

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

УДК 629.7.036:658.51011.56

И. А. КРИВОШЕЕВ

**СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ФОНДА
ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВИАДВИГАТЕЛЕЙ**

Рассматриваются методы и средства создания отраслевого информационного фонда для организации системного автоматизированного проектирования и доводки авиадвигателей и энергоустановок на их основе. Предлагается оригинальная CALS-технология для построения информационной среды ОКБ или завода. В числе основных компонент – МетаСАПР (Framework), обеспечивающая открытую технологию развития САПР, Workflow, обеспечивающее обработку многоуровневого дерева проекта, CAD/CAM/CAE/PDM-системы, многоуровневые библиотеки фрагментов моделей структурных (функциональных, конструкторских и технологических) элементов, системы поддержки принятия проектных решений (СППР), использующие базы статистической информации. Автоматизированное проектирование; моделирование; информационные технологии

В предыдущей статье данной серии [12] автором был дан подробный анализ новых информационных технологий, которые могут сыграть решающую роль при создании научно-технического задела для стоящей перед мировым авиадвигателестроением задачи разработки ГТД VI поколения. Среди упомянутых средств – компоненты CALS-технологии (словарь обозначений и терминов приведен в конце данного сообщения): CASE, CAD/CAM/CAE/PDM-системы, принципы интегрированного компьютеризированного производства КИП (CIM) [4, 5], параллельного проектирования (СЕ) и виртуальных корпораций (САРЕ с распределенными смежниками) на основе виртуального производства, средств управления данными проекта (PDM) на основе полного электронного описания изделия (EPD), соответствующие стандарты ISO (методики IDEF, начиная с IDEF0 и до IDEF14), в том числе на проведение структурного анализа и построение функциональных, информационных, динамических и структурных моделей (технология SADT, программно реализованная в системе Design/IDEF), промышленные методы автоматизированного создания информационных систем (технология CASE), CALS-технология сопровождения всех этапов жизненного цикла изделия [2] и параллельного

проектирования математическими моделями (стандарты STEP и P-LIB).

Структура основных задач, требующих решения для создания ГТД VI поколения, показана на рис. 1. Среди них важную роль играют задачи по созданию эффективных программных комплексов инженерного анализа (CAE) [3] и новых информационных технологий (НИТ) для автоматизации проектирования и доводки двигателей и реинжиниринга процесса их разработки. Анализ жизненного цикла (ЖЦ) авиационного ГТД в рамках существующей технологии, проведенный по методологии SADT (о чем подробно сказано в предыдущей статье [12]) и анализ имеющихся на сегодня НИТ показывает, что существует ряд нерешенных методических вопросов создания и использования в разработке двигателей единой информационной технологии [1]. Прежде всего это:

- формирование моделей процессов разработки двигателей и участвующих в нем объектов (в соответствии с методологией моделирования жизненного цикла CALS и с использованием CASE-технологий);
- построение на этой основе системного проекта автоматизации моторного ОКБ. Ликвидация имеющего место разрыва между функциональным, конструкторским и технологическим проектированием;

- разработка методологии согласованного функционального и конструкторского проектирования «сверху вниз» — от простого к сложному, с использованием новых возможностей;

- разработка методики применения объектного подхода в проектировании, структуры библиотек, классификаторов объектов и баз статистической информации, которые должны накапливаться в ОКБ и использоваться в системном проектировании, в том числе с использованием СППР (системы поддержки принятия решений при выборе структурных признаков);

- разработка технологии создания адаптированных к условиям ОКБ приложений, поскольку именно они представляют «ноу-хау» предприятий, и их не удастся (или это очень дорого) приобрести на Западе.

В передовых авиамоторных ОКБ уже осознали необходимость достаточно быстро перейти на новый уровень на основе развития средств и методологии автоматизированной разработки двигателей с использованием новых технологий и имеющегося опыта и разработок. Научно-технический задел такого рода имеется в моторных ОКБ и авиационных вузах [7–11]. Так, например, в УГАТУ с использованием технологии SADT, методик IDEF0 и IDEF1X, а также CASE-пакета IDEF/Design разработан системный проект автоматизации моторного ОКБ (описанный в предыдущей статье [12]). В настоящее время проект разослан для критического анализа в ряд ОКБ. Упомянем, что ранее такая работа уже проводилась с использованием имевшихся на тот момент средств и привела к созданию Интегрированной САПР АД «АСПАД 88».

В результате выделены и сгруппированы по уровням (рис.6) функциональные (ФЭ), конструкторские (КЭ) и технологические (ТЭ) элементы, используемые при моделировании двигателя на разных этапах жизненного цикла (в соответствии с CALS-технологией). На основе построения функциональных (IDEF0) и информационных (IDEF1X) моделей проанализированы проектные задачи, в них выделена общая часть и построена структура взаимно вложенных обобщенных проектных процедур (рис.2). Для этих задач предложены унифицированные алгоритмы, которые реализуются универсальными управляющими программами — планировщиком, решателем и СППР (системой поддержки принятия решений —

по структурным признакам двигателя и его элементов).

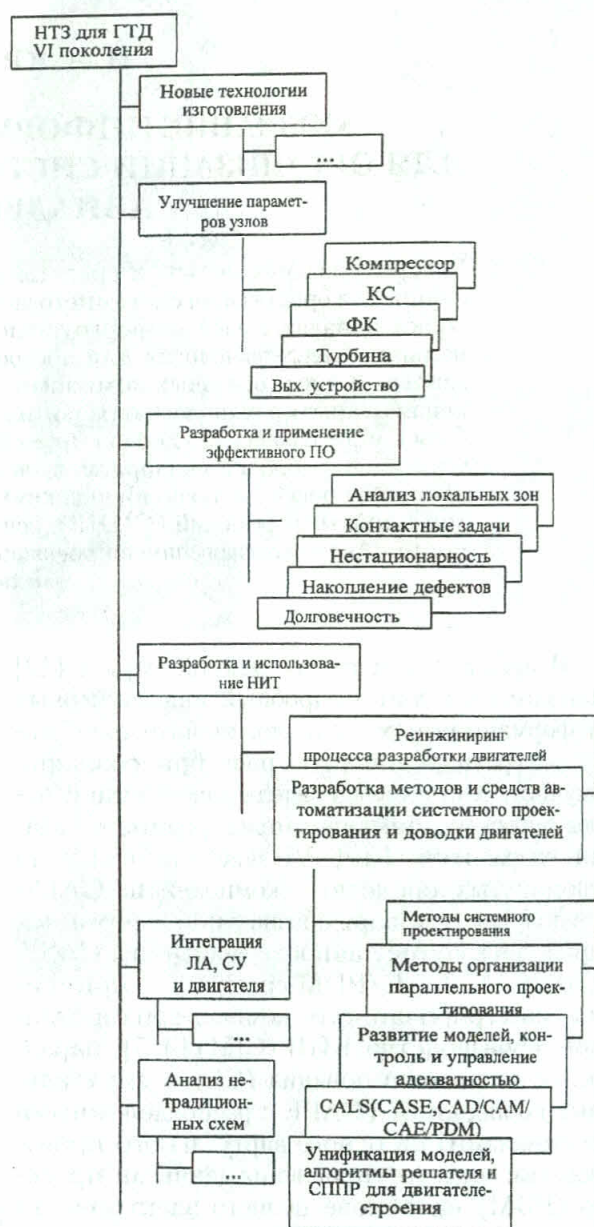


Рис. 1. Основные задачи по созданию научно-технического задела для разработки ГТД VI поколения

Предложена IDEF-модель процесса, отличающегося от традиционного (рис.3). Выделена логическая последовательность (взаимная вложенность) принимаемых проектных решений, сформирован универсальный алгоритм СППР (рис.8) и универсальная структура используемых для этого баз статистической информации, в том числе экспертно задаваемые «экстремальные точки», физические диапазоны (для нормализации по А.Н.Тихонову и распределения вероятно-

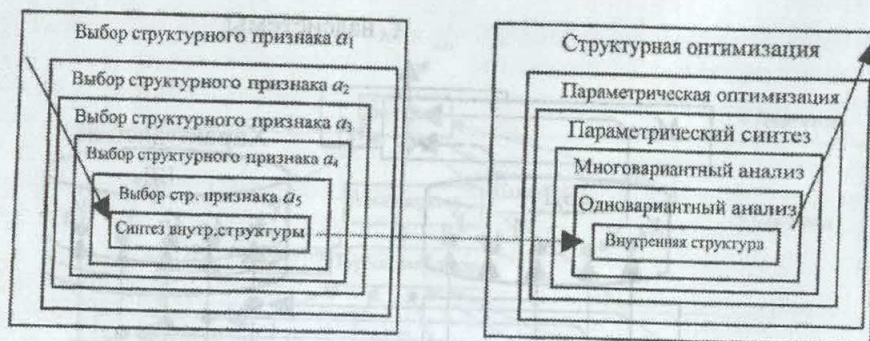


Рис. 2. Взаимная вложенность и связь обобщенных проектных процедур решения параметрических и структурных задач, используемых при построении дерева проекта

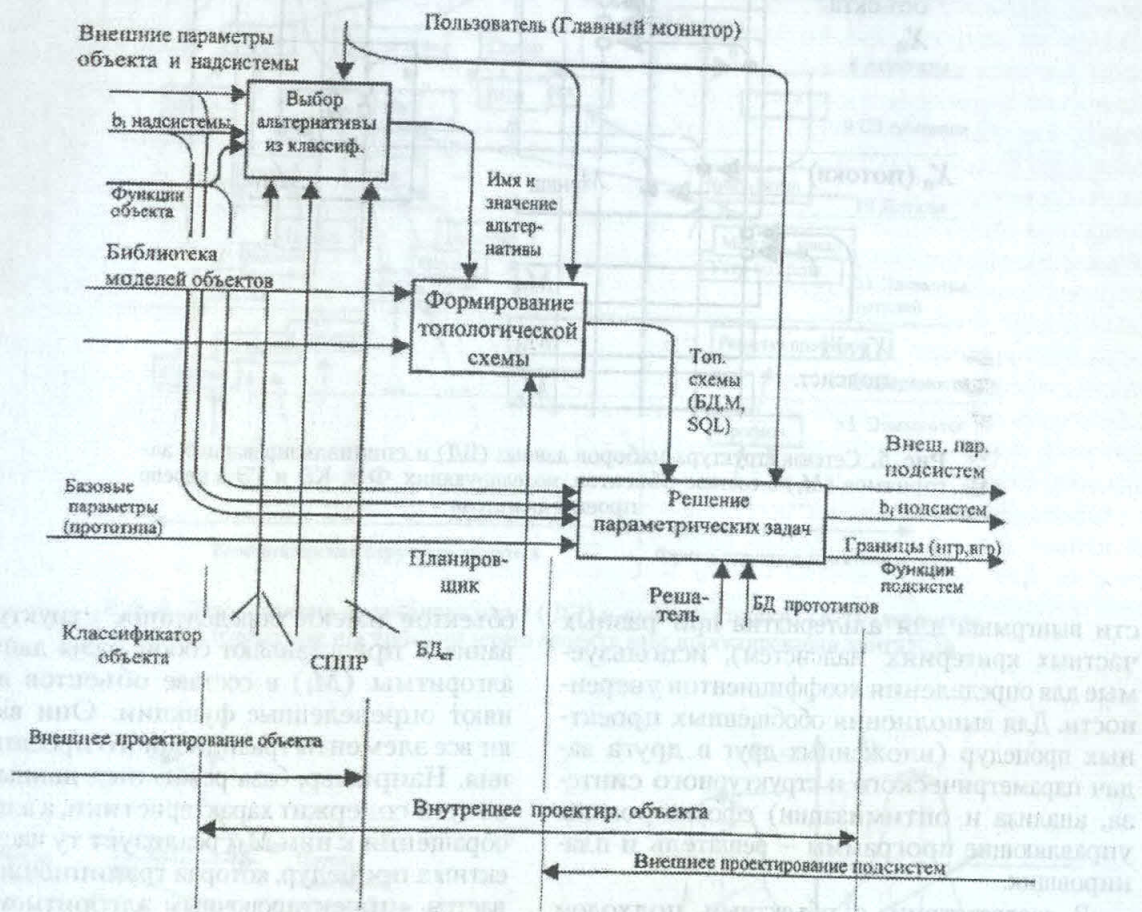


Рис. 3. IDEF0-диаграмма повторяющихся циклов внешнего и внутреннего проектирования элементов в составе двигателя

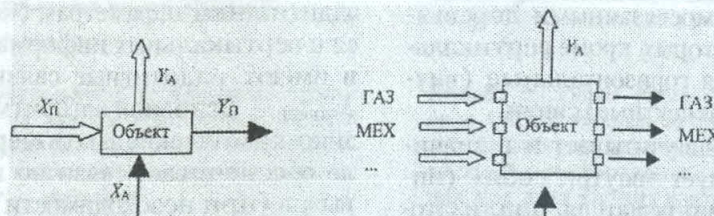


Рис. 4. Схема информационных связей объектов, моделирующих функциональные (ФЭ), конструкторские (КЭ) и технологические (ТЭ) элементы в дереве проекта двигателя

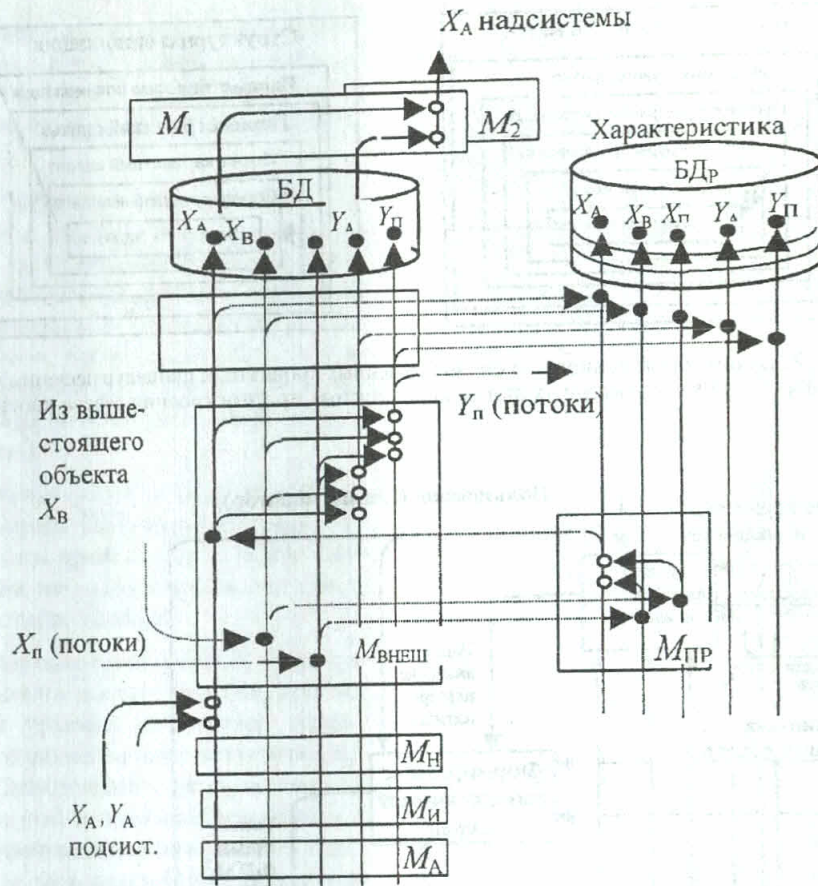


Рис. 5. Сетевая структура наборов данных (БД) и специализированных алгоритмов (M_i) в составе объектов, моделирующих ФЭ, КЭ и ТЭ в дереве проекта двигателя

сти выигрыша для альтернатив при разных частных критериях надсистем), используемые для определения коэффициентов уверенности. Для выполнения обобщенных проектных процедур (вложенных друг в друга задач параметрического и структурного синтеза, анализа и оптимизации) сформированы управляющие программы — решатель и планировщик.

В соответствии с объектным подходом сформирована универсальная сетевая структура объектов (рис. 4, 5), моделирующих элементы (ФЭ, КЭ и ТЭ) в составе многоуровневой многоаспектной модели двигателя, представленной взаимосвязанными деревьями ФЭ, КЭ и ТЭ, в которых, кроме вертикальных, поддерживаются горизонтальные (внутриуровневые и межаспектные) связи.

Структура объектов учитывает и в значительной мере реализует «внутри себя» (инкапсулирует) функции решателя, анализатора постановки задачи, организации информационного обмена. Для этого наборы данных

объектов имеют определенное структурирование и представляют собой базы данных, а алгоритмы (M_i) в составе объектов выполняют определенные функции. Они включают все элементы традиционного проектирования. Например, база режимных данных БДр по сути содержит характеристики, а алгоритм обращения к ним $M_{пр}$ реализует ту часть проектных процедур, которая традиционно называется «проектировочным алгоритмом». Алгоритм M_A — анализатор постановки задачи, M_n — «интегратор» (при решении дифференциальных уравнений) и задачник начальных условий, M_n — задачник начальных значений аддитивным параметрам (которые передаются в вертикальных информационных потоках и имеют аддитивные связи друг с другом), $M_{внеш}$ — основной алгоритм (моделирует физико-химические закономерности), в том числе обеспечивает связи по входным потокам, вызов (при необходимости) проектировочного алгоритма ($M_{пр}$), вычисления унифицированной функции певязок Z и унифицирован-

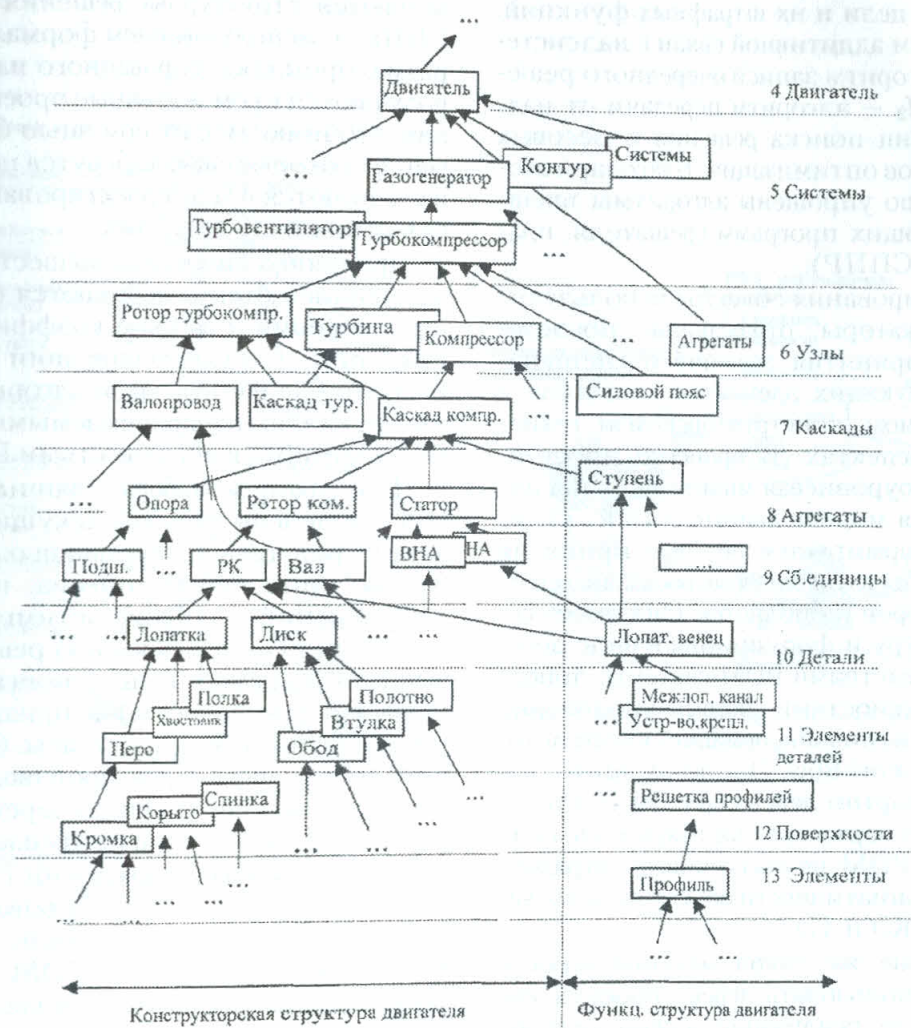


Рис. 6. Декомпозиция функциональных (ФЭ) и конструкторских (КЭ) элементов, используемых при построении дерева проекта при проектировании двигателя

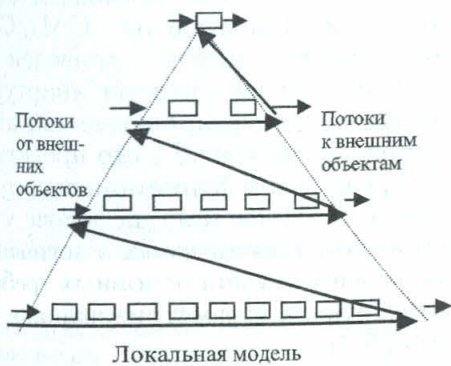


Рис. 7. Последовательность активизации объектов решателем на каждом шаге итераций при работе с локальной многоаспектной многоуровневой моделью, выделяемой из дерева проекта двигателя

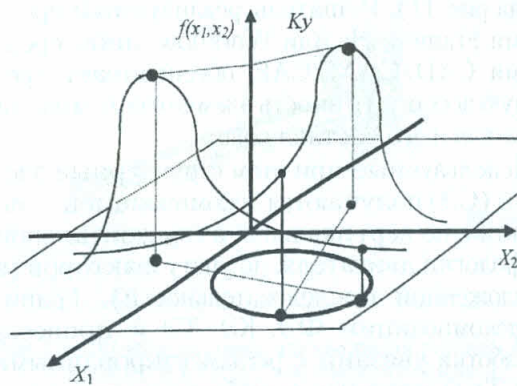


Рис. 8. Условная схема определения с помощью СППР частных коэффициентов уверенности (в данном примере Ky_1 и Ky_2 для конкретной альтернативы в области поиска решения для двух частных критериев оптимальности надсистемы)

ной функции цели и их штрафных функций, M_1 — алгоритм аддитивной связи с надсистемой, M_p — алгоритм записи очередного решения в БД_p, M_2 — алгоритм передачи от надсистемы границ поиска решения и весовых коэффициентов оптимизации. Благодаря этому значительно упрощены алгоритмы внешних управляющих программ (решателя, планировщика и СППР).

Для формирования объектов используются классификаторы, отражающие последовательность принятия решений и специфику соответствующих элементов двигателя в функциональном, конструкторском и технологическом аспектах. В процессе проектирования многоуровневая многоаспектная информационная модель двигателя (рис. 7) динамически формируется по мере принятия решений из объектов, которые выделяются из классификаторов и библиотек. Она имеет сетевую структуру и формируется в виде дерева проекта средствами PDM-системы, дополненной возможностями системы управления (горизонтальными) информационными потоками класса Workflow. Это необходимо, поскольку стандартно дерево проекта PDM отражает только вертикальные связи и сама по себе система PDM не обеспечивает параметрической ассоциативности объектов, моделирующих ФЭ, КЭ и ТЭ.

Обеспечение же такой ассоциативности позволяет использовать дерево проекта как модель. Для ее реализации можно использовать современные системные компьютерные среды (Framework), одна из которых (САМСТО [6]) разработана в УГАТУ (пример моделирования в такой среде приведен на рис. 11). Решатель, реализуемый средствами Framework или Workflow, либо средствами САД/САМ/САЕ, обеспечивает требуемую ассоциативность элементов в модели двигателя и его составляющих.

Используемые при этом структурные элементы (СЭ) получают декомпозицией — по аспектам, по вертикальной и горизонтальной морфологии двигателя, по учету факторов (в предложенной последовательности). Границы декомпозиции ФЭ, КЭ, ТЭ и процесса разработки увязаны с регламентированными (ГОСТом) стадиями разработки двигателя.

Процесс проектирования (функционального, конструкторского и технологического) сводится к динамическому построению дерева проекта (в среде PDM с доработками по принципам Framework для функционального проектирования). При этом поэтапно при-

нимаются структурные решения с помощью СППР (с использованием формального алгоритма, проиллюстрированного на рис. 8 и 9), получают промежуточные проектные решения, уточняются с их помощью базовые значения (которые сначала берутся по прототипу и уточняются в ходе проектирования), имеется возможность возвратов.

При необходимости из вышестоящих в нижестоящие объекты передаются границы поиска решения и весовые коэффициенты оптимизации. Структура описаний (БД) двигателя, его СЭ и структура и алгоритмы объектов определяются принимаемыми проектными решениями и потребностями Решателя.

Для этого в наборах данных объектов (БД) выделены столбцы текущих значений параметров, границ, признаков оптимизации, базовых значений (прототипа, предыдущих приближений, ...). Кроме оптимизации и согласования (идентификации) решатель обеспечивает передачу границ поиска решений (области компромиссов) и признаков оптимизации в нижележащие страты. Окончательный выбор параметров производится с использованием построенного дерева проекта в рамках задачи условной оптимизации.

Элементы такой технологии (условно показанной на рис. 10) апробированы в среде параллельного проектирования, реализованной на основе системы CPDM (Cimatron). На уровне параметрических моделей функционального моделирования применена разработанная в УГАТУ среда (Framework) САМСТО и приложения (DVIG, КОМ, TUR) на ее основе (пример соответствующей модели приведен на рис. 11).

На этапе конструкторско-технологического проектирования использована САД/САМ Cimatron (пример модели приведен на рис. 12). При этом предложена «виртуальная технология» конструирования двигателя «сверху вниз», параллельно с его проектированием (в среде систем функционального моделирования и САЕ-систем) на основе уточняемых и взаимно замещаемых в логической последовательности учета основных требований к конструкции параметризованных 3D-элементов (КЭ).

Методология апробирована на примерах параллельного проектирования авиационного двигателя, его узлов (компрессор, турбина) и деталей, в том числе из композиционных материалов (рис. 10–12). Для ее полноценной реализации требуется дальнейшая работа по развитию компонент (решателя,

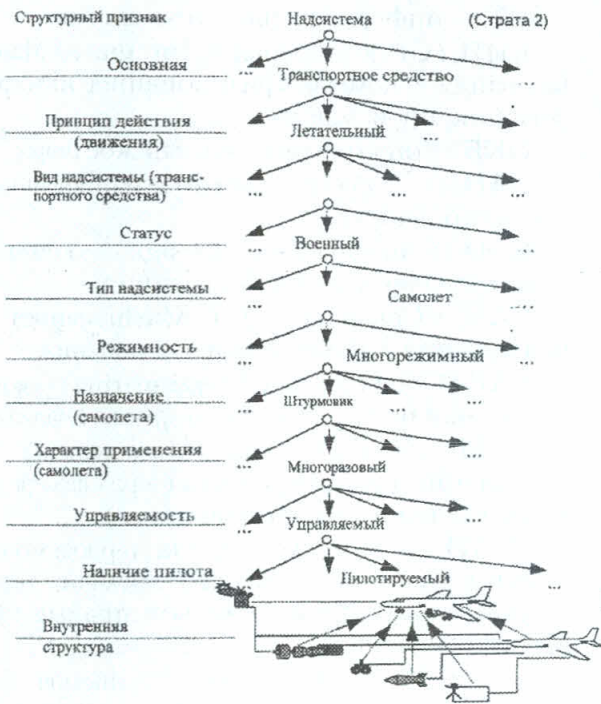


Рис. 9. Схема принятия структурных решений по ЛА (летательному аппарату)



Рис. 10. Условная схема параллельной разработки авиационного ГТД

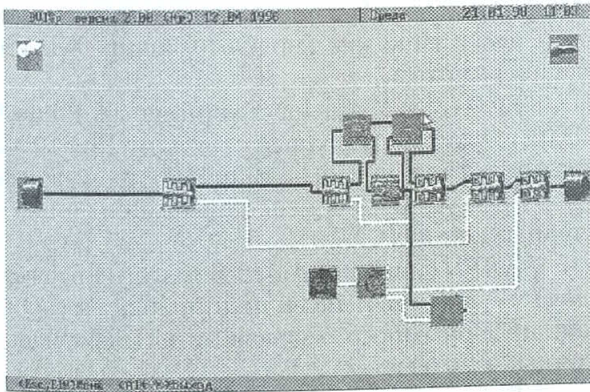


Рис. 11. Двухуровневая термогазодинамическая модель турбовального ГТД в сосредоточенных параметрах, используемая для анализа статических и динамических характеристик при функциональном проектировании

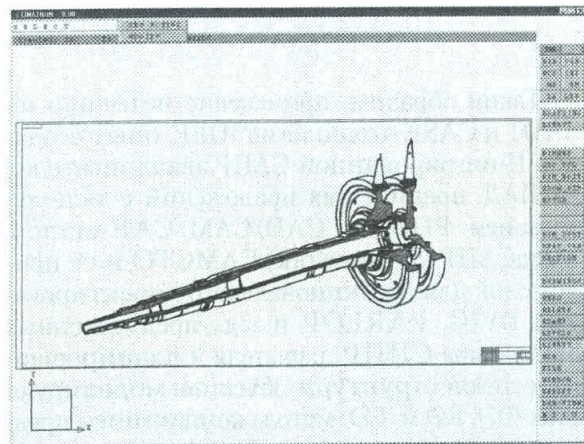


Рис. 12. 3D-модель ротора двухвальной турбины двигателя Р195 в САД/САМ-системе Cimatron

планировщика, СППР) их связи с PDM (с использованием средств типа Workflow) и CAD/CAM/CAE-системами.

Она предполагает накопление классификаторов и библиотек объектов, моделирующих ФЭ, КЭ и ТЭ в составе двигателей в предложенном стандарте. Кроме того, в рамках отдельных ОКБ или отрасли по результатам статистического анализа или численных экспериментов должны накапливаться данные для таблиц статистической информации, используемой алгоритмом СППР при принятии структурных решений на всех этапах, уровнях проектирования и по отношению к каждому элементу (начиная с вида силовой установки, вида двигателя и т. д. «вниз» при построении дерева проекта).

Предложенная форма обеспечивает компактность представления и устойчивость («робастность») экспертной информации по отношению к конкретной проектной ситуации. Сами эксперты (специалисты с большим опытом) в этой технологии формируют и развивают классификаторы, библиотеки объектов и базы статистической информации, участвуют в анализе результатов. Оперативное проектирование осуществляют специалисты, владеющие как предметными знаниями, так и методологией автоматизированного проектирования и соответствующим разделом информационной технологии.

Таким образом, применение методологии SADT и CASE-технологии IDEF, опыт создания Интегрированной САПР авиадвигателей АСПАД, предметных приложений с использованием PDM и CAD/CAM/CAE-систем, МетаСАПР (Framework) САМСТО и ее приложений для функционального проектирования DVIG, PARLOP и т. д., предложенных алгоритмов СППР, решателя и планировщика, сетевой структуры объектов, моделирующих ФЭ, КЭ и ТЭ, метода компактного представления статистической информации для СППР в совокупности представляет методологию создания информационного фонда для автоматизации процесса системной разработки авиационных двигателей, отвечающего современным и перспективным требованиям и использующего базы знаний и элементы искусственного интеллекта.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

ЖЦ — жизненный цикл изделия, от формирования потребности до утилизации;

ИТ — информационная технология;

КИП (CIM — Computer Integrated Manufacturing) — компьютеризированное интегрированное производство;

ОКБ — опытно-конструкторское бюро;

САПР — система автоматизированного проектирования;

CAD (Computer Aided Design) — компьютерная поддержка проектирования;

CAM (Computer Aided Mashineering) — компьютерная поддержка изготовления;

CAE (Computer Aided Engineering) — компьютерная поддержка инженерного анализа;

PDM (Product Data Management) — управление данными проекта (в рамках среды «параллельного проектирования»);

SCADA — компьютерная поддержка мониторинга (системы реального времени, телеметрии, диагностики и низовой промышленной автоматики);

CAPE (Computer Aided Production Engineering) — компьютерно-ориентированный производственный инжиниринг (инструментальная среда «виртуального производства»);

SADT (Structured Analyze and Design Technology) — методология структурного анализа при построении информационных систем;

CALS (Computer Acquisition and LifeCycle Support) — компьютерная поддержка создания логистических (моделирующих ЖЦ изделия) систем;

STEP (Standard for Exchange of Product Data) — международный стандарт ISO-10303 на представление информации о промышленной продукции и обмене данными в компьютерных средах;

CASE (Computer Aided Software Engineering) — компьютерная поддержка разработки программного обеспечения (информационных систем);

EPD — расширенное (распределенное по смежникам) производство;

MRP (Material Resource Planing) — управление материальными потоками (планирование материальных ресурсов);

TIM (Technical Information Management) — управление технической информацией;

Framework — рабочая (инструментальная) среда (для создания систем моделирования и САПР).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тунаков А. П.** Кризис в САПР и пути выхода из него // Изв. вузов. Авиационная техника. 1999. № 3. С. 85–91.
2. **Дмитров В. И., Андриенко А. В.** Средства компьютеризированной поддержки STEP-ориентированной технологии проектирования производственных систем // Информационные технологии. 1996. № 3. С. 2–7.
3. **Шатров Б. В.** Материалы совещания рабочей группы MSC «Координация развития программных систем MSC в области проектирования и производства газотурбинных двигателей» (GTET Meeting). Мюнхен, Германия: The MacNeal-Schwendler Corp., Сентябрь 1997.
4. **Тихомиров В. Г.** Делая виртуальное производство реальностью // Информационные технологии. 1997. № 1. С. 39–42.
5. **Описание** системы ТЕХНОКЛАСС. Болгария, София: L-class, 1997. 47 с.
6. **Ахмедзянов А. М., Кожин Д. Г.** Система конструирования среды для математического моделирования сложных технических систем // Изв. вузов. Авиационная техника. 1994. № 1. С. 54–58.
7. **Теория** и методы начальных этапов проектирования авиационных ГТД: Учеб. пособие / Под ред. В. Г. Маслова. Самара: СГАУ, 1996. 147 с.
8. **Румянцев С. В., Сгилевский В. А.** Системное проектирование авиационного двигателя. М.: МАИ, 1991. 80 с.
9. **Чуян Р. К.** Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1988. 288 с.
10. **Норенков И. П.** Разработка систем автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1994. 207 с.
11. **Голланд А. Б., Мац Э. В., Морозов С. А. и др.** Программный комплекс ГРАД для расчета газотурбинных двигателей // Изв. вузов. Авиационная техника. 1985. № 1. С. 83–85.
12. **Кривошеев И. А.** О создании информационных систем в авиадвигателестроении // Вестник УГАТУ. 2000. № 1. С. 165–170.

ОБ АВТОРЕ

Кривошеев Игорь Александрович, проф. каф. авиационных двигателей, науч. руковод. НИЛ САПР-Д, нач. упр-я НИР УГАТУ. Дипл. инж.-механик (УАИ, 1976). Д-р техн. наук по тепловым двигателям ЛА (УГАТУ, 2000). Исследования в области автоматизированного проектирования авиационных двигателей.
krivoch@mail.rb.ru

