процесса создания ГТД, имеющих высокий уровень конструктивного и эксплуатационно–технологического совершенства;
- результаты обобщения историко-научного материала, позволяющего создавать целостную картину развития отечественного авиадвигателестроения;
- результаты анализа развития авиадвигателестроения, выявленные факторы и тенденции деятельности основных отечественных научно-конструкторских и производственных школ, установленные и обоснованные приоритеты в области авиационных ГТД.

Научная новизна исследования определяется разработанной методологией получения и использования объективных исторических знаний о процессах и способах создания современных сложных технических объектов на основе развития их КСС на примере авиационных ГТД.

Предложена структура электронных баз данных о двигателях, объектах их применения и КСС на основе выявленных закономерностей развития основных параметров авиационных ГТД.

На основании исследования изменения параметров отечественных ГТД, применяя методы статистического прогнозирования, построены линии трендов на примере изменения основных параметров ТРДД и определены с заданной вероятностью значения этих параметров на период до 2015 г. Показано, что улучшение параметров ГТД при современной технологии и применяемых материалах становится менее эффективным. Выявлено, что авиационный ГТД как тепловая машина приближается к «порогу насыщения». Установлено, что необходим но-

вый системный подход к созданию ГТД, учитывающий взаимное влияние параметров двигателя и его КСС.

Предложены КСС, созданные с учетом анализа развития параметров ГТД, а также опыта и традиций отечественного двигателестроения, для перспективного ТРДД с высокими удельными параметрами.

Разработаны условные графические изображения КСС авиационных ГТД с использованием ограниченного числа элементов.

Разработана методика анализа КСС и параметров двигателей-прототипов и поиска этих схем и параметров в информационном поле ГТД в соответствии с поставленной задачей.

Впервые предложена структура систематизации КСС отечественных ГТД в морфологических таблицах.

Разработана, основанная на принципах теории множеств, методика синтеза КСС турбокомпрессоров авиационных ГТД из условных элементов.

На основании выявленных закономерностей развития основных параметров, КСС и применения двигателей разработаны модели эффективного процесса создания отечественных авиационных ГТД по трем актуальным направлениям: 1- ТРДДФ для боевой авиации; 2- ТРДД, ТВД, ТВВД для транспортной и гражданской авиации, а также 3- малоразмерных ТРДД, ТВД, ТВад, ВСУ.

Проведен исторический анализ и разработаны методики оценки деятельности и представления данных об основных отечественных научно-конструкторских и производственных школах авиационного двигателестроения.

Систематизированы и представлены историко-научные материалы, воссоздающие целостную картину развития авиадвигателестроения.

Практическая значимость исследования заключается в разработке информационной модели ГТД, поддерживающей все уровни иерархии описаний в среде PDM-систем. Эта модель позволяет применять современные технологии компьютерной поддержки проектирования в конструкторских бюро и в процессе обучения в ВУЗе.

Созданная система организации данных об основных параметрах, КСС, объектах применения отечественных авиационных ГТД, а также об организациях разработчиках и изготовителях этих двигателей является наиболее полной информационно-справочной системой, позволяющей повышать качество создания ГТД, а также улучшать обучение проектированию.

Созданная «виртуальная» экспозиция ГТД позволяет отображать необходимые выборки двигателей по определенному критерию, формировать целостное представление и структурировать информацию о развитии авиационных ГТД в историческом аспекте.

Сформированное информационное поле реализованных схем турбокомпрессоров отечественных ГТД позволяет выявить все возможные КСС ГТД по количеству и расположению опор.

Разработанная структура и начальное наполнение электронной базы данных по подшипникам, применяемым в опорах турбокомпрессоров отечественных ГТД, совместимая с каталогом подшипников Самарского завода авиационных подшипников, позволяет при проектировании ГТД учитывать предшествующий опыт создания и эксплуатации авиадвигателей и подбирать подшипник для проектируемой опоры.

Разработанная система условных обозначений элементов конструкции ГТД может использоваться при формализации процесса проектирования на стадии формирования КСС дви-

гателя с привлечением современной технологии описания жизненного цикла изделия (CALS-технологии).

Предложенная модель эффективного процесса создания современных и перспективных отечественных авиационных двигателей способствует развитию конкурентоспособного авиадвигателестроения в России в XXI столетии.

Впервые создан ЦИАД, реализующий современные технологии обработки и представления данных о двигателях. Он включён во Всероссийский реестр музеев. ЦИАД является одновременно музеем авиационных двигателей, хранилищем информации о них, а также аккумулятором инженерного и научного опыта в области авиадвигателестроения. В ЦИАД представлены разработки отечественных научно-конструкторских и производственных школ авиадвигателестроения.

Разработанная методика исторического анализа деятельности предприятий и организаций авиадвигателестроения позволяет системно представить факторы и тенденции развития научно-конструкторских и производственных школ авиационного двигателестроения промышленных регионов на международных специализированных выставках.

Проведенное исследование деятельности немецких специалистов по созданию первых ГТД позволяет восстановить историческую картину развития российско-германских научно-технических связей в послевоенный период, а также объективно проанализировать и методически обобщить влияние немецких разработок на развитие отечественных ГТД.

Реализация работы на практике осуществляется ведущими отечественными разработчиками авиационных ГТД, которые используют в своей деятельности разработанные, наполненные и систематизированные автором базы данных по двигателям.

Впервые создан наиболее полный справочник по основным параметрам, КСС и применению более 350 отечественных ГТД, включая описания не только серийных, но и опытных двигателей, а также проектов. В справочнике проанализированы различные варианты размещения опор в КСС ГТД.

Информационные базы данных по подшипникам и их применению в опорах двигателей используются в практической деятельности Самарского завода авиационных подшипников и других предприятий аэрокосмического комплекса.

Методика исторического анализа деятельности предприятий и организаций авиадвигателестроения позволила системно представить факторы и тенденции развития его научно-конструкторских и производственных школ, входящих в Самарский аэрокосмический комплекс, на международных выставках «Партнер-Россия» (Италия, 1996 г.), МАКС (1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007 гг.), «Двигатели» (1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 гг.).

Результаты выполненного исследования могут быть использованы при проектировании авиационных ГТД, а также наземных и судовых газотурбинных энергетических установок современными методами информационной поддержки изделий (ИПИ-CALS – технологии).

Предложенная модель эффективного процесса создания авиационных ГТД может быть использована при проектировании и производстве конкурентоспособных современных и перспективных отечественных газотурбинных двигателей, а также при организации «виртуальных предприятий».

Основополагающие материалы исследования используются в учебном процессе и научно-исследовательской деятельности Самарского государственного аэрокосмического университета, Московского авиационного института (государственного технического университета),

Российского государственного гуманитарного университета, Казанского государственного авиационного технического университета, Уфимского государственного авиационного технического университета, а также Institut Für Luftfahrtantriebe (Штутгарт, Германия).

Создан учебно-научно-технический центр истории авиационных двигателей, являющийся крупнейшим музеем отечественных авиационных ГТД. Центр является почетным корпоративным членом британского авиадвигательного фонда Rolls-Royce Heritage Trust. На базе ЦИАД впервые в России проводятся конкурсы в области конструирования среди команд, включающих разновозрастные группы участников (школьники, студенты, молодые специалисты).

Апробация результатов исследования осуществлена обсуждением основных положений и результатов диссертационной работы, которые доложены и одобрены на 32 научно-технических конференциях, совещаниях и симпозиумах, в том числе на: международных научно-технических конференциях «Проблемы и перспективы развития двигателестроения» (г. Самара, 1997, 1998, 1999, 2001, 2003, 2006 гг.); научно-методических конференциях «Совершенствование подготовки специалистов аэрокосмического профиля и проблемы высшего образования» (г. Самара, 1992, 1993, 1998, 2001, 2002 гг.); международных научно-технических симпозиумах по истории авиационных двигателей (г. Москва, 1992, 2000 гг.); международном научно-техническом симпозиуме «Energy for the Millions» (Bangalore, Индия, 1996 г.); XI международном симпозиуме по истории авиации и космонавтики (г. Москва, 1997 г.); международных научно-технических конгрессах «Авиационное двигателестроение» (г. Москва, 1994, 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 гг.); международной научно-практической конференции «Самара в контексте мировой культуры» (г. Самара, 2001 г.); всероссийской конференции «Аэрокосмический комплекс в истории Отечества» (г. Самара, 1999 г.); международной конференции «Bearing Supplier» (Derby, Англия, 1999 г.); всероссийском научно-техническом семинаре «Современные компьютерные технологии поддержки проектирования и подготовки производства» (г. Самара, 2000 г.); III международных чтениях, посвященных памяти И.И. Сикорского и развитию творческого наследия выдающихся российских авиаторов (г. Москва – Санкт-Петербург, 2001 г.); международной конференции «Цивилизованный бизнес как фактор устойчивого развития России» (г. Москва, 1998 г.); X международном конгрессе двигателестроителей (г. Харьков, Украина, 2005 г.); XI международной научно-технической конференции «ГЕРВИКОН», (г. Сумы, Украина, 2005 г.), а также на НТС ряда отечественных и зарубежных предприятий.

По теме диссертации **опубликовано** 6 монографий, 4 учебных пособия, 37 статей (из них 12 в изданиях, определяемых Высшей аттестационной комиссией), 10 тезисов докладов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Работа изложена на 328 страницах текста, содержит 109 рисунков, 65 таблиц и приложения. Библиография включает 303 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, дается краткая характеристика диссертационной работы, сформулированы основные положения выносимые на защиту.

Здесь обозначены основные исторические этапы развития отечественного авиационного газотурбинного двигателестроения. Анализ КСС и история развития отечественных авиационных ГТД отражены в работах В.И.Антонова, А.И.Артемьева, А.И.Белоусова, Л.П.Берне, В.А.Богуслаева, Д.А.Боева, Р.И.Виноградова, Ю.С.Воронкова, Е.А.Гриценко, В.П.Данильченко, В.А.Добрынина, А.Л.Дынкина, Ю.С.Елисеева, М.М.Жигунова, Л.О.Калининой, А.И.Киселева, В.А.Киселева, В.И.Колесникова, А.И.Крюкова, В.В.Кулешова, Н.Д.Кузнецова, Л.М.Кузьминой, Л.Л.Лазарева, Ф.М.Муравченко, А.А.Овчарова, Д.А.Огородникова, В.Н.Орлова, А.Н.Пономарева, М.С.Рапиппорта, В.В.Самулеева, В.А.Секистова, Г.В.Скворцова, Г.С.Скубачевского, Д.В.Хроница, М.М.Цховребова, В.М.Чепкина, В.М.Чуйко, И.Л.Шитарева, А.В.Штоды, Я.Г.Энтиса, А.С.Яковлева и др.

В первой главе приведены результаты анализа путей использования Советским Союзом германского опыта в области ГТД. Проанализированы разработки фирм Junkers и BMW, основные параметры и КСС наиболее совершенных модификаций ГТД того времени: Jumo-004, Jumo-012, Jumo-022, BMW-003, BMW-018, BMW-028, а также количественные показатели производства ГТД этими фирмами по годам. Проанализировано развитие КСС немецких ГТД, направленное на уменьшение количества опор роторов и силовых поясов. Роторы турбокомпрессоров этих двигателей были четырёх-, затем трёхопорными, в большинстве случаев с консольным расположением турбины. В трёхопорных схемах фиксирующей являлась задняя опора компрессора. Соединение роторов компрессора и турбины осуществлялось стяжным болтом. В КСС использовалось наружное и двойное разомкнутое силовое замыкание турбокомпрессора.

Выявлена структура взаимодействия предприятий авиационного профиля Германии с момента их образования до настоящего времени. На протяжении всей истории существования этих предприятий они укрупнялись и объединялись и к 2000 г. образовали единый крупный концерн Daimler-Crysler Aerospace AG.

В ходе анализа деятельности советской администрации на территории Германии по использованию опыта в области ГТД выявлено существование специальной программы по освоению немецких достижений. Реализация этой программы осуществлялась в несколько этапов: первый – ознакомительный. В Германию были командированы ведущие советские специалисты для выявления и учета германского научно-технического потенциала, поиска технической документации и образцов двигателей, привлечения немецких специалистов к сотрудничеству.

На территории Германии были созданы Особые Конструкторские Бюро (ОКБ) для разработки силами немецких специалистов новых авиадвигателей. Таким образом начался второй этап заимствования опыта – создание научно-технического задела. Решением Совета Министров СССР был утвержден график опытных работ в Германии. Третьим этапом было утверждение проектно-конструкторских работ во вновь организованных ОКБ-1, ОКБ-2, ОКБ-3 и ОКБ-4 в Германии.

Исследована деятельность немецких специалистов в СССР с 1946 г. (4 этап). Отмечено, что в начале в разработке было несколько двигателей (003С, 012А, 012Б, 012Д, 032, 022, 028).

Все эти проекты были сделаны еще в Германии. Ничего нового в СССР немецкими специалистами создано не было.

Промышленное, технологическое и лабораторное оборудование, вывезенное из Германии, способствовало ускорению производства в СССР авиационных ГТД. Отмечено, что немецкий инженерный опыт был успешно перенят молодыми инженерами, в частности, выпускниками Куйбышевского авиационного института.

Показано, что разработка ТВД ТВ-022 на основе Jumo-022 и BMW-028 при участии немецких специалистов определила направление конструкторской деятельности Государственного Союзного Опытного завода № 2 под руководством Н.Д. Кузнецова и путь создания ТВД НК-12.

Выявлено, что ряд немецких конструкторских решений в области ГТД (соединение лопаток компрессоров и турбины с дисками замками типа «ласточкин хвост» и «елочка», фланцевое соединение элементов роторов компрессоров и турбин, сварной корпус компрессора, охлаждаемые сопловые и рабочие лопатки турбин, кольцевые камеры сгорания и др.) успешно использовались во многих отечественных двигателях.

Вторая глава посвящена анализу деятельности основных отечественных конструкторских бюро (КБ) разработчиков авиационных ГТД: ГП «ЗМКБ «Прогресс» им. А.Г. Ивченко», ОАО «НПО «Сатурн» (ОАО «А. Люлька-Сатурн» и ОАО «РКБМ»), ОАО «АМНТК «Союз», ФГУП «ТМКБ «Союз», ФГУП «НПП «Мотор», ОАО «Авиадвигатель», ОАО «Климов», ОАО «ОМКБ», ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова», ОАО «СКБМ». Определено участие этих КБ в создании авиационных ГТД различных типов и выявлены количественные показатели их опытных и серийных разработок что позволило выявить тенденции развития и оценить возможность КБ.

Анализ значительного количества историко – технических данных позволил установить, что в развитии конструкций авиационных ГТД проявляются общие законы диалектики. Так, закон «отрицания отрицания» проявляется в виде повторяемости технических решений, их преемственности, но на более высокой ступени развития конструкции, а закон «единства и борьбы противоположностей» проявляется в обеспечении технической потребности (задачи развития и эксплуатации двигателей и др.) и возможности её реализации (уровень науки, техники, производства и др.). При этом происходит скачкообразный процесс возникновения, реализации и отмирания конструктивных решений, который проявляется, например, в виде создания нового газогенератора (закон «перехода количественных изменений в качественные»).

Приведенные схемы разработок КБ, иллюстрируют развитие модификаций и появление новых газогенераторов. Выявлено, что по мере накопления опыта проектирования и доводки двигателей, создания научно-технического задела, разработки новых стендов и другого оборудования в КБ создавались модификации двигателей, а также двигатели новых схем, что характерно для процесса гармоничного развития.

Коренные, качественные изменения конструкции являются проявлением всеобщего закона перехода количественных изменений в качественные. На рис.1 в качестве примера показана схема разработок ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова».

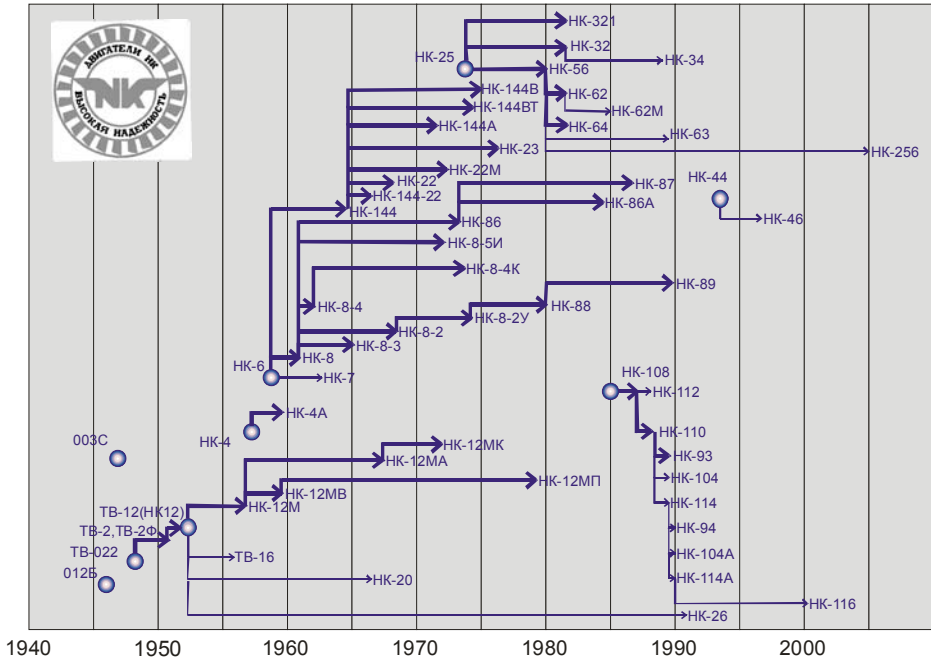


Рисунок 1- Схема развития разработок ГТД ОАО «СНТК им. Н.Д.Кузнецова»

Выявлены особенности деятельности отечественных КБ. Опыт разработчиков ТВД, ТРДД, ТВВД для магистральных пассажирских и транспортных самолетов в результате исторически сложившейся специализации обладают ОАО «Авиадвигатель», ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова» и ГП «ЗМКБ «Прогресс» им. А.Г. Ивченко». Создание ТРДДФ, а также двигателей для воздушно-космических самолетов осуществлялось ОАО «НПО «Сатурн», ОАО «СНТК им. Н.Д. Кузнецова», ОАО «Климов», а также ОАО «АМНТК «Союз», ФГУП «ТМКБ «Союз», ФГУП «НПП «Мотор» (рис.2). Наибольшим опытом разработки ТВД и ВСУ обладают ОАО «Климов» и ОАО «ОМКБ». В соответствии с имеющимся опытом эти организации могут создавать под конкретные проекты «виртуальные предприятия», использующие CALS-технологии.

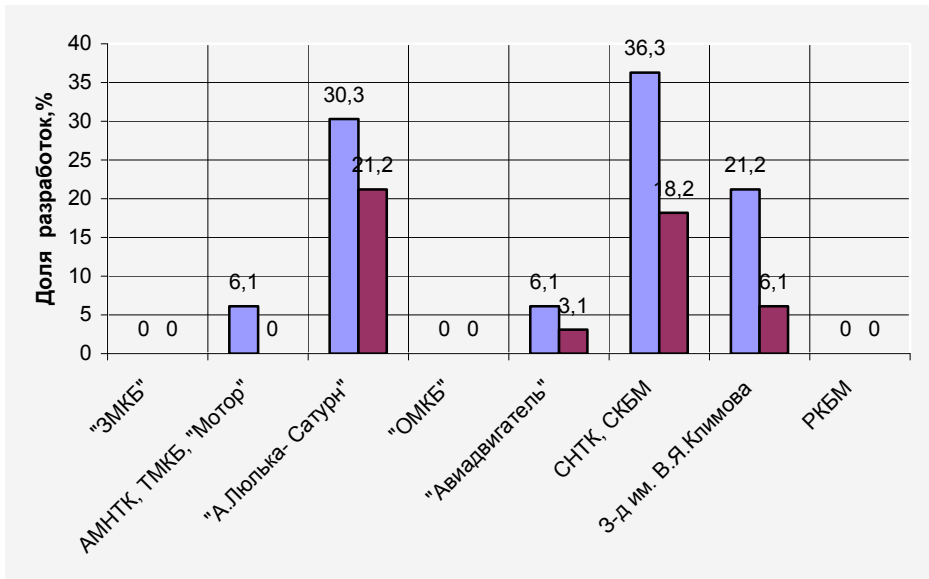


Рисунок 2- Участие основных КБ в разработке ТРДДФ и доля этих разработок, запущенных в серийное производство

Установлено количество опытных разработок и запущенных в серийное производство ГТД в рассматриваемый исторический период по поколениям. Определено, что наибольшее число таких двигателей приходилось на период 60 - 70-х гг. (соответственно, 26,5% и 31% от общего количества ГТД). В последующие годы их число уменьшалось и на 90-е гг. пришлось, соответственно, 9,5% и 4,3%.

Создана система организации данных об основных параметрах отечественных авиационных ГТД и объектах их применения. Входящие в неё базы данных являются в настоящее время наиболее полными.

Выявлены закономерности изменения основных параметров отечественных ГТД по годам. Показано, что в последнее время интенсивность изменения этих параметров уменьшилась, что свидетельствует об исчерпании резервов конструкции при использовании традиционных материалов и технологий. Используя статистические методы прогнозирования на примере ТРДД, получены аналитические выражения, характеризующие изменение основных параметров этих двигателей. Например, изменение удельного расхода топлива на крейсерском режиме по годам (x) (рис. 3) аппроксимируется уравнением

$$C_{\text{уд.кр.}} = \frac{1}{a_1 + b_1 x + c_1 \cdot x^2}, \text{ где } a_1 = -4,8379, b_1 = 0,004765, c_1 = -1,16885 \cdot 10^{-6}.$$

Значения коэффициентов приведены для размерности $C_{\text{уд.кр.}}$, (см. рис.3). Здесь сплошная линия – это линия тренда, а пунктирные ограничивают значения параметров в области доверительной вероятности, равной 0,9.

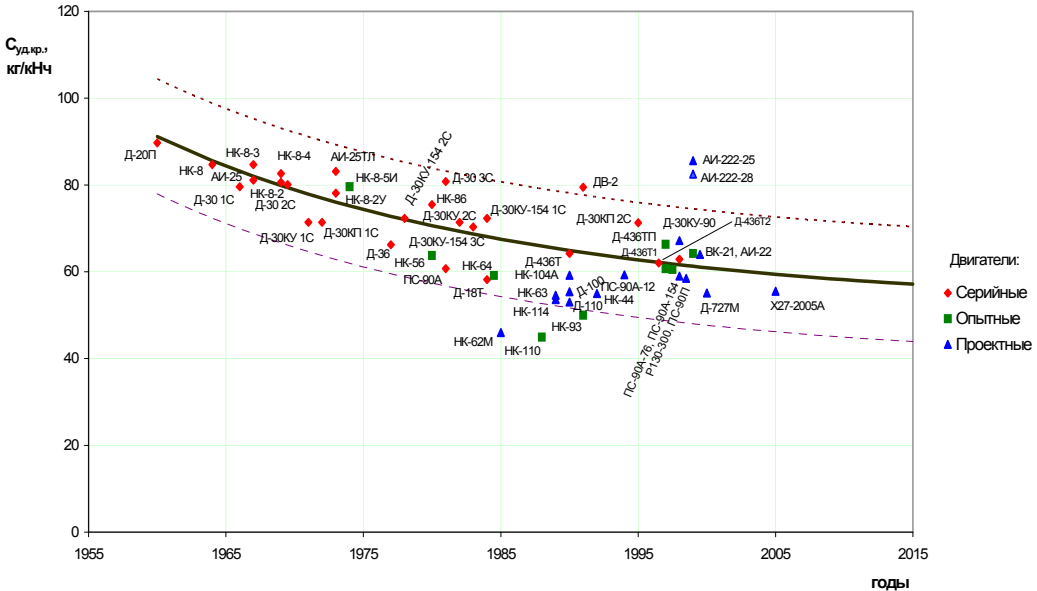


Рисунок 3- Изменение удельного расхода топлива отечественных ТРДД по годам создания двигателей (крейсерский режим)

Используя выявленные закономерности, спрогнозировано изменение основных параметров ТРДД до 2015 г. Выявлено, что улучшение этих параметров может быть достигнуто качественным изменением конструкции (применением сверхвысокой степени двухконтурности или ТВВД по типу двигателей Д-27, НК-93, Х27-2005А).

Анализ параметров отечественных авиационных ГТД показал, что по многим показателям они были и остаются в числе лучших в мире в течение всей мировой истории развития авиационных ГТД (ТР-1, АМ-5, АМ-3, Д-25В, НК-12, Р11-300, РД-7М2, РД36-51, НК-25, НК-32, Д-136, Д-27, НК-88, НК-93 и др.), обеспечивая советской/российской авиации достойное место в мире. Однако в последние годы резко сократилось число разработок современных ГТД, в частности для нужд гражданской авиации. Россия теряет с большим трудом достигнутые приоритеты в мировом авиадвигателестроении. В стране нет, например, мощных ТРДД ($P_{взл.} = 400 \text{кН}$ и более), необходимых для самолетов большой грузоподъемности и пассажироместимости, востребованных обществом. Из находящихся в эксплуатации двигателей лишь единицы удовлетворяют современным требованиям.

Аналізу деятельности серийных авиамоторных предприятий посвящена **третья глава**. В ней исследуются основные предприятия, серийно изготавливающие авиадвигатели в СССР/России: ОАО «ММП им. В.В. Чернышѐва», ФГУП «ММПШ «Салют», ОАО «Рыбинские Моторы» (сейчас входит в ОАО «НПО «Сатурн»), ОАО «КМПО», ОАО «Тюменские моторостроители», ФГУП «ОМП им. П.И. Баранова», ОАО «УМПО», ОАО «Пермские моторы», ОАО «Моторостроитель», а также ОАО «Мотор Сич».

В результате этого анализа систематизированы данные в информационном поле авиационных ГТД: определены типы выпускавшихся двигателей, их массо-габаритные характеристики, выявлены количественные показатели производства и установлены сроки серийного выпуска различных двигателей.

Историческое исследование показало, что авиационные ГТД производятся предприятиями, ранее выпускавшими поршневые авиационные моторы. Ряд предприятий производили одни и те же двигатели, например, ТРД ВК-1 и его модификации выпускались ОАО «ММП им. В.В. Чернышёва», ФГУП «ММПП «Салют», ОАО «Рыбинские Моторы», ОАО «КНПО», ОАО «УМПО», ОАО «Пермские моторы», ОАО «Моторостроитель». ТРД АМ-3 производился в Казани и Перми, ТРДФ Р11-300, Р29Б-300 и их модификации выпускали ММП им. В.В. Чернышёва и УМПО, двигатели РД-33 и ТВ7-117 производят ММП им. В.В. Чернышёва и ФГУП «ОМП им. П.И. Баранова», ТРДФ АЛ-21Ф – «Тюменские моторостроители» и ФГУП «ММПП «Салют» и т.д. Такое положение, особенно в первые годы появления ГТД, способствовало быстрому освоению в производстве новой техники и обмену производственным опытом между заводами. Однако в современных условиях, когда потребность в большом количестве и номенклатура ГТД резко сократилась, производственная нагрузка предприятий существенно уменьшилась.

На основании исследования деятельности ОКБ и серийных предприятий установлены схемы их взаимодействия при создании ГТД I, II, III и IV поколений с учетом количественных показателей и временных факторов. Такое взаимодействие позволило в короткий срок перевести отечественную авиацию с поршневой на реактивную. Показано появление и развитие интеграционных связей ОКБ - серийное предприятие в процессе создания отечественных ГТД.

Предложены модели эффективного процесса создания современных и перспективных отечественных авиационных ГТД, учитывающие следующие признаки:

- тип двигателя, его конструктивные особенности и закономерности развития;
- опыт работы и традиции предприятий;
- сложившаяся кооперация и связи предприятий с заказчиками и поставщиками;
- имеющиеся производственные мощности и оборудование предприятий (включая испытательные стенды);
- реализованные научно технические решения (научно – технический задел).

В соответствии с этим подходом предложена следующая структурная модель создания авиационного ГТД, реализация которой может дать синергетический эффект. Модель предлагается осуществить в виде «виртуального предприятия», схема которого представлена на рис. 4.

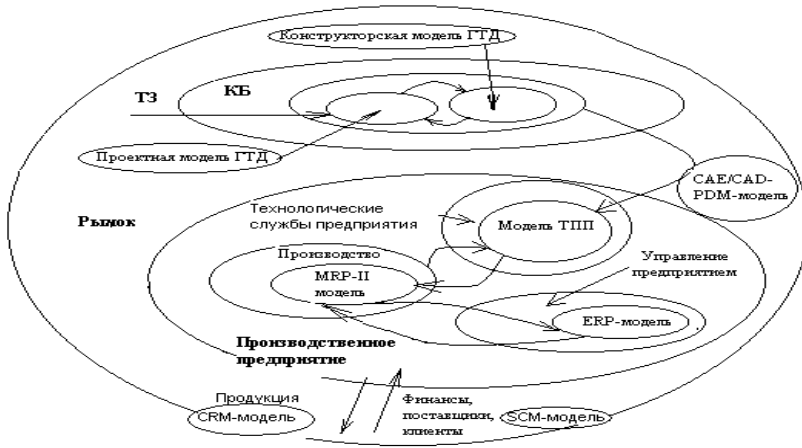


Рисунок 4- Модель виртуального предприятия

Это предприятие может быть реализовано для повышения эффективности процесса создания авиационных ГТД с привлечением современной технологии описания жизненного цикла двигателя (ИПИ-CALS-технологии). Оно состоит из двух основных блоков: КБ-разработчика и Производственного предприятия. Блоки взаимодействуют между собой и, на основе технического задания (ТЗ), создают конечную продукцию. В процессе взаимодействия создаются необходимые модели: Проектная, Конструкторская, Технологической подготовки производства (ТПП), Организации производства (MRPII) и Управления предприятием как бизнес – системой (ERP).

Для связи всех этих моделей необходимо создание информационной модели (CAE\CAD\CAM\PDM), дополняемой информацией об элементах внешней среды: поставщиках материалов и комплектующих (SCM) и заказчиках готовой продукции (CRM). Для эффективного функционирования интегрированной структуры необходимо решение проблемы кадрового и научно – технического обеспечения таких комплексов.

Кадровое обеспечение поддерживается вузами, обеспечивающими подготовку специалистов по соответствующим направлениям (проектирование, конструирование и ТПП, организация производства, экономика и т.д.). При этом необходима взаимная интеграция вузов и авиадвигательных предприятий, способствующая обеспечению преемственности поколений, как в высшей школе, так и в конструкторско-производственной среде, а также повышению квалификации и переподготовки кадров.

Научно – техническое обеспечение (научно – технический задел) создается специализированными научно-исследовательскими институтами и центрами при участии КБ-разработчиков.

На рис.5 показана возможная модель эффективного процесса создания отечественных авиационных ГТД.

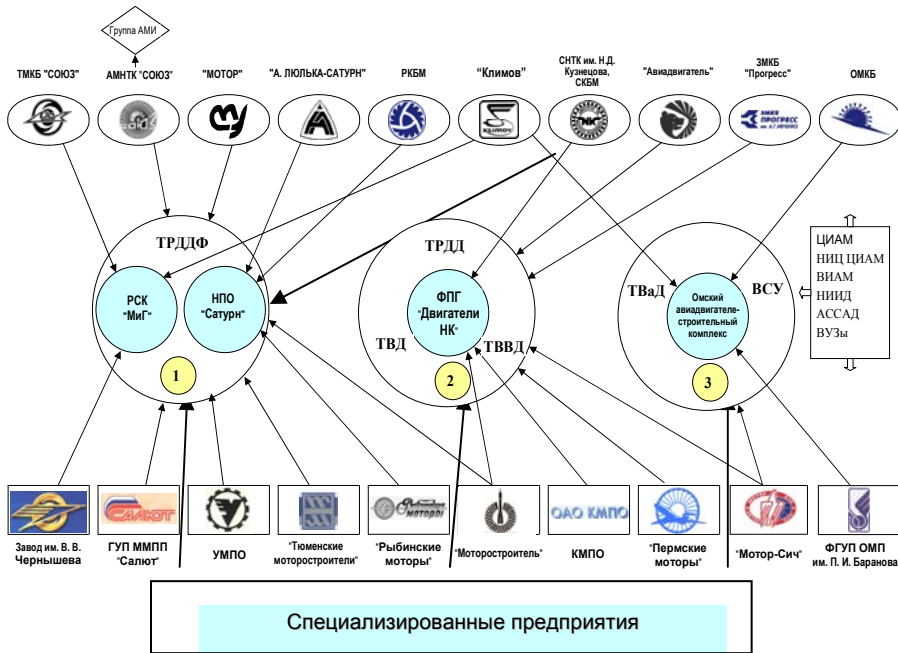


Рисунок 5- Модель эффективного процесса создания отечественных авиационных ГТД

Эта модель предполагает реализацию эффективного процесса создания современных и перспективных отечественных авиационных ГТД. На рис. 5 окружностью 1 обозначена модель процесса создания ТРДДФ, окружностью 2 – ТРДД, ТВД и ТВВД, а окружностью 3 – ТВаД и ВСУ.

В представленной модели включены основные отечественные научно-конструкторские и производственные школы авиадвигателестроения, интегрированные в функциональные структуры формирования направлений создания конкурентоспособных двигателей. Это будет способствовать решению актуальной проблемы повышения эффективности создания авиационных ГТД.

Примером реализации таких структур могут быть ОАО "НПО "Сатурн", Омский авиадвигатель-строительный комплекс, ФПГ "Двигатели "НК" и др.

Концепция развития авиационного двигателестроения России, разработанная ЦИАМ, предусматривает разработку и внедрение компьютерных технологий на всех стадиях проектирования, производства и эксплуатации двигателей. При этом решающее значение приобретает применение методов математического моделирования и проектирования. Для анализа области конструкторских решений, особенно на уровне концепций, а также для формализации проектно-конструкторского процесса в современных компьютерных системах проектирования двигателей необходимо наличие банка данных по двигателям – информационного поля ГТД. Некоторые составляющие этого поля были описаны во второй и третьей главах. Одним из элементов информационного поля является информация о структурном составе ГТД. На схемном

уровне двигатель целесообразно представлять в виде комплекса постепенно усложняющихся структурных элементов.

Разработанные принципы проектирования КСС авиационных ГТД приведены в **четвертой главе** диссертации.

Здесь представлен алгоритм анализа и синтеза КСС ГТД на ранних этапах проектирования двигателя. При этом элементы ГТД изображаются в виде функциональных блоков-модулей, связанных между собой потоками вещества, энергии и сигналов. На основе этих блоков-модулей разработана обобщенная КСС ГТД (рис. 6), из которой, убирая лишние для конкретного двигателя элементы, можно по разработанному алгоритму выбора прототипа получить наиболее рациональную схему, которая соответствует заданным параметрам. Этот алгоритм следующий.

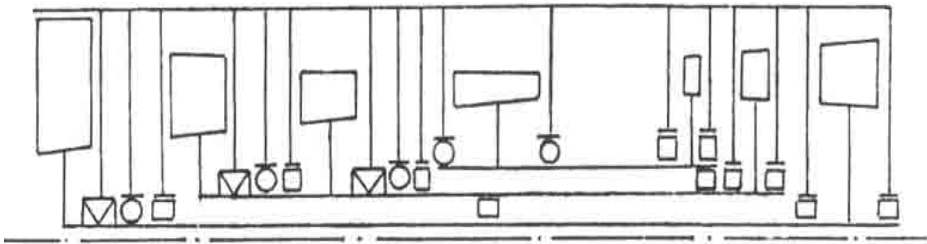


Рисунок 6 - Пример конструктивно- силовой схемы турбокомпрессора

1. При формировании концепции ГТД определяются основные параметры рабочего цикла двигателя, законы управления, геометрия проточной части, тип, количество и расположение лопаточных машин, винта, редуктора и камеры сгорания. Например, может быть использована комплексная математическая модель ГТД и комплекс программ определения облика ГТД, разработанные в ЦИАМ М.М. Цховребовым.

2. Устанавливаются роторные связи.

3. Устанавливаются радиальные и осевые элементы статорных связей.

4. Формируется КСС ГТД и, прежде всего, выбирается тип, количество и расположение опор роторов.

5. Используя базы данных, сформированные при историческом анализе КСС авиационных ГТД, уточняется КСС и конструктивные решения элементов проектируемого двигателя. Выбранные решения корректируются использованием баз данных по стандартным элементам (подшипникам, деталям крепежа и т.д.) и конструкционным материалам, а также применением имеющихся в базе данных методик прочностных и проектировочных расчетов элементов двигателя.

При алгоритмизации задачи структурного синтеза ГТД формирование вариантов возможно путем выбора из имеющихся в созданной базе типовых решений, т.е. посредством перебора законченных структур, либо наращиванием структуры, т.е. последовательным добавлением элементов.

Используя разработанные в диссертации методы формализации представления конструктивных схем ГТД, проанализированы КСС турбокомпрессоров отечественных ГТД. На ос-

нове этого анализа разработана морфологическая таблица схем каскадов турбокомпрессоров отечественных ГТД (табл. 1), позволяющая при разработке новых двигателей на схемном уровне находить и использовать апробированные и отработанные технические решения. Созданная структура, включающая 15 схем, позволяет описать все разнообразие схем каскадов ТРД(Ф), ТВД, ТВВД, ТВад, ТРДД(Ф).

Таблица 1

Конструктивные схемы каскадов турбокомпрессоров отечественных ГТД

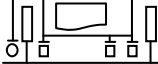
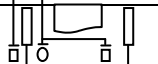

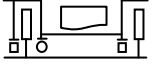
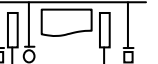
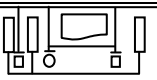
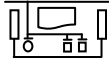
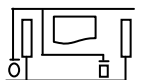
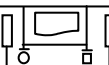
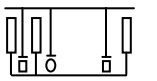
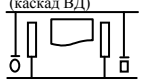
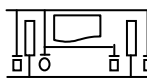

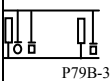
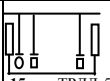
ТРД, ТРДФ	ТВД	ТРДД, ТРДФ двухроторные (каскад ВД)	ТРДД и ТВВД трёхроторные (каскад ВД)	ТВад (каскад ВД)	ТРДД, ТРДФ (каскад НД)	Трёх- отор- ные (каскад СД)	Трёхротор- ные (каскад вентилято- ра)
1	2	3	4	5	6	7	8
 ТР-1, ТР-3, АЛ-5, 1							
 ВД-5, ВД-7,012Б, ВД-19, РД36-41, РД-7М2 2	АИ-20, АИ-24, ТВ-022, ТВ-2, ТВ-2Ф			Д-25В			
 АЛ-7, АЛ-7Ф1, АЛ-7Ф2, РД-9Б, АМ-3, АМ-5, 3		Д-20П, Д-30, Д-30КУ, Д-30КП, ПС-90, ПС-90А, Д-100					
 РД-45, ВК-1, 4							
 АЛ-21Ф-3, РД36-51А 5	НК-4 ТВД-10Б, ТВД-20			ГТД-3Ф, ТВ2-117, ТВ3-117	РД-33, АЛ-31Ф, НК-6, НК-22, НК-144, НК-8, НК-86, Д-30, Д-20П, Д-30КУ/КП, Д-30Ф6	Д-27, НК-93, НК-110, НК-56, НК-64	

Таблица 1 (Продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
 <p>РУ19-300, Р15Б-300</p> <p>6</p>							
 <p>Р125-300</p> <p>7</p>							
 <p>РД36-35ФБ, РД-38, 8 РД-38А, РД-38К (каскад ВД)</p>		АИ-25 Р130-300		АИ-9		Д-36, Д-18Т, Д-436	
 <p>Р11-300, Р13-300, 9 Р25-300, Р28В-300, Р29Б-300 (каскад НД)</p>							
 <p>Р11-300, Р13-300, 10 Р25-300, Р28В-300, Р29Б-300</p>							
	 <p>(каскад ВД)</p> <p>ТВ7-117, НК-62, 11 ТВД-1500, ТВД-20В</p>	АЛ-31Ф, АИ-22, Р-79В-300, РД-33, НК-6, НК-8, НК-86, НК-144, ТРДД-50М	Д-36, Д-18Т, Д-27, Д-436, НК-56, НК-64, НК-93, НК-110	Д-136, ТВ-0-100, АИ-450, РД-600, ГТД-400			
	 <p>12 НК-12</p>						
					 <p>13 Р130-300</p>		Д-36, Д-18Т, Д-436
					 <p>Р79В-300, 14 АИ-22, АИ-25, ПС-90А</p>		
					 <p>15 ТРДД-50М</p>		НК-56, НК-64

Разработан графический способ описания конструкции двигателей, позволяющий создавать компьютерную информационную систему, предназначенную для поддержки процессов проектирования авиационных ГТД, хранения, поиска и ретроспективного анализа информации, используемой в процессе работы и обучения конструктора.

Разработана методика синтеза КСС турбокомпрессоров газогенераторов авиационных ГТД, основанная на принципах теории множеств. Сформулированы принципы алгоритмизации процесса синтеза КСС ГТД на примере турбокомпрессоров газогенераторов. Выявлено, что схемы турбокомпрессоров газогенераторов современных и перспективных отечественных ГТД состоят из двухпорного ротора с передней фиксирующей опорой компрессора и задней радиальной (иногда межвальная) опорой турбины. Наличие кольцевой камеры сгорания в таких двигателях предполагает схему с внешним силовым замыканием статора турбокомпрессора (табл. 2, 3).

Следующим этапом синтеза КСС ГТД является формализация представления элементов, составляющих конструктивную систему двигателя в виде множества параметров. С этой целью используется метод формализации перебора КСС. Он осуществляется в два этапа: на первом формируется множество параметров, определяющих КСС ГТД (матрица признаков КСС табл. 4), на втором этапе формируются условия существования конкретных конструктивных решений. Для формализации процесса перебора и задания возможных схем сформированы правила существования и компоновки схем (совместимости признаков). Разработан алгоритм автоматизированного перебора возможных решений. В табл. 5 показан пример выбора схемных признаков некоторых ТРДД из матрицы, приведенной в табл. 4.

Таблица 2

КСС элементов турбокомпрессоров газогенераторов отечественных авиационных ГТД
















Компрессор (X_i)			Турбина (X_i)			Силовое замыкание ТК (X_i)		
Обозначение	Рисунок	Схема в таблице 1	Обозначение	Рисунок	Схема в таблице 1	Обозначение	Рисунок	Схема в таблице 1
X_{11}		1	X_{21}		1, 7	X_{31}		5, 9, 11
X_{12}		2, 3, 4, 5, 12	X_{22}		2, 3, 4, 6, 8, 9	X_{32}		2, 7, 8, 12
X_{13}		6	X_{23}		5, 11	X_{33}		4
X_{14}		7, 9, 13	X_{24}		11	X_{34}		1, 3, 6
X_{15}		8, 11	X_{25}		11			
			X_{26}		12			

Таблица 3

Информационное поле реализованных схем турбокомпрессоров газогенераторов отечественных авиационных ГТД (таблица применяемости)

X_1				X_2				X_3				A_i	Реализация конструктивных схем в двигателях	
X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}			
1				1								1	A_1	ТР-1, ТР-3, АЛ-5, РД-10, РД-20(003)
	1				1							1	A_2	ВД-5, ВД-7, ВД-19, 012Б, РД36-41, ВК-2, АИ-20, АИ-24, ТВ-022, ТВ-2, ТВ-2Ф, ТВ-2М, Д-19, Д-25В
		1				1						1	A_3	АЛ-7, АЛ-7Ф, АМ-3, АМ-5, РД-9Б, Д-20П, Д-30, Д-30КУ, Д-30КП, ПС-90А, Д-100
			1				1					1	A_4	ВК-1, РД-45
							1					1	A_5	АЛ-21Ф, РД36-51А, НК-4, ТВД-10Б, ТВД-20, ГТД-3Ф, ТВ2-117, ТВ3-117
												1	A_6	РУ19-300, Р15Б-300
												1	A_7	Р125-300
												1	A_8	РД36-35, РД-38, АИ-25, Р130-300, АИ-9
												1	A_9	Р11-300, Р13-300, Р25-300, Р28В-300, Р29В-300, Р95Ш, Р195
												1	A_{10}	НК-123ВР, ТВ7-117, ТВД-1500, ТВД-20В, ТРДД-50М, Д-36, Д-436, Д-18Т, Д-136, ТВ-0-100, АИ-450, РД-600В, ГТД-100
												1	A_{11}	Д-27, Д-127, АИ-22, ДВ-2, НК-8, НК-86, НК-6, НК-22, НК-144
												1	A_{12}	АЛ-31Ф, РД-1700, РД-33, НК-56, НК-64, НК-62, НК-25, НК-93, Р79В-300
												1	A_{13}	НК-12

Таблица 4

Параметры, определяющие КСС ТРДД (матрица признаков КСС ТРДД)

№ п/п	Классификационный признак	Обозначение	Частичное решение	Обозначение
1	2	3	4	5
1.	Конструктивная схема турбокомпрессора газогенератора	y_1	По типу $A_1...A_{13}$ (табл. 3)	Y_{01} . . . Y_{013}
2.	Наличие редуктора	y_2	Нет Есть	Y_{21} Y_{22}
3.	Количество роторов	y_3	Однороторная схема Двухроторная схема Трехроторная схема	Y_{31} Y_{32} Y_{33}
4.	Тип ротора компрессора высокого давления (ВД)	y_4	Барабанный Дисковый Барабанно-дисковый	Y_{41} Y_{42} Y_{43}
5.	Количество силовых поясов в компрессоре	y_5	один два три четыре	Y_{51} Y_{52} Y_{53} Y_{54}
6.	Количество опор ротора компрессора каскада низкого давления (НД)	y_6	Одна Две	Y_{61} Y_{62}
7.	Наличие антивибрационной полки лопатки вентилятора	y_7	Есть Нет	Y_{71} Y_{72}
8.	Соединение дисков между собой в барабанно-дисковом или барабанном роторе компрессора ВД	y_8	Радиальные штифты Фланцевое с черновыми болтами Фланцевое с призонными болтами Радиальные шлицы Торцевые шлицы Стяжной болт Сварка Монолитный ротор	Y_{81} Y_{82} Y_{83} Y_{84} Y_{85} Y_{86} Y_{87} Y_{88}

Таблица 4 (Продолжение)

1	2	3	4	5
9.	Способ соединения дисков компрессора ВД с валом	y_9	С натягом Шлицевое Фланцевое Сварка Диск изготовлен заодно с валом	y_{91} y_{92} y_{93} y_{94} y_{95}
10.	Передняя опора ротора компрессора каскада НД	y_{10}	Радиальная Фиксирующая Межвальная Нет	y_{101} y_{102} y_{103} y_{104}
11.	Задняя опора ротора компрессора каскада НД	y_{11}	Радиальная Фиксирующая Межвальная Нет	y_{111} y_{112} y_{113} y_{114}
12.	Количество опор ротора вентилятора	y_{12}	Одна Две	y_{121} y_{122}
13.	Количество опор ротора турбины НД	y_{13}	Одна Две	y_{131} y_{132}
14.	Передняя опора ротора турбины НД	y_{14}	Радиальная Межвальная Нет	y_{141} y_{142} y_{143}
15.	Задняя опора ротора турбины НД	y_{15}	Радиальная Межвальная Нет	y_{151} y_{152} y_{153}
16.	Количество опор ротора турбины вентилятора	y_{16}	Одна Две	y_{161} y_{162}
17.	Передняя опора ротора турбины вентилятора	y_{17}	Радиальная Межвальная Нет	y_{171} y_{172} y_{173}
18.	Задняя опора ротора турбины вентилятора	y_{18}	Радиальная Межвальная Нет	y_{181} y_{182} y_{183}
19.	Количество силовых поясов в турбине	y_{19}	Один Два Три Четыре	y_{191} y_{192} y_{193} y_{194}
20. и т.д.	Тип корпуса компрессора каскада ВД	y_{20}	Неразъемный С поперечным разъемом С продольным разъемом С поперечным и продольным разъемами С двойной стенкой	y_{201} y_{202} y_{203} y_{204} y_{205}

Еще одним способом записи конструкции, в частности силового взаимодействия элементов роторов и статоров ГТД, является развитие предложенной В.П. Филёкиным формы записи силовой схемы ГТД в виде математической модели описания структуры этого взаимодействия:

$$\frac{c-b-a K - X_3 - T^{i-j-g}}{f-p-h}$$

Здесь X_3 – вид силового замыкания турбокомпрессора (табл. 2); K – количество силовых поясов в компрессоре; T – количество силовых поясов в турбине; a, b, c – количество опор в компрессоре (a – в первом от камеры сгорания силовом поясе, b – во втором, c – в третьем); i, j, g – количество опор в турбине (i – в первом от камеры сгорания силовом поясе, j – во втором, g – в третьем); f – число роторов; p – общее число опор; h – число межвальных опор.

Например, схема ТРДД НК-93 запишется в виде $\frac{2-2X_{31}-1^2}{3-8-2}$. Такая форма записи

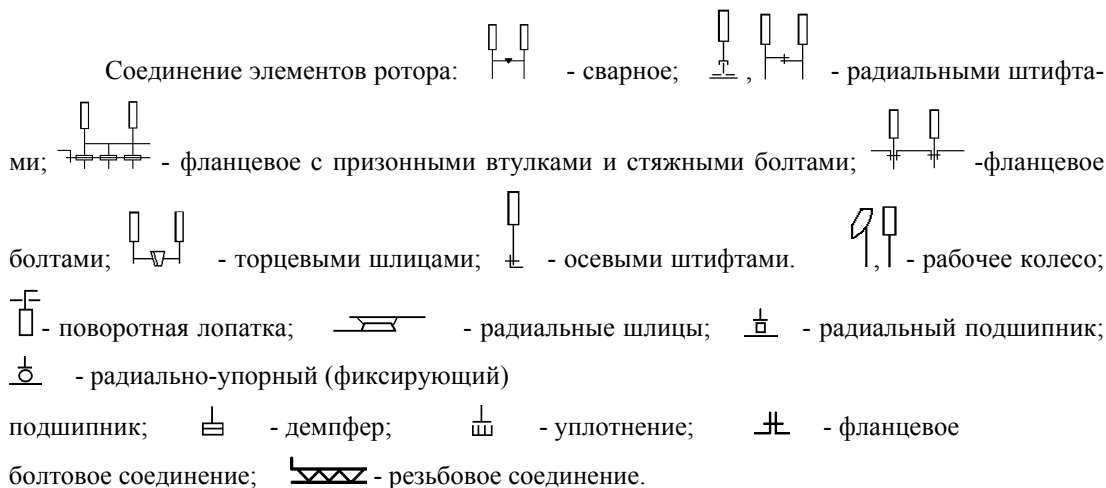
конструкции двигателя позволяет существенно сжать информацию о схеме ГТД и использовать ее для формализации представления конструкции и наполнения информационного поля ГТД. Кроме того, такое абстрактное представление позволяет использовать при проектировании стандартные математические методы.

Таблица 5

Пример выбора классификационных признаков ТРДД

Классификационный признак	Двигатели													
	Д-18Т Д-436	ПС-90А	НК-93	НК-56	X27-2005А	Д-100	Д-110	ПС-12	Trent-800	GE-90	PW-8000	V.2500 PW-2000 PW-4000 PW-6000	GP-7000	CFM-56
Y_1	Y_{010}	Y_{03}	Y_{011}	Y_{011}	Y_{010}	Y_{03}	Y_{08}	Y_{08}	Y_{010}	Y_{010}	Y_{08}	Y_{08}	Y_{010}	Y_{011}
Y_2	Y_{21}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{21}	Y_{21}	Y_{22}	Y_{21}	Y_{21}	Y_{21}	Y_{21}
Y_3	Y_{33}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{33}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{32}	Y_{32}
Y_4	Y_{43}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}	Y_{43}
Y_5	Y_{52}	Y_{52}	Y_{52}	Y_{52}	Y_{52}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{52}	Y_{52}	Y_{51}	Y_{53}	Y_{52}	Y_{51}	Y_{51}
Y_6	Y_{61}	-	Y_{62}	Y_{62}	Y_{62}	-	-	-	Y_{62}	-	-	-	-	-
Y_7	Y_{71}	Y_{71}	Y_{72}	Y_{71}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}	Y_{72}
Y_8	Y_{87}	-	Y_{87}	Y_{83}	Y_{87}	Y_{87}	Y_{87}	Y_{83}	Y_{87}	Y_{87}	Y_{83}	Y_{87}	Y_{87}	Y_{87}
Y_9	-	Y_{92}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Y_{10}	Y_{102}	-	Y_{101}	Y_{102}	Y_{102}	-	-	-	Y_{101}	-	-	-	-	-
Y_{11}	Y_{114}	-	Y_{112}	Y_{111}	Y_{111}	-	-	-	Y_{112}	-	-	-	-	-
Y_{12}	Y_{121}	Y_{122}	Y_{122}	Y_{122}	Y_{121}	Y_{122}	Y_{122}	Y_{122}	Y_{121}	Y_{122}	Y_{121}	Y_{122}	Y_{121}	Y_{122}
Y_{13}	Y_{131}	-	Y_{131}	Y_{131}	-	-	-	-	Y_{131}	-	-	-	-	-
Y_{14}	Y_{141}	-	Y_{143}	Y_{143}	-	-	-	-	Y_{141}	-	-	-	-	-
Y_{15}	Y_{153}	-	Y_{151}	Y_{151}	-	-	-	-	Y_{153}	-	-	-	-	-
Y_{16}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}	Y_{161}
Y_{17}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{171}	Y_{171}	Y_{171}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{173}	Y_{173}
Y_{18}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{183}	Y_{183}	Y_{183}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}	Y_{181}
Y_{19}	Y_{192}	Y_{192}	Y_{191}	Y_{191}	Y_{191}	Y_{192}	Y_{191}	Y_{191}	Y_{192}	Y_{192}	Y_{191}	Y_{191}	Y_{192}	Y_{191}
Y_{20}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}	Y_{204}

Следующим уровнем представления КСС ГТД является схема, изображающая способы передачи усилий в двигателе, соединение элементов друг с другом, наличие и расположение уплотнений и т.д. Предлагается специально разработанная схема условных графических изображений:



Используя эти обозначения можно формализовать описание КСС двигателя и широко использовать CALS-технологии в процессе проектирования и обучения. С применением этой системы построены КСС отечественных ГТД.

На рис. 7 в качестве примера показана схема ТРДД НК-56.

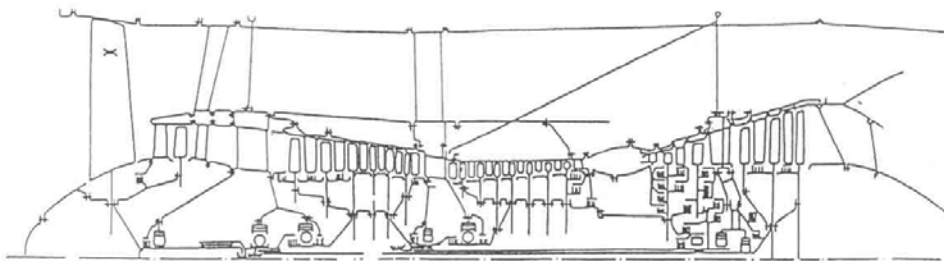


Рисунок 7 - КСС ТРДД НК-56

При этом выявлено, что в процессе развития отечественных двигателей уменьшилось количество их деталей, роторы стремились делать двухопорными, используя для соединения элементов сварку, а также совмещая несколько опор в один силовой пояс. В опорах турбин ТРДД(Ф) современных и перспективных двигателей использованы также межвальные подшипники, при этом в большинстве двигателей в каскаде высокого давления используется одноступенчатая турбина.

На основе установленных ранее (глава 2) закономерностей изменения основных параметров отечественных двигателей, определены лучшие ТРДД и проанализированы их КСС. Сравнение с зарубежными ТРДД показало одинаковый подход к формированию их КСС (рис. 8).

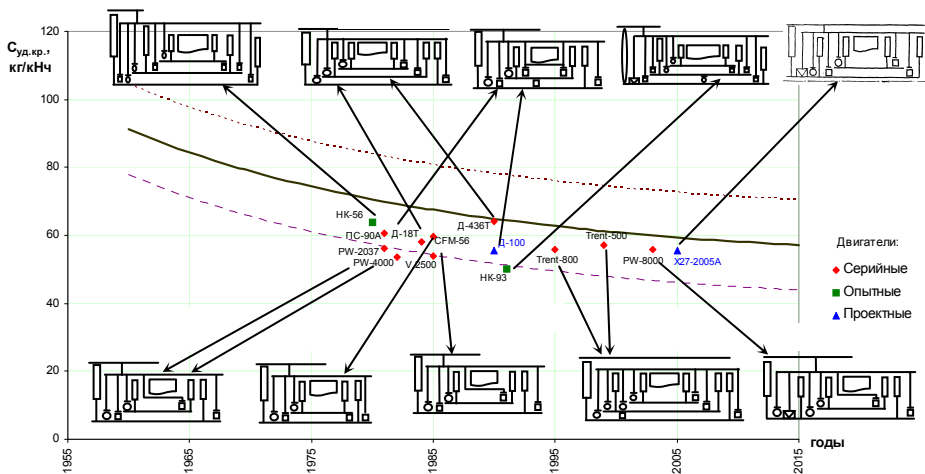


Рисунок 8 - Изменение удельного расхода топлива и КСС некоторых отечественных и зарубежных ТРДД

На примере конструктивных схем ТРДД из табл. 5, используя метод экспертных оценок, сделаны оценки рационального применения каждого конструктивно-схемного решения (табл. 6).

Таблица 6

Экспертные оценки конструктивно-схемных решений ТРДД

Признаки	Решения	Оценки	Комментарии
У ₁	У ₀₁₀	5	Оценки изменяются от 1 до 14 по количеству реализаций данного решения в анализируемых конструктивных схемах. Если некоторые признаки не могут быть реализованы во всех 14 случаях (в таблице 5 прочерки), то их оценка осуществляется приведением к рассматриваемому количеству схем ТРДД, т.е. к 14. Суммарную оценку следует проводить с учетом традиций и опыта проектирования,
	У ₀₃	2	
	У ₀₁₁	3	
	У ₀₈	4	
У ₂	У ₂₁	10	
	У ₂₂	4	
У ₃	У ₃₂	10	
	У ₃₃	4	
У ₄	У ₄₂	1	
	У ₄₃	13	
У ₅	У ₅₁	3	
	У ₅₂	9	
	У ₅₃	2	
У ₆	У ₆₁	3	
	У ₆₂	11	
У ₇	У ₇₁	3	
	У ₇₂	11	
У ₈	У ₈₃	3	
	У ₈₇	11	

У ₉	У ₉₂	1	производства и эксплуатации двигателя. У других экспертов подход к оценкам может отличаться, но интегральная оценка вряд ли изменится.
У ₁₀	У ₁₀₁	6	
	У ₁₀₂	8	
У ₁₁	У ₁₁₁	6	
	У ₁₁₂	6	
	У ₁₁₄	2	
У ₁₂	У ₁₂₁	5	
	У ₁₂₂	9	
У ₁₃	У ₁₃₁	14	
У ₁₄	У ₁₄₁	7	
	У ₁₄₃	7	
У ₁₅	У ₁₅₁	7	
	У ₁₅₃	7	
У ₁₆	У ₁₆₁	14	
У ₁₇	У ₁₇₁	3	
	У ₁₇₃	11	
У ₁₈	У ₁₈₁	11	
	У ₁₈₃	3	
У ₁₉	У ₁₉₁	8	
	У ₁₉₂	6	
У ₂₀	У ₂₀₄	14	

Проведенные исследования позволили разработать предполагаемые схемы ТРДД, имеющего высокие удельные параметры. Это двигатель с большой ($m = 6...12$) или сверхбольшой ($m = 15...25$) степенью двухконтурности, двух - (рис. 9,а) или трехроторный (рис. 9,б) с минимальным количеством опор и силовых поясов (в турбине – один). Опора турбины высокого давления расположена за турбиной.

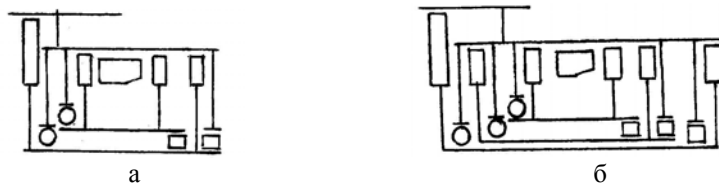


Рисунок 9 - Предполагаемые схемы перспективного ТРДД

На основе анализа развития авиационных ГТД показано, что эффективность улучшения их параметров в пределах данного поколения двигателей постоянно снижается, т.е. при неизменной методологии создания и эксплуатации двигателей, технологии и применяемых материалах каждое улучшение любого параметра двигателя требует все больших затрат.

Выявлено, что развитие перспективных двигателей летательных аппаратов связано с качественным переходом, поиском альтернативных технических решений. Тем не менее, при проектировании новых конструкций часто используется принцип «прототипов», т.е. применения проверенных, хорошо зарекомендовавших себя конструкторских решений. При этом для конструктора важно иметь возможность увидеть эти «прототипы» в натурном виде.

Таким образом, имеется потребность в систематизированном, научно обоснованном представлении авиационных ГТД в виде соответствующим образом препарированных натуральных макетов двигателей.

Пятая глава посвящена созданию Центра истории авиационных двигателей (ЦИАД) имени академика Н.Д. Кузнецова. В этом Центре, входящем во Всероссийский реестр музеев, собрана крупнейшая в мире коллекция отечественных авиационных ГТД. Здесь наглядно представлены в одном месте основные отечественные конструкторские и производственные школы авиадвигателестроения. ЦИАД является единственным в стране, где создан банк реализованного инженерного опыта в области авиационного газотурбинного двигателестроения. Многие двигатели, имеющиеся в ЦИАД, являются уникальными, сохранившиеся в единственном или небольшом количестве экземпляров (РД-45, АМ-3, АМ-5, РД16-15, НК-12М, Д-20П, НК-4, ТВ-2, НК-6, РД-900, НК-56 и др.). ЦИАД имеет деловые контакты с основными разработчиками и производителями авиационных ГТД в России и в других странах.

Разработана методика представления собрания двигателей в ЦИАД, позволяющая изучать процесс зарождения и развития конструкции в контексте исторических процессов, событий, фактов и представлять диалектику авиадвигателестроения как результат инженерного и научного творчества.

В рамках деятельности ЦИАД разработана методология решения одной из важнейших задач – сохранения преемственности, связи поколений в процессе передачи и освоения опыта двигателестроения. При этом главными целями являются информационно-просветительская, пропаганда научно-технических идей и воспитание у молодежи интереса к научно-технической деятельности.

Создано специальное оборудование и разработана методика препарирования авиационных ГТД и изготовления их макетов для использования в учебном процессе вуза. Разрезной макет ГТД должен наглядно представлять движение рабочего тела в двигателе, на нем должны быть видны основные элементы роторов и статоров, типы соединения элементов, способы передачи основных силовых потоков. На препарированном двигателе должны быть видны основные газовые и масляные полости, пути транспортировки воздуха. На макете должны быть представлены основные системы двигателя и элементы его крепления к летательному аппарату.

Сформировано информационное поле ГТД, включающее также объемные модели авиадвигателей и пространство их размещения, позволяющее создавать «виртуальную» экспозицию ГТД, формировать целостное представление и структурировать информацию о развитии двигателей в историческом аспекте.

Разработана информационная модель ГТД, поддерживающая все уровни иерархии описаний и представленная электронными карточками систем управления базами данных.

Впервые в России создана информационная структура: КСС ГТД - опоры турбокомпрессора – заводской каталог подшипников (рис. 10, 11), позволяющая проектировщику осуществлять оперативный выбор подшипника, а также наглядно представлять возможные варианты проектирования опор ГТД. На рис. 10 показан интерфейс, а на рис. 11 – страница каталога.

ЗАВОД АВИАЦИОННЫХ ПОДШИПНИКОВ																									
Двигатель	Д-18т	Применение																							
<p>Внешний вид</p>  <p>Продольный разрез</p>  <p>Конструктивная схема</p> 	<p>Параметры</p> <table border="1"> <tr><td>$P_{вкл}$, кН</td><td>230</td></tr> <tr><td>$C_{уд.кр}$, кг/кН.ч</td><td>35,7</td></tr> <tr><td>G_b, кг/с</td><td>760</td></tr> <tr><td>$\lambda_{уд}$</td><td>25</td></tr> <tr><td>T_c, К</td><td>1600</td></tr> <tr><td>η</td><td>5,6</td></tr> <tr><td>$n_{вкл}$, об/мин</td><td>-</td></tr> <tr><td>$n_{вкл}$, об/мин</td><td>-</td></tr> <tr><td>$n_{вклт}$, об/мин</td><td>-</td></tr> <tr><td>$n_{вклт}$, об/мин</td><td>-</td></tr> <tr><td>$M_{вкл}$, кг</td><td>4100</td></tr> </table>	$P_{вкл}$, кН	230	$C_{уд.кр}$, кг/кН.ч	35,7	G_b , кг/с	760	$\lambda_{уд}$	25	T_c , К	1600	η	5,6	$n_{вкл}$, об/мин	-	$n_{вкл}$, об/мин	-	$n_{вклт}$, об/мин	-	$n_{вклт}$, об/мин	-	$M_{вкл}$, кг	4100	<p>Ан 124</p>  <p>Ан 225</p> 	
$P_{вкл}$, кН	230																								
$C_{уд.кр}$, кг/кН.ч	35,7																								
G_b , кг/с	760																								
$\lambda_{уд}$	25																								
T_c , К	1600																								
η	5,6																								
$n_{вкл}$, об/мин	-																								
$n_{вкл}$, об/мин	-																								
$n_{вклт}$, об/мин	-																								
$n_{вклт}$, об/мин	-																								
$M_{вкл}$, кг	4100																								
Подшипники																									
Обозначения		Страница каталога	Габариты (мм)																						
			Глубина	Ширина																					
1	1126964Д1УТ2		-	-																					
2	1126956Р1		-	-																					
3	1126944Р2	13	300	220 44/38																					
4	272744РЗУ(У1)	22	280	220 24/62																					
5	272744РЗУ(У1)	22	280	220 24/62																					
ОАО "ЗАП" 443088, г. Самара, ул. Мичурина, 98а, т/ф: (8462) 38-72-30, e-mail: mail@zavlabearings.com																									

Рисунок 10 - Фрагмент базы данных по опорам турбокомпрессоров ГТД

Применение подшипников ЗАП в роторах турбокомпрессоров двигателей пассажирских самолётов и вертолётов														
Подшипник	Двигатель	Самолёт (вертолёт)	Размеры					Обозначение	№ Рис.	Нагрузки		Вращение		Вес кг
			d	D	B	r_{min}	r_{1min}			C	C_0	Сухое	Масло	
			мм							Н		мин ⁻¹		
2672934Р5У	НК-8-2, НК-8-2У, НК-8-4	Ту-154, Ту-154Б	170	215	27	1,3	-	2002834	5,4	74600	70800	3000	3500	2,56
		Ил-62	230	28	2,0	1,1	1002934	5,4	150300	124300	1800	2000	3,350	
		Ил-86	230	36/33	2,0	1,1	2672934	5,10	188560	163680	2000	2600	4,21	
272734Р1	Д-18Т		235	28/65	2,0	-	272734	5,13	171350	140890	2000	2600	5,48	
272744РЗУ(У1)			20	28	1,8	1,8	7002134	5,4	192500	175000	2000	2600	5,96	
			20	24/62	-	-	272744	5,13	126480	121830	1400	1600	6,4	
272822Р1	Д-36, Д(Т1, Т2, Т3), М		170	10	19	1,1	-	2002822	5,4	39610	30880	2800	3200	0,75
				10	5,4	54930	45790	2800	3200	0,789				
				10	5,17	54930	45790	2800	3200	0,824				
				10	5,10	71200	54400	2700	3000	1,15				
				10	5,17	71200	54400	2700	3000	1,438				
				10	5,1	128000	88000	3800	4500	2,335				
				10	5,10	139200	102300	3800	4500	2,94				
				10	5,1	229000	166000	3000	3600	4,993				
				10	5,4	391000	290000	2400	3000	12,2				
				10	5,2	391000	290000	2400	3000	12,68				
276915Б3Т	АИ-20	Ан-10, Ил-18	76	146				2,4	100690	65328	3600	5000	2,253	
292106Р	ТВ-7-117	Ил-114	36,5	55				5,5	17900	7850	12000	15000	0,103	
292136Д1Т2	НК-12МВ	Ту-114	205	280				5,5	320480	246900	2000	2600	7,2	
292203Р	ГТД-350Б	Ми-2	22,9	40	12	0,7	-	292203	5,5	10800	5200	17000	20000	0,0558

Рисунок 11- Пример представления информации о подшипниках в информационном поле ГТД

Разработанная методика исторического анализа деятельности предприятий и организаций авиадвигателестроения позволила системно представить факторы и тенденции развития научно-конструкторских и производственных школ, входящих в Самарский аэрокосмический комплекс, на международных выставках «Партнер-Россия» (Италия, 1996 г.), МАКС (1995,

1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007 гг.), «Двигатели» (1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 гг.).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В результате проведения комплекса исследований в диссертационной работе получено решение крупной научной проблемы повышения эффективности процессов создания авиационных ГТД, имеющей важное хозяйственное значение. В результате обобщения историко-научного материала воссоздана целостная картина развития отечественного авиационного газотурбинного двигателестроения, что позволило решить научную проблему, имеющую важное социально-культурное значение. Выявленные особенности и закономерности развития отечественных авиационных ГТД и разработанные рекомендации создают предпосылки для успешного развития авиационного двигателестроения в России в XXI столетии.

При подведении итогов проведённых исследований можно сделать следующие выводы:

1. В результате анализа деятельности отечественных конструкторских бюро разработаны информационные базы данных по параметрам, КСС, элементам конструкции и применению авиационных ГТД, позволяющие реализовать компьютерную информационную систему хранения, поиска и ретроспективного анализа информации по двигателям, что дает возможность применять в новых разработках апробированные конструктивные и технологические решения.

2. На основании анализа основных параметров отечественных ГТД выявлены тенденции их развития, разработано графическое и аналитическое представление параметров в виде временных рядов, позволившее создавать методологию оценки изменения параметров, эффективности их совершенствования и осуществлять поиск путей развития авиационных двигателей. Показано, что развитие перспективных двигателей необходимо осуществлять с учётом взаимного влияния параметров двигателя и его КСС.

3. В результате анализа КСС и элементов конструкции отечественных двигателей разработано обобщенное системное представление КСС отечественных ГТД, созданных за весь период их развития, что позволяет прогнозировать развитие КСС двигателей, а также повышать качество подготовки проектировщиков авиационных двигателей за счет возможности в полном объеме оперативно проанализировать КСС и элементы конструкции ГТД.

4. На основании анализа конструкции отечественных авиационных ГТД созданы система условных графических изображений элементов конструкции ГТД и модели описания взаимодействия роторов и статоров двигателей, разработаны принципы алгоритмизации процессов анализа и синтеза КСС ГТД на ранних этапах проектирования, что позволяет существенно сжать информацию о двигателе, создать его обобщенную КСС и тем самым формализовать процесс описания структуры ГТД.

5. На основании исследования деятельности отечественных конструкторских бюро и предприятий-изготовителей авиационных ГТД, выявления взаимного влияния этих организаций, а также анализа тенденций развития конструкции и параметров двигателей предложена модель эффективного процесса создания следующих типов отечественных авиационных двигателей: ТРДДФ для боевой авиации; ТРДД, ТВД, ТВВД для транспортной и гражданской авиации, а также малоразмерных ТРДД, ТВД, ТВдА, ВСУ, что способствует развитию авиадвигателестроения в России в XXI столетии.

6. В результате анализа деятельности отечественных предприятий авиадвигателестроения впервые создан наиболее полный в настоящее время справочник по параметрам, конструктивным схемам и применению более трёхсотпятидесяти отечественных ГТД, включая серийные и опытные двигатели, а также проекты, что позволяет повысить качество проектирования двигателей.

7. На основании поиска, систематизации и научного представления в историческом развитии образцов ГТД создан ЦИАД имени академика Н.Д. Кузнецова, являющийся крупнейшим в мире музеем отечественных авиационных ГТД, что позволяет сохранить и экспонировать выдающиеся достижения инженерной мысли – авиадвигатели – национальное достояние России и обеспечить преемственность, передачу опыта и связь поколений. ЦИАД внесен во Всероссийский реестр музеев, международные каталоги музеев, а также является корпоративным членом британского авиадвигательного фонда Rolls-Royce Heritage Trust.

8. На основании использования методов теории универсального эволюционизма и системного подхода к комплексному исследованию процессов, происходящих в отечественном авиадвигателестроении, разработаны принципы представления собрания двигателей в ЦИАД, позволяющие изучать процесс зарождения и формирования конструкции в контексте исторических процессов, событий, фактов и представлять диалектику авиадвигателя как результат инженерного и научного творчества и воссоздать целостную картину развития отечественного авиационного двигателестроения.

9. Разработанные автором методики исторического анализа деятельности предприятий и организаций авиадвигателестроения позволили системно представить факторы и тенденции развития его научно-конструкторских и производственных школ, входящих в Самарский аэрокосмический комплекс, на международных выставках «Партнер-Россия» (Италия, 1996 г.), МАКС (1995, 1997, 1999, 2001, 2003, 2005, 2007 гг.), «Двигатели» (1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 гг.).

10. На основании анализа исторических технических документов, а также изучения деятельности немецких специалистов в области реактивного авиационного двигателестроения выявлены основные конструкторские разработки и особенности технологии изготовления элементов авиационных ГТД, впервые созданные в Германии, что позволило воссоздать целостную картину заимствования немецкого опыта в области авиадвигателестроения и оценить его влияние на развитие конструкций ГТД в СССР и в других странах.

Таким образом, решена крупная научная проблема повышения эффективности процессов создания авиационных ГТД и воссоздания целостной картины их развития, имеющая важное социально-культурное и хозяйственное значение.

Основные научные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определённых Высшей аттестационной комиссией

1. Зрелов, В.А. Изменение характеристик вертолетных ГТД по наработке [Текст] / А.И. Белоусов, В.А. Зрелов, Ю.Н. Мальцев // Изв. вузов: Авиационная техника. – Казань, 1988. № 3. – С. 26-29.

2. Зрелов, В.А. Информационное поле отечественных авиационных ГТД [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов // Вестник СГАУ: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. - Самара: СГАУ. Ч.1. 2001. - С. 214-218.
3. Зрелов, В.А. Анализ параметров авиационных газотурбинных двигателей фирм GE, R-R, PW [Текст] / В.А. Зрелов, М.Н. Егоров, М.Е. Проданов // Вестник СГАУ: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. – Самара, 2003. № 1. - С. 52-53.
4. Зрелов, В.А. Анализ развития отечественных ТРДД(Ф) [Текст] / В.А. Зрелов, С.В. Бугаев, М.Е. Проданов // Вестник СГАУ: Проблемы и перспективы развития двигателестроения. – Самара, 2003. № 1. - С. 53-54.
5. Зрелов, В.А. Анализ деятельности отечественных предприятий авиамоторной промышленности [Текст] / В.А. Зрелов // Полёт. 2005. № 7.- С. 24 – 31.
6. Зрелов, В.А. Ретроспективный анализ конструктивных схем отечественных ГТД [Текст] / В.А. Зрелов, А.И. Белоусов // Изв. вузов: Авиационная техника. – Казань, 2005. № 4.- С. 36-40.
7. Зрелов, В.А. Формирование конструктивной схемы прототипа ГТД для информационной поддержки обучения [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов // Вестник СГАУ: Актуальные проблемы развития университетского технического образования в России.- Самара, 2006. № 1.- С. 85.
8. Зрелов, В.А. Формирование структуры данных о подшипниках в информационном поле ГТД [Текст] / В.Б. Жарский, В.А. Зрелов, В.В. Макарчук, М.Е. Проданов // Вестник СГАУ: Проблемы и перспективы развития авиадвигателестроения. – Самара, 2006. № 2.- С. 255-259.
9. Зрелов, В.А. Модель взаимодействия предприятий авиадвигателестроения России [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, С.А. Шустов // Вестник СГАУ: Проблемы и перспективы развития авиадвигателестроения. –Самара, 2006. № 2. - С. 331-333.
10. Зрелов, В.А. Анализ развития отечественных ГТД статистическими методами проектирования [Текст] / В.А. Зрелов, С.В. Бугаев // Полёт. 2006. № 6. С. 55-59.
11. Зрелов, В.А. Информационная поддержка этапа технической эксплуатации в жизненном цикле изделий авиастроения [Текст] / Ю.В. Киселёв, В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, С.К. Бочкарёв, Д.Ю. Киселёв // Вестник СГАУ: Проблемы и перспективы развития авиадвигателестроения. –Самара, 2007. № 2.- С. 236-246.
12. Зрелов, В.А. Анализ динамики создания отечественных авиационных ГТД [Текст] / В.А. Зрелов, А.И. Белоусов, М.Е. Проданов // Изв. вузов: Авиационная техника. - Казань, 2008. № 4.- С. 36-40.

Монографии

13. Зрелов, В.А. Отечественные авиационные ГТД. Основные параметры и конструктивные схемы [Текст] / В.А. Зрелов. – М.: Машиностроение, 2005. – 336 с.
14. Зрелов, В.А. Российские ГТД [Текст] / В.А. Зрелов. - Пекин: National Defense Industry Press, 2006. - 436 с.
15. Вертолётные газотурбинные двигатели [Текст] / В.А. Зрелов [и др.]; под общ. ред. В.А. Григорьева и Б.А. Пономарёва. – М.: Машиностроение, 2007. – 491 с.

16. Зрелов, В.А. Двигатели «НК» [Текст] / В.А. Зрелов, Г.Г. Карташов - Самара: Самар. Дом печати, 1999. – 288 с.
17. Германские авиационные специалисты в Советской России. Судьба и работа 1945-1954 гг. Т.1. Московский регион. [Текст] В.А. Зрелов [и др.]; - Россия-Германия, 1996. – 272 с.
18. Германские авиационные специалисты в Советской России. Судьба и работа 1945-1954 гг. Т.2. Поволжский регион. [Текст] В.А. Зрелов [и др.]; - Россия-Германия, 1996. – 280 с.

Другие издания

19. Зрелов, В.А. Выбор конструкции уплотнений опор авиационных ГТД [Текст / В.А. Зрелов // Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов. - Куйбышев, 1989. - С. 21-27.
20. Зрелов, В.А. Конструкция и проектирование уплотнений вращающихся валов турбомашин ДЛА. [Текст]]: учебное пособие / А.И. Белоусов, В.А. Зрелов - Куйбышев: КуАИ, 1989. - 142 с.
21. Зрелов, В.А. Учебно-методические и научно-исследовательские аспекты деятельности Центра истории авиационных двигателей [Текст] / В.А. Зрелов, В.И. Костин // Совершенствование подготовки специалистов аэрокосмического профиля. - Самара: САИ, 1992. - С. 52-54.
22. Зрелов, В.А. Актуальные проблемы истории авиадвигателестроения [Текст] / В.А. Зрелов, Ю.С. Воронков // Двигатели-92. - М., 1992.- С. 8-9.
23. Зрелов, В.А. Самарский аэрокосмический комплекс [Текст] / В.А. Зрелов, Д.Е. Чегодаев // Самарская область: информационный каталог. - М., 1996. - С. 3-6.
24. Zrelow V.A., Show B. Russian Aviation Gas Turbine Engines as a Rural and Industrial Energy Supply Option // Energy for the Millions. - Bangalore. India.1996. - pp. 30-42.
25. Зрелов, В.А. Исторический метод изучения конструкции двигателей [Текст] / В.А. Зрелов // Развитие и совершенствование учебного процесса на основе опыта подготовки специалистов для аэрокосмической отрасли. - Самара: СГАУ, 1997. - С. 41- 48.
26. XI международный симпозиум по истории авиации и космонавтики [Текст] сб. материалов. - М.: ИИЕТ РАН, 1997. - С. 37-38.
27. XI международный симпозиум по истории авиации и космонавтики [Текст] сб. материалов. - М.: ИИЕТ РАН, 1997. - С. 40-41.
28. Зрелов, В.А. Комплексная информационная система по конструктивным схемам ГТД [Текст] / В.А. Зрелов // Развитие и совершенствование учебного процесса для подготовки специалистов XXI века. - Самара: СГАУ, 1998. - С. 52-56.
29. Зрелов, В.А. Самарские моторы [Текст] / Е.А. Гриценко, В.А. Зрелов, И.Л. Шитарев // Самарская область: информационный каталог. - М., 1998. - С. 6-14.
30. Зрелов, В.А. Применение новых информационных технологий двигателестроения для ускоренного развития России [Текст] / В.А. Зрелов, Д.Е. Чегодаев, М.Е. Проданов // Цивилизованный бизнес как фактор устойчивого развития России. - М., 1998. - С. 24-27.

31. Зрелов, В.А. Обучение проектированию ГТД с использованием методов инженерного творчества и компьютерных технологий [Текст] / В.А. Зрелов, Д.Е. Чегодаев, М.Е. Проданов // Научно-методические проблемы высшего образования на рубеже XXI века. - Самара: 1998. Вып. 1. - С. 65-75.
32. Зрелов, В.А. Авиационные, ракетные и наземные промышленные двигатели, производимые в Самаре [Текст] / В.А. Зрелов, Е.В. Матвеева // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе. - Самара: СГАУ, 1998. Вып. 2. Ч.1. - С. 4-8.
33. Зрелов, В.А. Деятельность немецких специалистов на Государственном союзном опытном заводе № 2 [Текст] / В.А. Зрелов, И.Я. Селивёрстова // Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе. - Самара: СГАУ, 1998. Вып. 2. Ч. 1.- С. 26-32.
34. Зрелов, В.А. Анализ конструкций и наследственные признаки ГТД [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, Д.Е. Чегодаев // Аэрокосмический комплекс в истории Отечества. - Самара: 1999. - С. 24-26.
35. Зрелов, В.А. Анализ применения в СССР опыта Германии в области разработки авиационных ГТД [Текст] / В.А. Зрелов, И.Я. Селивёрстова // Аэрокосмический комплекс в истории Отечества. - Самара: 1999. - С. 29-34.
36. Zrelov V.A., Jarsky V.B. Bearings of SBP Using in Aviation Engines // Bearing Supplier Conference: Rolls-Royce. Derby. England. 1999. pp. 18-24.
37. Зрелов, В.А. Основные данные отечественных авиационных ГТД и их применение при учебном проектировании [Текст]: учебное пособие / В.А. Зрелов, В.Г. Маслов - Самара: СГАУ, 1999. - 160 с.
38. Зрелов, В.А. Часовые истории из Самары [Текст] / В.А. Зрелов // Двигатель. № 3. 1999. - С.51-53.
39. Зрелов, В.А. Учебно-научный мультимедийный комплекс «виртуальная экспозиция авиационных ГТД» [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, А.И. Ермаков // История двигателей в XX веке. - М.: 2000.- С. 85.
40. Зрелов, В.А. Исторический анализ развития конструктивных схем отечественных ГТД [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, Д.Е. Чегодаев // Проблемы и перспективы развития двигателей в Поволжском регионе. - Самара: 1999. - С. 244-246.
41. Зрелов, В.А. Технология компьютерной поддержки и инженерное творчество [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов // Актуальные проблемы развития университетского технического образования в России.- Самара: 2001. - С. 119.
42. Международные научные чтения «И.И. Сикорский и развитие творческого наследия выдающихся российских авиаторов» [Текст]: сб. материалов. - М. - СПб.: 2001.- 157 с.
43. Зрелов, В.А. ГТД – конструктор для начинающих [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, Е.И. Яблочников // Двигатель. № 5. 2001.- С. 16-19.
44. Зрелов, В.А. Самарское авиационное двигателестроение и его значение в экономической и политической жизни страны [Текст] / В.А. Зрелов, Ю.А. Ткаченко // Самара в контексте мировой культуры. - Самара: 2001. - С. 36.
45. Зрелов, В.А. Влияние немецкого инженерного опыта на развитие реактивного двигателестроения в СССР [Текст] / В.А. Зрелов // Самара в контексте мировой культуры. - Самара: 2001. - С. 69.

46. Зрелов, В.А. Самарские подшипники в двигателях отечественной гражданской авиации [Текст] / В.А. Зрелов, В.К. Ершов, В.Б. Жарский, М.Е. Проданов // Двигатель. № 2. 2002.- С. 18-19.
47. Зрелов, В.А. Опыт создания уплотнений быстро вращающихся валов для авиационных двигателей [Текст] / А.И. Белоусов, С.В. Фалалеев, В.А. Зрелов // Герметичность, вибропрочность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования. - Сумы: 2002. Т.1. -С. 33-39.
48. Зрелов, В.А. Центр истории авиационных двигателей [Текст] В.А. Зрелов // От КуАИ до СГАУ. 1942 - 2002. - Самара: Самар. Дом печати. 2002. - С. 194-199.
49. Зрелов, В.А. Технологии компьютерной поддержки и инженерное творчество при обучении конструированию ГТД. [Текст] / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов // Современные научно-методические проблемы высшего образования. - Самара: СГАУ. № 2. 2002. - С. 132-143.
50. Зрелов, В.А. Отечественные авиационные ГТД. Основные параметры и конструктивные схемы [Текст]: учебное пособие / В.А. Зрелов - Самара: СГАУ . 2002. – 460 с.
51. Зрелов, В.А. Изучение конструктивно-силовых схем авиационных ГТД [Текст]: метод. указания / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, И.А. Кривошеев, А.В. Карпов, А.Н. Сапожников - Уфа: Уфимский гос. авиац. техн. ун-т, - 2004. - 28 с.
52. Зрелов, В.А. Систематизация конструктивных схем турбокомпрессоров отечественных авиационных ГТД [Текст] / В.А. Зрелов, А.И. Белоусов, М.Е. Проданов // Герметичность, вибропрочность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования. – Сумы, 2005. Т.3.-С. 41-47.
53. Зрелов, В.А. Анализ конструктивных схем компрессоров и турбин по расположению опор [Текст] / В.А. Зрелов, А.И. Белоусов // Герметичность, вибропрочность и экологическая безопасность насосного и компрессорного оборудования. – Сумы, 2005.Т.3.- С. 48-57.
54. Зрелов, В.А. Разработка конструктивных схем ТРДД с высокими удельными параметрами [Текст] / В.А. Зрелов, А.И. Белоусов, М.Е. Проданов // Аэрокосмическая техника и технология. – Харьков, 2005. № 10/26.- С. 11-15.
55. Зрелов, В.А. Конструктивно-силовые схемы авиационных двигателей и энергетических установок [Текст]: учебное пособие / В.А. Зрелов, Д.К. Новиков, Е.А. Панин – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2006. - 54 с.
56. Зрелов, В.А. Формирование данных по параметрам и применению двигателей-прототипов при проектировании авиационных ГТД [Текст]: учебное пособие / В.А. Зрелов, М.Е. Проданов, А.Ю. Цой – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2006. - 56 с.
57. Зрелов, В.А. Объектное описание применения продукции ОАО «ЗАП» в авиадвигателях и наземных ГТУ [Текст] / В.Б. Жарский, В.А. Зрелов, В.В. Макаrchук, М.Е. Проданов // Двигатель. 2007. № 3. С. 28-29.