

УДК 621.452: 004

И. А. КРИВОШЕЕВ

МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РАЗВИТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ В ОБЛАСТИ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Рассматриваются основные аспекты внедрения высоких технологий в промышленности России, в сфере науки и образования. Описаны полученные в НИЛ САПР-Д УГАТУ результаты развития моделей, методов и средств создания и использования в учебной и научной деятельности в области авиационных двигателей и энергоустановок, моделирования процессов и проектирования систем информационных ресурсов на основе средств моделирования, CALS/ИПИ- и ИЛП-технологий. *Информационные ресурсы; авиационные двигатели; энергоустановки; информационная поддержка; жизненный цикл; интегрированная логистическая поддержка; CALS/ИПИ-, ИЛП-технологии*

В настоящее время для промышленности России особенно важным стало внедрение высоких технологий [1, 3]. Это необходимо как для обеспечения конкурентоспособности экономики, так и для сохранения и развития отечественного научно-технического потенциала. При этом ведущие страны Европы и США (а теперь уже Китай, Индия, Израиль, Венесуэла) в своем развитии делают ставку на авиацию, космонавтику, энергетику [14].

В соответствии с концепцией информационной поддержки жизненного цикла (ЖЦ) изделий (CALS/ИПИ) в образовании и научной деятельности, а также в промышленности актуальным является создание единого информационного пространства (ЕИП) [3–5]. В связи с этим весьма актуально развитие моделей, методов и средств создания и использования в учебной и научной деятельности информационных ресурсов в таких областях, как авиационные двигатели, энергоустановки [7, 8, 10]. Средством и одновременно предметом изучения при этом являются моделирование процессов, проектирование систем, CALS/ИПИ- и ИЛП-технологии [3, 5, 9]. Под аббревиатурой ИЛП понимается компьютеризированная интегрированная логистическая поддержка процессов производства и эксплуатации (послепродажного сервисного обслуживания) сложных наукоемких изделий.

Работы в перечисленных выше направлениях ведутся на протяжении ряда лет в НИЛ САПР-Д кафедры АД УГАТУ [13]. В результате разработана концепция, методы и сред-

ства системной организации и информационной поддержки разработки и эксплуатации авиационных двигателей и энергетических установок [12]. Так, например, для организации информационного фонда отдельных ОКБ и отрасли в целом предлагаются методы построения библиотек структурных элементов (функциональных, конструкторских, технологических), метод сетевого представления их внутренней структуры (для развития CASE-технологии), версия системы принятия решений (СППР) в процессе проектирования и доводки и т. д. [6, 17].

Внедрение этих результатов на предприятиях показало, что новая технология системной разработки сложных изделий (таких как авиационный ГТД) требует изменений в организации работ [19]. На уровне предприятия и отдельных подразделений в структуре появляются новые специалисты, а также отделы и группы. Меняются функции и роль специалистов, традиционно занятых в ОКБ, на заводах и в сфере эксплуатации изделий. В новой технологии «узкие специалисты»:

- формируют классификаторы, карты сетевого представления моделей функциональных, конструкторских и технологических элементов;
- экспертно или, проводя статистический анализ, заполняют базы статистической информации для принятия решений — строки для экстремальных точек, параметры распределения, физические границы для альтернатив; участвуют в формировании библиотек моделей;

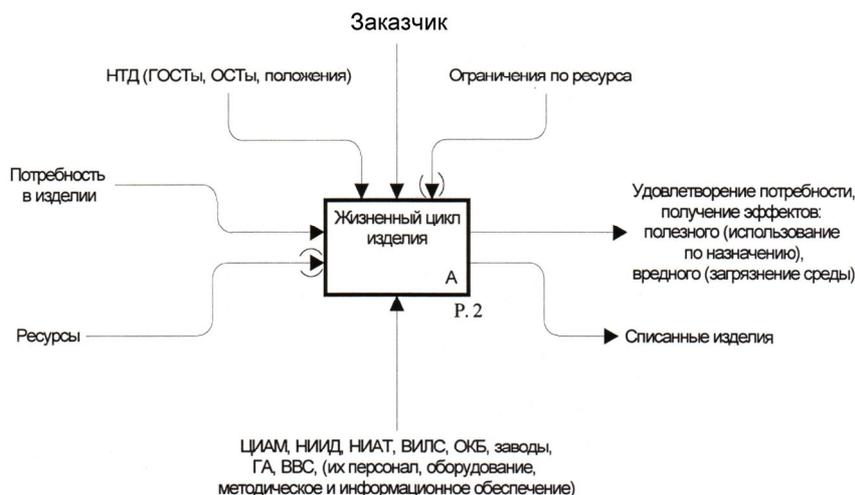


Рис. 1. Верхний уровень построенной IDEF0-модели жизненного цикла авиационного ГТД

• при проектировании изделия принимают участие в анализе результатов (которые получают специалисты по автоматизированному проектированию), в назначении границ и весовых коэффициентов, в наращивании моделей (добавлении факторов).

В рамках новой технологии при проектировании «сверху вниз» модели формируются специалистами — ведущими по изделию, по узлам и т. д., которые, по мере необходимости, прибегают к помощи «узких специалистов».

Все это показывает, что технические вузы должны менять номенклатуру специальностей и характер подготовки специалистов. При этом актуально использование новых подходов к моделированию, CALS/ИПИ и ИЛП-технологий. Так, например, при рассмотрении функциональных моделей жизненного цикла изделий (рис. 1) можно обнаружить, что специалисты здесь присутствуют в составе «механизмов» реализации блоков переработки информации и в составе элементов управления.

Применение методологии SADT и методик IDEF для структурного анализа существующих технологий подготовки специалистов (рабочих планов и т. д.) и «жизненного цикла специалиста» позволяет получить соответствующие модели для реинжиниринга учебного процесса и проводимых в университете НИР. Основной целью при этом является приведение образовательного процесса и проводимых НИР в соответствие с новыми возможностями эффективного обеспечения всех стадий ЖЦ изделий определенных классов на основе CALS/ИПИ-технологий.

Многолетний опыт преподавательской деятельности на кафедре авиационных двигателей и научно-исследовательской работы в Управлении НИР УГАТУ, а также в НИЛ САПР-Д подтверждает известный факт, что:

- научно-исследовательская работа обогащает учебный процесс, позволяет вовлекать в него новые технологии;
- тесная работа со студентами (индивидуальная работа, работа над курсовым проектом, дипломное проектирование), с магистрантами и аспирантами порождает новые идеи, позволяет делать хоть и маленькие, но открытия.

Разработка методик использования современных информационных ресурсов, в частности, в виде единого информационного пространства (ЕИП) по авиационным двигателям и энергетическим установкам, моделированию процессов, проектированию систем, по CALS/ИПИ-технологии (ЕИП по АД и ЭУ) в учебном процессе и научной деятельности, проводимой НИЛ САПР-Д кафедры АД, позволила решить ряд научно- и учебно-методических и технологических задач общего характера по основным аспектам внедрения высоких технологий в промышленности России, в сфере науки и образования. Эти результаты касаются развития моделей, методов и средств создания и использования в учебной и научной деятельности в области авиационных двигателей и энергоустановок, моделирования процессов и проектирования систем информационных ресурсов на основе средств моделирования, CALS/ИПИ- и ИЛП-технологий.



Рис. 2. Процессы, использующие информацию об изделии



Рис. 3. Структура единого информационного пространства по АД, ЭУ, моделированию процессов, проектированию систем, CALS/ИПИ-технологиям

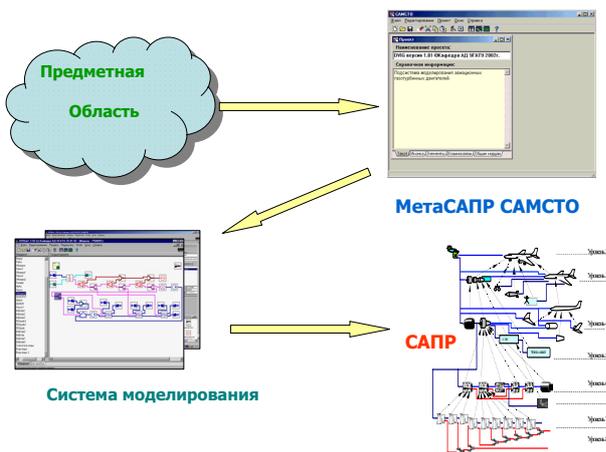


Рис. 4. Условная схема разработанной в НИЛ САПР-Д открытой технологии моделирования и автоматизированного проектирования сложных систем и процессов

Фундаментальная составляющая научно-методического комплекса ЕИП по АД и ЭУ развивается в рамках проводимых на кафедре АД (в том числе в НИЛ САПР-Д) НИР

в области САПР, CALS/ИПИ-технологий в двигателестроении [15]. В разрабатываемое ЕИП по АД и ЭУ входят методы и средства для исследования (на основе экспозиции реального и виртуального музея АД, с использованием имитационного моделирования и созданных CAD/CAE/PDM-приложений) рабочих процессов в двигателях, процессов управления ими, методологии проектирования, выявления логики принятия проектных решений, связи структуры объекта с его параметрами и условиями использования, динамики развития технических систем, их формализации и формирования на этой основе новой методологии проектирования с использованием средств поддержки принятия решений (СППР), средств имитационного моделирования (СИМ) и CAD/CAE/PDM [12, 13, 16, 18, 20].

Один из выполняемых в НИЛ САПР-Д проектов под названием «Развитие моделей, методов и средств создания и использования в учебной и научной деятельности информационных ресурсов в области авиационных двигателей, энергоустановок, моделирования процессов, проектирования систем, CALS/ИПИ-технологий» непосредственно направлен на решение всех этих проблем. При этом на этапе 2006 года решаются следующие задачи:

- разработка структуры единого информационного пространства (ЕИП) и последовательности его наполнения оптимальными (по адекватности, продуктивности, робастности) для каждого этапа жизненного цикла технической системы моделями (рис. 2);
- разработка распределенной информационной инфраструктуры, классификаторов, рубрикаторов, форматов метаописаний информационных ресурсов сферы науки и образования в области авиационных двигателей, энергоустановок, моделирования процессов, проектирования систем, CALS/ИПИ-технологий, отраслевых регламентов и методических рекомендаций по их созданию, каталогизации, поддержке и использованию;
- создание образовательных и научных информационных ресурсов в виде «ЕИП (единого информационного пространства) по АД, ЭУ, моделированию процессов, проектированию систем, CALS/ИПИ-технологий», включающего: «Электронный атлас ГТД (версия 2006 г.)», «Базу знаний в области тепловых двигателей и энергоустановок», «Виртуальный музей АД. Версия 2006 г.», MetaСАПР/Framework САМСТО и ряд си-

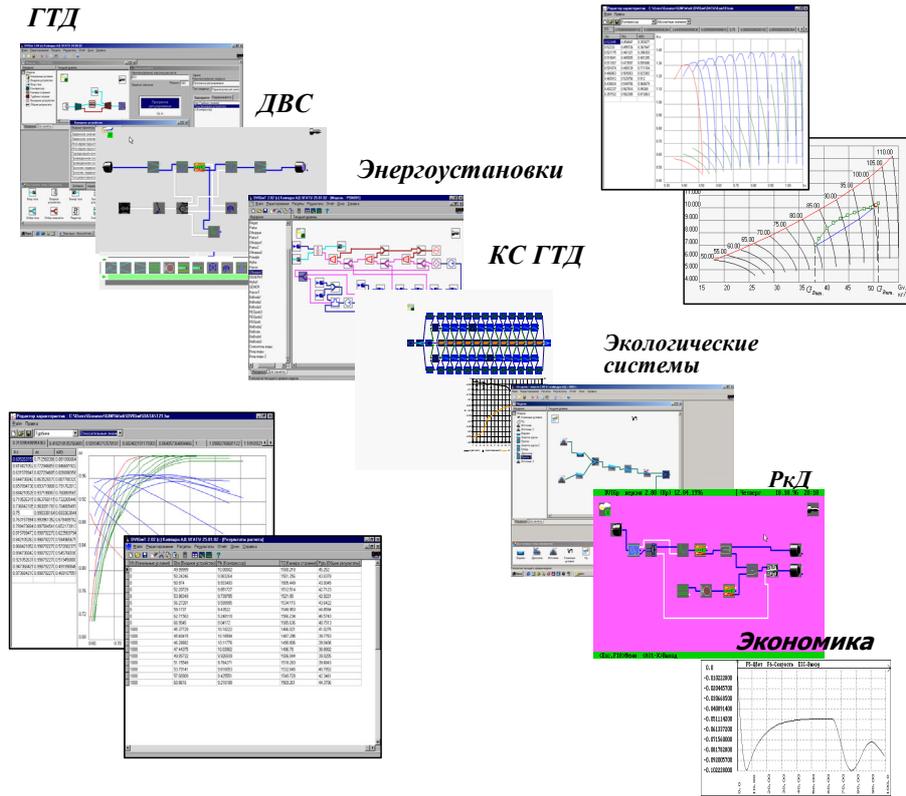


Рис. 5. Разработанные в НИЛ САПР-Д (на основе МетаСАПР САМСТО) системы имитационного моделирования

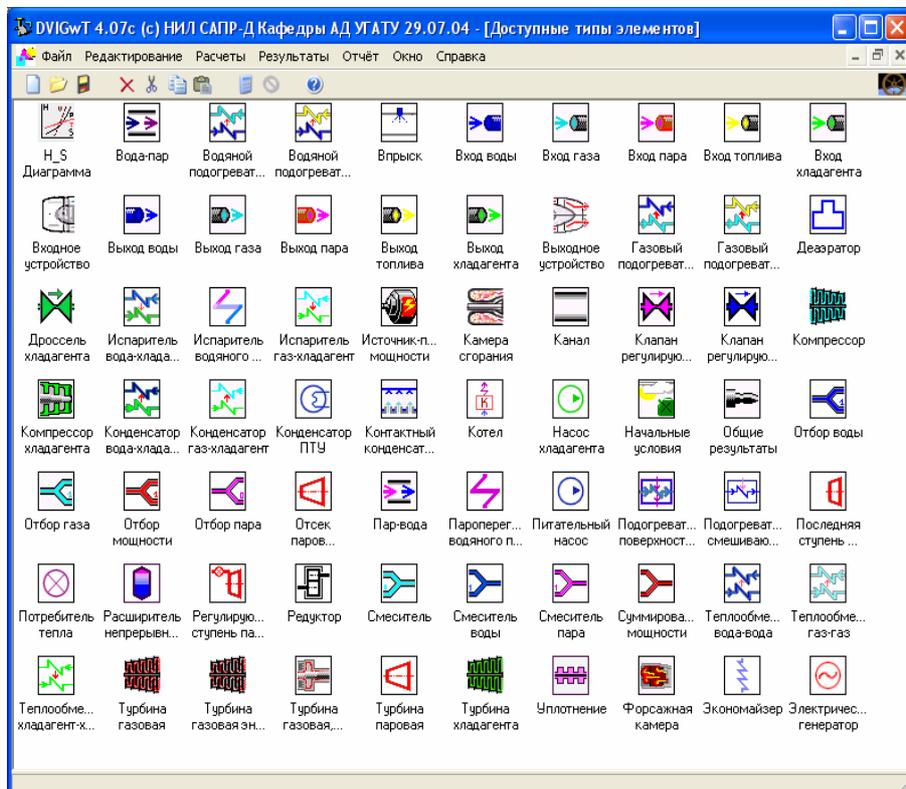


Рис. 6. Библиотека функциональных элементов (ФЭ) для моделирования тепловых, энергетических газотурбинных и комбинированных установок в СИМ DVIGwT

Средства конструкторско-технологического проектирования лопаток с использованием CAD/CAM/CAE-систем

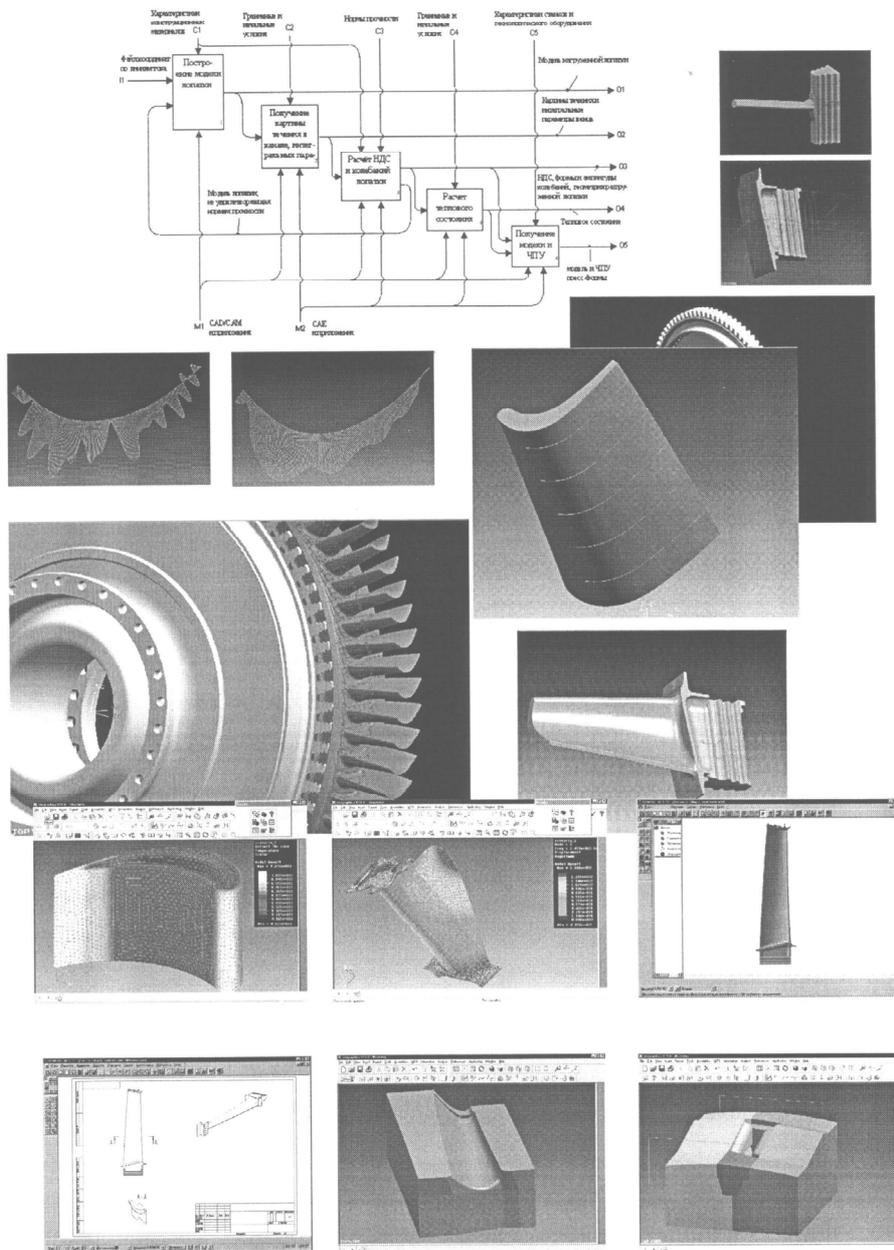


Рис. 7. Разработанные CAD/CAM/CAE-приложения (на основе Unigraphics, Ansys и КОМПАС) для конструкторско-технологического проектирования лопаток, дисков и рабочих колес

стем имитационного моделирования (СИМ) – двигателей и энергоустановок, их узлов и систем; модели, методы и средства их создания и использования в учебной и научной деятельности (рис. 3).

Формирование распределенной информационной инфраструктуры, разработка классификаторов, рубрикаторов, форматов метаописаний информационных ресурсов сферы науки и образования в области авиаци-

онных двигателей, энергоустановок, моделирования процессов, проектирования систем, CALS/ИПИ-технологии, отраслевых регламентов и методических рекомендаций по их созданию, каталогизации, поддержке и использованию ведется с учетом международных стандартов и спецификаций.

Развитие моделей, методов и технологий создания информационных ресурсов для использования в учебной и научной деятель-

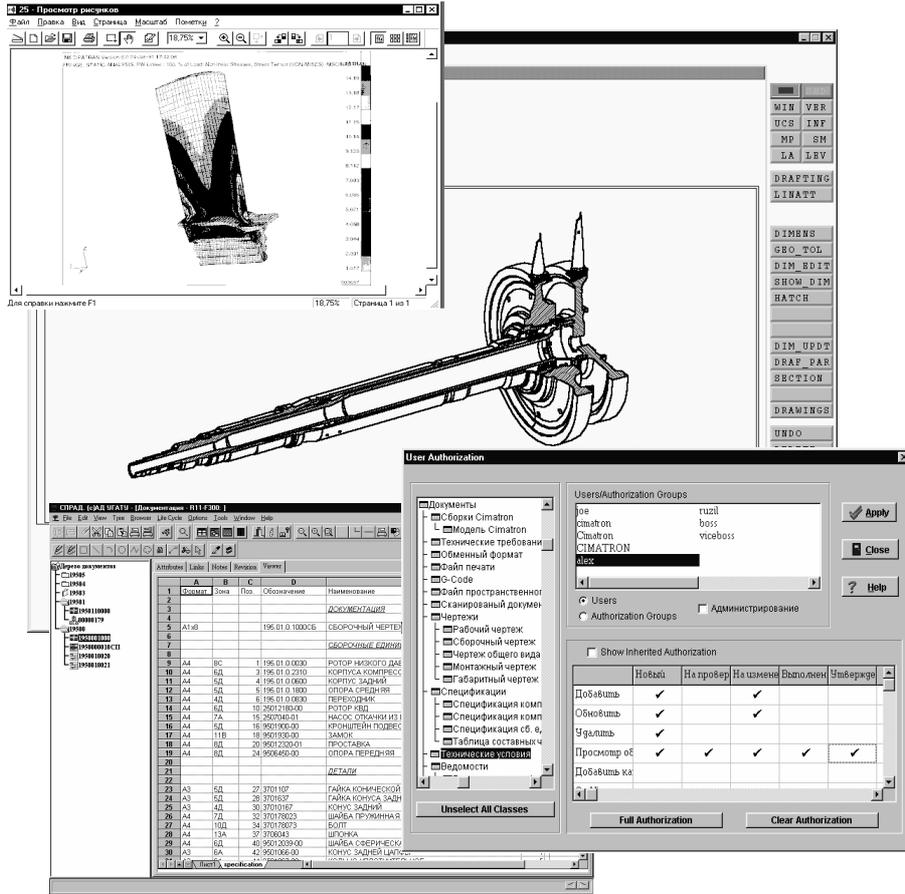


Рис. 8. Объединение разработанных CAD/CAM/CAE-приложений (в среде Uni-graphix и Ansys) и разработанной среды для параллельного проектирования ГТД (на основе PDM SmarTeam)

ности (рис. 4), разработка структуры единого информационного пространства и последовательности его наполнения оптимальными (по адекватности, продуктивности, робастности) для каждого этапа жизненного цикла технической системы моделями ведется путем исследования рабочих процессов, закономерностей развития и методологии принятия решений при проектировании сложных технических систем.

Разрабатываемые имитационные модели (ИМ) ГТД и их узлов тестируются на предмет получения с их помощью известных частных научных результатов (сравнение с универсальными зависимостями, обобщенными результатами продувок и т. д.) [11, 21]. Проверяется, чтобы в широком диапазоне ИМ каждого СЭ давала характеристики (статические, динамические), протекание которых соответствует физической сущности рабочего процесса. Вновь полученные закономерности развития технических систем, логики поддержки принятия проектных решений проверяются на ряде уже созданных и вновь созда-

ваемых двигателей, что подтверждается результатами ОКР по этим изделиям.

Разрабатываемые СИМ — системы имитационного моделирования (рис. 5) тестируются на основе экспериментальных данных, получаемых от предприятий и из научнотехнической литературы. В разрабатываемых СИМ предусматриваются средства для идентификации моделей двигателей, их узлов, в том числе их характеристик. Для этого разрабатываются специальные методики.

Параметры и характеристики двигателей, их узлов и систем (рис. 6), описание рабочих процессов проверяются по доступным источникам информации. Ведется работа по обеспечению сходимости результатов моделирования с имеющимися экспериментальными данными в рамках требований, предъявляемых к моделям ГТД и их узлов на этапах эскизного проектирования, доводки и отладки (на практике для большинства параметров требуется обеспечить относительную погрешность не более 0,5%).

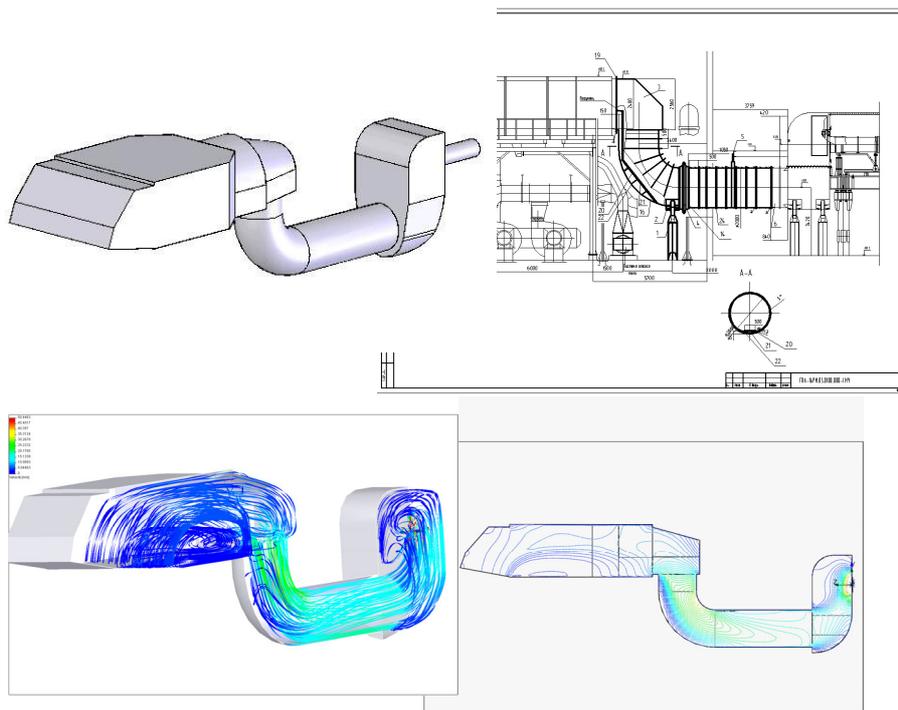


Рис. 9. Объемные модели проточной части ГВТ воздуховода ГПА-16РМ для анализа потока воздуха на входе в двигатель АЛ-31СТ



Рис. 10. Одно из начальных окон виртуального музея АД УГАТУ

В разрабатываемое ЕИП входит также программно-методический комплекс (рис. 7, 8) который представляет средства управления данными изделия, компьютерной поддержки конструкторско-технологического проектирования, инженерного анализа (рис.9), виртуальный музей авиационных двигателей кафедры АД УГАТУ (рис. 10–12) и Электронный атлас ГТД (рис. 13).

Кроме того, в ЕИП входит программно-методический комплекс (рис. 14), который

представляет средства логистической поддержки производства и эксплуатации изделий, в том числе средства для разработки ИЭТР (интерактивных электронных технических руководств).

В частности, в ЕИП входит разработанный инструментарий для создания интерактивных электронно-технических руководств (ИЭТР) и ИЭТР (рис. 15, 16) по конкретным изделиям (энергоустановке ГТУ105/95 и газоперекачивающему агрегату ГПА16РМ).

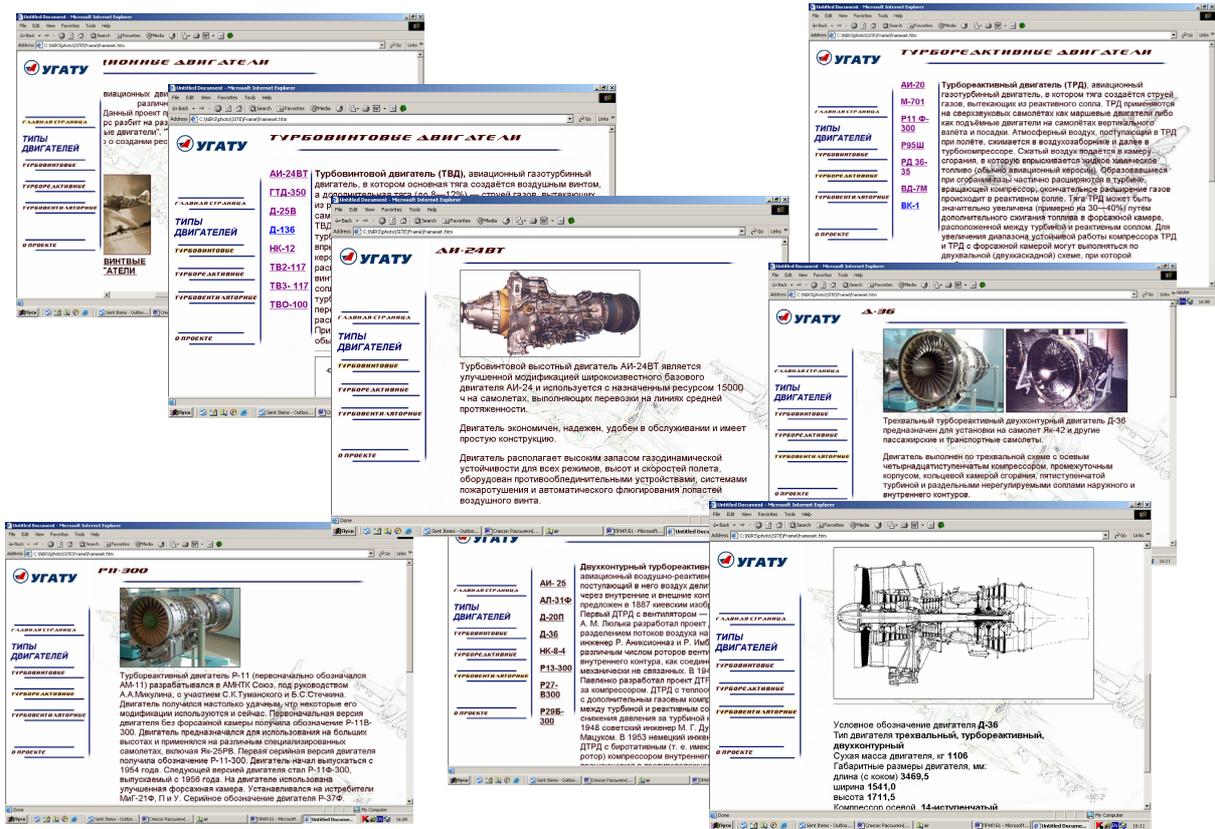


Рис. 11. Информация об экспозиции музея АД УГАТУ

АЛ-31Ф	общие сведения				конструкция				системы				DWIG-модель				
	Продольный разрез двигателя Компрессор низкого давления Промежуточный корпус Компрессор высокого давления Основная камера сгорания Турбина высокого давления Турбина низкого давления Опора Форсажная камера Реактивное сопло Воздухо-воздушный теплообменник	АЛ-31Ф - газотурбинный двухконтурный, двухвальный двигатель, со смешением потоков наружного и внутреннего контуров за турбиной, с общей для двух контуров форсажной камерой сгорания и регулируемым сверхзвуковым всережимным соплом.															
				1 - Входной направляющий аппарат с передней опорой КНД 2 - Ротор компрессора низкого давления 3 - Статор компрессора низкого давления 4 - Промежуточный корпус 5 - Ротор компрессора высокого давления 6 - Статор компрессора высокого давления 7 - Основная камера сгорания 8 - Сопловой аппарат турбины высокого давления 9 - Ротор турбины высокого давления				10 - Сопловой аппарат ТНД 11 - Ротор турбины низкого давления 12 - Вал ротора низкого давления 13 - Опора турбины с конусом-обтекателем 14 - Наружный контур 15 - Воздухо-воздушный теплообменник 16 - Камера смешения 17 - Форсажная камера 18 - Реактивное сопло									
												МУЗЕЙ		ГТД		ОКБ	

Рис. 12. Информация о рабочих процессах в ГТД

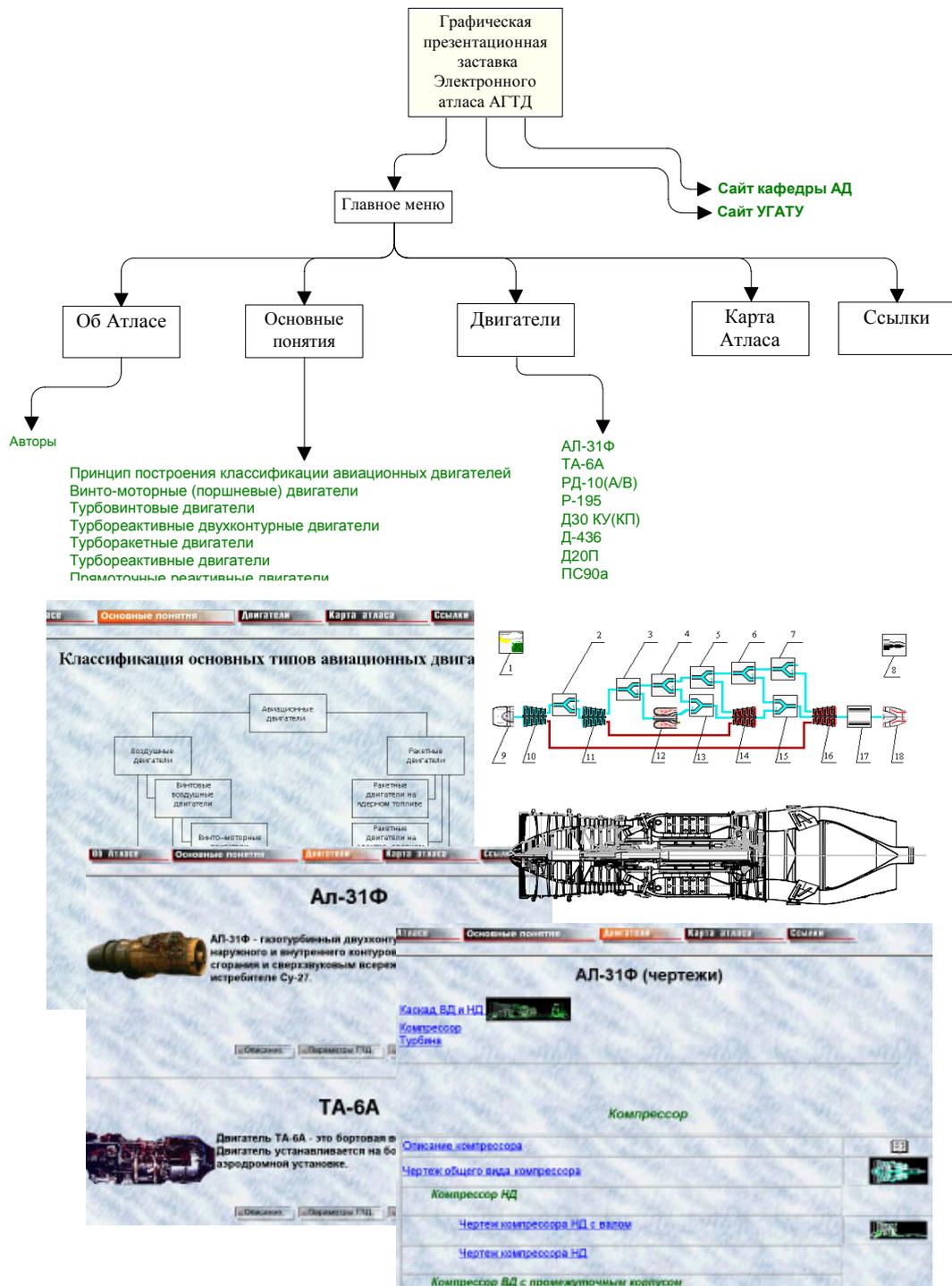


Рис. 13. Структура и основные окна разработанного Электронного атласа ГТД: www.ad.ugatu.ac.ru

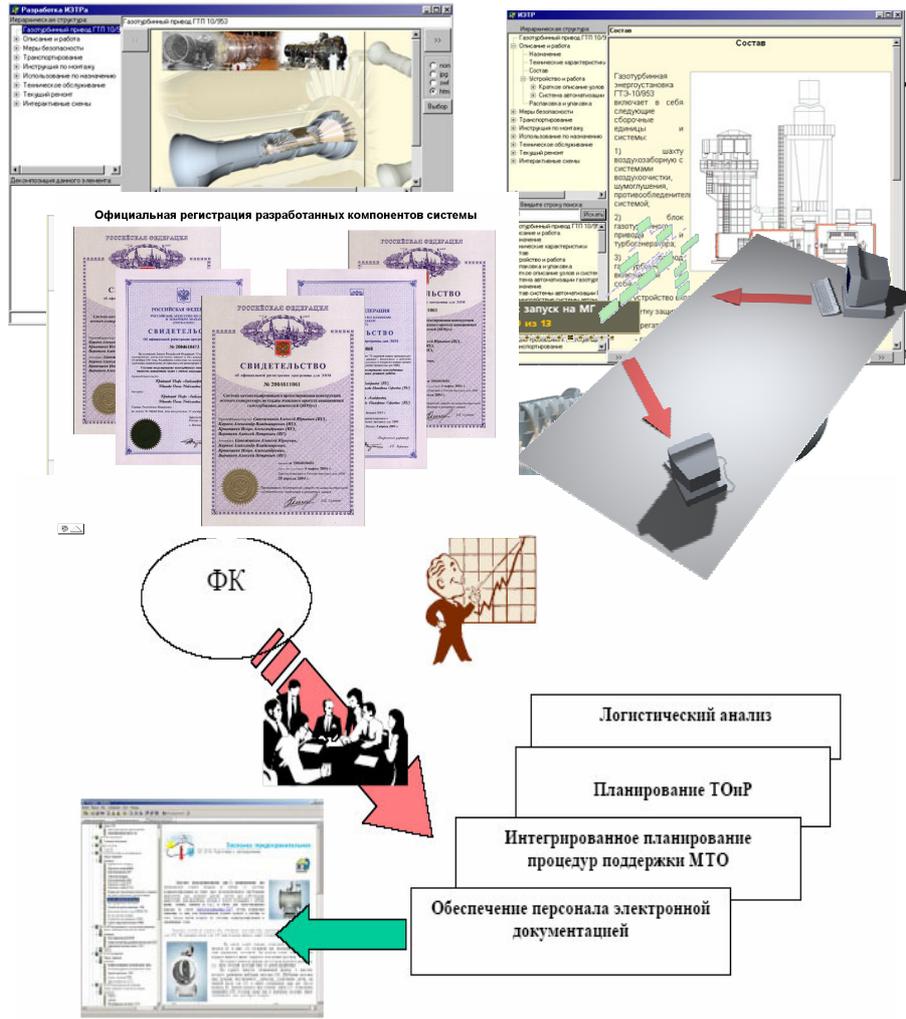


Рис. 14. Развиваемая в НИЛ САПР-Д технология разработки ИЛП

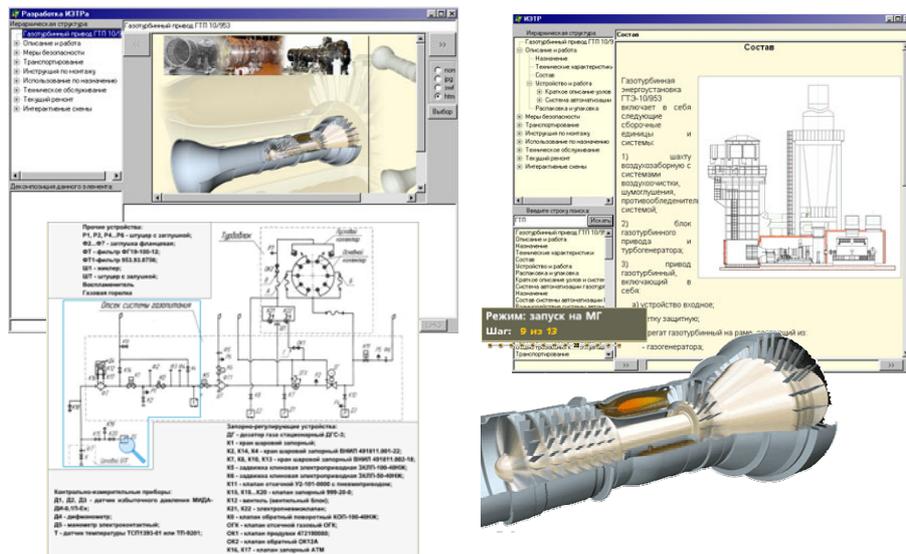


Рис. 15. Разработанная технология создания и использования интерактивных электронных руководств (на примере разработанного ИЭТР по ГТУ10/95)

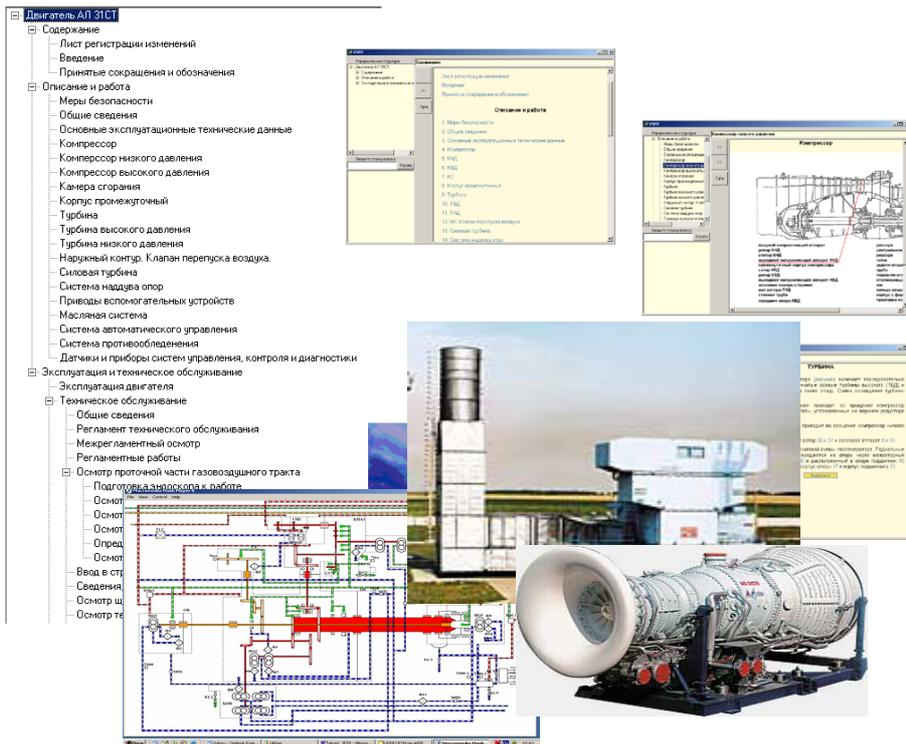


Рис. 16. Окна ИЭТР по ГПА-16РМ и его ГТП АЛ-31СТ (разработка НИЛ САПР-Д по заказу УМПО)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На данном этапе разработки образовательных и научных информационных ресурсов в виде «ЕИП (единого информационного пространства) по АД, ЭУ, моделированию процессов, проектированию систем, CALS/ИПИ-технологий» разработаны компоненты: «Электронный атлас ГТД», «База знаний в области тепловых двигателей и энергоустановок», «Виртуальный музей АД», МетаСАПР/Framework САМСТО и системы имитационного моделирования (СИМ) — двигателей и энергоустановок, их узлов и систем; модели, методы и средства их создания и использования в учебной и научной деятельности.

Разработана структура ЕИП и последовательность его наполнения оптимальными (по адекватности, продуктивности, робастности) для каждого этапа ЖЦ ТС моделями, распределенная информационная инфраструктура (с учетом международных стандартов и спецификаций), классификаторы, рубрикаторы, форматы метаописаний информационных ресурсов сферы науки и образования в области авиационных двигателей, энергоустановок, моделирования процессов, проектирования систем, CALS/ИПИ-технологий, отраслевые регламенты и методические рекоменда-

ции по их созданию, каталогизации, поддержке и использованию.

В целом описанный инструментарий развивается как оригинальный вариант опорной информационной технологии внедрения в промышленности средств компьютерной поддержки жизненного цикла сложных изделий (CALS/ILS).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вавилов, А. А.** Имитационное моделирование производственных систем / Под ред. А. А. Вавилова. М. : Машиностроение ; Берлин : Техника, 1983. 416 с.
2. **Советов, Б. Я.** Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. М. : Высш. шк., 2001. 343 с.
3. **Колчин, А. Ф.** Управление жизненным циклом продукции / А. Ф. Колчин, М. В. Овсянников, А. Ф. Стрекалов, С. В. Сумароков. М. : Анахарсис, 2002. 304 с.
4. **Норенков, И. П.** Основы автоматизированного проектирования : учеб. для вузов / И. П. Норенков. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 336 с.
5. **Норенков, И. П.** Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И. П. Норенков, П. К. Кузьмик. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 320 с.
6. **Кривошеев, И. А.** Методы и средства для внедрения компонентов CALS-технологии в авиадвигателестроении / И. А. Кривошеев, Т. Р. Яруллин, А. В. Сапожников [и др.] // Прилож. к журн. «Ин-

- формационные технологии». М. : Машиностроение, 2004. № 3. 32 с.
7. **Тунаков, А. П.** Программный комплекс ГРАД для расчета газотурбинных двигателей / А. П. Тунаков, А. Б. Голланд, Э. В. Мац, С. А. Морозов [и др.] // Известия вузов. Авиационная техника. 1985. № 1. С. 83–85.
 8. **Чуян, Р. К.** Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов : учеб. пособие для студентов авиадвигателестроительных специальностей вузов / Р. К. Чуян. М. : Машиностроение, 1988. 288 с.
 9. **Неруш, Ю. М.** Логистика : учебник для вузов / Ю. М. Неруш. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 495 с.
 10. **Ахмедзянов, А. М.** Проектирование авиационных газотурбинных двигателей : учебник для вузов / Под ред. проф. А. М. Ахмедзянова. М. : Машиностроение, 2000. 454 с.
 11. **Ахмедзянов, Д. А.** Термогазодинамический анализ рабочих процессов ГТД в компьютерной среде DVIgw : учеб. пособие / Д. А. Ахмедзянов, И. М. Горюнов, И. А. Кривошеев [и др.]. Уфа : УГАТУ, 2003. 162 с.
 12. **Кривошеев, И. А.** Автоматизация системного проектирования авиационных двигателей : учеб. пособие / И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов. Уфа : УГАТУ, 2002. 61 с.
 13. **Кривошеев, И. А.** Автоматизация системного проектирования авиационных двигателей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И. А. Кривошеев. Уфа : УГАТУ, 2000. 32 с.
 14. **Кривошеев, И. А.** САПР авиационных двигателей: состояние и перспективы / И. А. Кривошеев // Информационные технологии. М. : Машиностроение, 2000. № 1. С. 8–15.
 15. **Кривошеев, И. А.** Создание информационного фонда для организации системного проектирования авиадвигателей / И. А. Кривошеев // Вестник УГАТУ. 2002. № 1. С. 193–201.
 16. **Яруллин, Т. Р.** Электронные информационные архивы в структуре систем автоматизированного проектирования авиационных двигателей / Т. Р. Яруллин, А. М. Ахмедзянов // Известия вузов. Авиационная техника. 1998. № 1. С. 111–118.
 17. **Кривошеев, И. А.** Использование SADT и CAD/CAM-технологий при разработке авиационных ГТД / И. А. Кривошеев, А. М. Каганов, Т. Р. Яруллин // Информационные технологии. М. : Машиностроение, 1998. № 5. С. 2–8.
 18. **Кривошеев, И. А.** Применение CAD-систем для автоматизации компоновки авиационных газотурбинных двигателей / И. А. Кривошеев, А. Ю. Сапожников, А. В. Карпов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2002) : тез. междунар. конф. М. : ИПУ РАН, 2002. С. 73–74.
 19. **Кривошеев, И. А.** Реинжиниринг подготовки специалистов по авиационным двигателям с использованием CALS-технологии / И. А. Кривошеев, А. В. Карпов, С. С. Козакевич // Докл. междунар. НТК, посвящ. ген. констр. акад. Н. Д. Кузнецову. Самара : СГАУ, 2002. Ч. 3. С. 67–74.
 20. **Кривошеев, И. А.** Использование CAD / CAM и PDM-технологии при проектировании и доводке авиационных ГТД / И. А. Кривошеев, А. П. Воронков, А. В. Карпов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта. CAD / CAM / PDM – 2001 : матер. 1-й Междунар. конф. и выставки. М. : ИПУ РАН, 2001. (<http://lab18.ipu.rssi.ru/labconf/aticle.asp?num52>).
 21. **Кривошеев, И. А.** Моделирование динамических процессов в сложных системах / И. А. Кривошеев, Д. А. Ахмедзянов. Уфа : УГАТУ, 2003. 96 с.