

Решение (10) совместно с (2) итерационным методом с соответствующими коэффициентами дает графическое изображение перемещения ударника (рис. 2), характера изменения скорости ударника (рис. 3), перемещения устройства (рис. 4) и характера изменения скорости устройства (рис. 5).

Анализ графиков показывает, что периодический виброударный режим в данном устройстве имеет место, когда пружина предварительно сжата. График перемещения ударника имеет вид ударных импульсов, а скорость изменяется скачкообразно. Скорость перемещения всего устройства устанавливается плавно или скачкообразно в зависимости от параметров системы. Время переходного процесса составляет десятые доли периода колебаний системы.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что для коэффициентов трения $0 < k_1 < 1$, $0 < k_2 < 1$ существует перемещение устройства под действием ударных импульсов.

Предложенный подход может быть использован для динамической системы, описываемой уравнениями вида (1), (2). Она наглядно иллюстрирует наличие или отсутствие колебательного процесса в системе, а также его характер в зависимости от параметров. Полученные качественные и количественные выводы могут быть использованы при решении ряда практических задач.

УДК 629.7.036:658.51011.56

О СОЗДАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АВИАДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

И. А. КРИВОШЕЕВ

УГАТУ, факультет авиационных двигателей
Тел: (3472) 23 77 66 E-mail: root@ad.ugatu.ac.ru

Аннотация: Рассматриваются особенности современного этапа автоматизации проектирования и производства авиационных двигателей. Предлагаются варианты использования различных классов систем для построения информационной среды ОКБ или завода. В числе основных компонентов — система поддержки принятия проектных решений (СППР), использующая базы и банки знаний

Ключевые слова: автоматизированное проектирование; моделирование; информационные технологии

В настоящее время в авиадвигателестроении России активно ведется коренная реорганизация (реинжиниринг) проектных и конструкторско-технологических работ для ликвидации отставания в использовании информационных технологий и в научно-техническом уровне создаваемых двигателей V и VI поколений. Общее направление связано с использованием CAD/CAM/CAE-технологий¹, принципов интегрированного компьютеризированного производства КИП (СІМ), 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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалова Л. В., Неймарк Ю. И., Фейгин М. И. Динамические системы с ударными взаимодействиями и теория нелинейных колебаний // Инженерный журнал. Механика твердого тела. 1966. № 1. С. 151.
2. Патент РФ МКИЗ Н 02 К 33/00. Электромагнитный вибратор / И. Х. Хайруллин, Ф. Р. Исмагилов, Е. В. Напалков Заявл. 04.02.98. Опубл. 10.05.99. Бюл. № 13.

ОБ АВТОРАХ

Хайруллин Ирек Ханифович, проф., зав. каф. электромеханики УГАТУ. Дипл. инженер-электромеханик (Ивановский энергетический ин-т, 1963). Д-р техн. наук в области элементов и устройств управления (УГАТУ, 1981). Труды по электромеханическим преобразователям энергии.

Исмагилов Флор Рашитович, проф., декан ф-та авиационного приборостроения УГАТУ. Дипл. инженер-электромеханик (УГАТУ, 1973). Д-р техн. наук в области элементов и устройств управления (УГАТУ, 1998). Труды по электромеханическим преобразователям энергии.

Рахимова Эмма Николаевна, асп. каф. электромеханики УГАТУ. Дипл. математик (БГУ, 1996). Исследования в области электромеханических преобразователей энергии.

(EPD). Используются 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 математическими моделями всех этапов жизненного цикла изделия и параллельного проектирования (стандарты STEP и P-LIB).

В настоящее время входит в практику концепция КМ (Knowledge Management) — управление

¹Словарь обозначений и терминов приведен в конце данного сообщения.

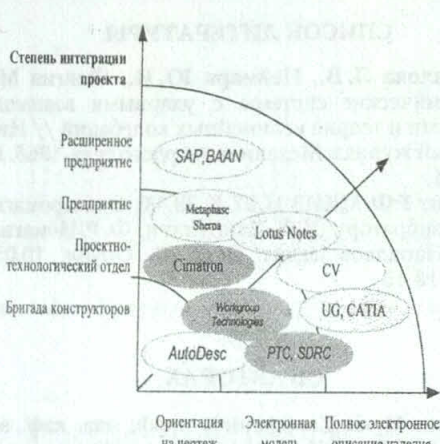


Рис. 1. Место интегрированных программных систем (продуктов фирм) в автоматизации авиамоторного предприятия

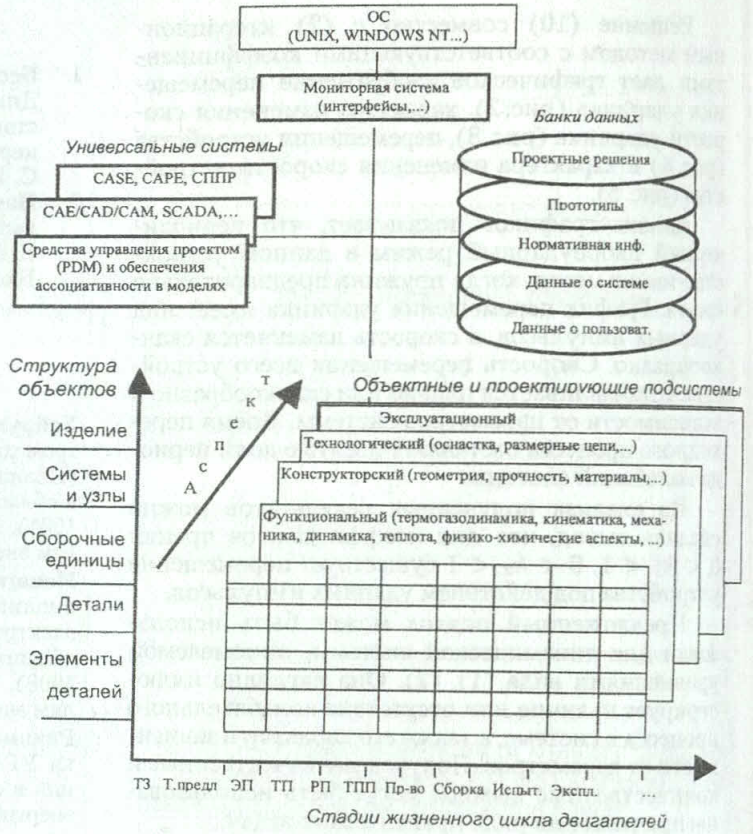


Рис. 2. Структура корпоративной системы проектирования и управления авиамоторного ОКБ (Интегрированной САПР-Д)

знаниями, обеспечение эффективного их использования в рамках организации, защита от распространения вовне. Выделяется специалист — менеджер по знаниям (Knowledge Manager) или соответствующая служба. Банк знаний создается один на всю организацию (ОКБ или завод). Он включает в себя всю постоянную информацию, используемую при создании любых двигателей, но не связанную с тем двигателем, который в настоящее время проектируется или изготавливается. В нее обязательно входят все методики расчетов, используемые на предприятии, ранее выпущенные чертежи деталей, типовые технологии, нормализованные детали, применяемые материалы, заготовки, параметры имеющихся станков и данные по ранее созданным двигателям, в первую очередь в данной организации, конечно, в структурированном виде. Обязательно наличие библиотеки деталей, оформленной в соответствии с международным стандартом P-LIB (ISO 13584) и многое, многое другое.

База знаний (информационное ядро банка знаний) создается заранее и непрерывно пополняется, в том числе и за счет чертежей, выпускаемых в данной организации. Как указано, создается эффективная служба администрирования и сопровождения этой системы. Управляет ею обычно специально подготовленный администратор базы знаний (КМ), который только один имеет право принимать окончательное решение о внесении в нее той или иной информации или об удалении устаревшей. Он же несет ответственность за по-

стоянную работоспособность базы знаний, а главное — за ее сохранность.

С учетом всех этих тенденций в моторных ОКБ происходит переход на новые технологии в рамках концепции КИП (СІМ). Как один из основных компонентов создаваемые корпоративные информационные системы включают в себя базы и банки знаний. Для этого уже сейчас могут быть использованы существующие технологии, компьютерные системы, которые позволяют автоматизировать определенные этапы жизненного цикла (ЖЦ) изделий машиностроения, и их можно применить для авиадвигателя. Среди них упомянутая CALS-технология, стандарты и средства STEP-технологии, рабочие среды — Framework (MetaСАПР), САD/САM/САЕ-системы, системы «параллельного проектирования» (в том числе управления данными проекта PDM), системы для мониторинга при испытаниях, изготовлении и эксплуатации (SCADA), системы для управления информационными и материальными потоками (MRP) и т. д. Эффективно могут быть использованы и имеющиеся в России и за рубежом системы, непосредственно ориентированные на определенные этапы и процедуры в проектировании и производстве ГТД (например, для функционального проектирования это системы ГРАД, DVIG, GASTURB, GECAT, JGTS и т. д.).

В настоящее время из полномасштабных САD/САM/САЕ-систем в авиамоторостроении применяются: Unigraphics (General Electric, Pratt & Whitney), CATIA (Pratt & Whitney), CADD5 (Rolls-Royce). В России в моторных

ОКБ и на серийных заводах (ОАО «Авиадвигатель» г. Пермь, АО «Рыбинские моторы», АО «Люлька-Сатурн», УМПО г. Уфа и др.) преобладает использование пакета EDS Unigraphics (UG). В ОАО «Завод имени В. Я. Климova» (С-Петербург) применяется Euclid 3 и PRELUDE. Практически на всех предприятиях моделирование сборки двигателя и сложных узлов ведется в полномасштабных CAD/CAM/CAE-системах, а далее модели передаются в технологические подразделения, где конструируется оснастка, решаются задачи АСТП в CAD/CAM Cimatron. Такая организация оказывается эффективнее. При этом в каждой из полномасштабных CAD/CAM/CAE-систем имеются модули для создания баз знаний (Knowledge Based Engineering).

Можно показать место интегрированных систем различного уровня и назначения в автоматизации крупного авиамоторного предприятия (рис. 1). При этом под расширенным предприятием (EPD) понимается все более модная на Западе концепция «виртуальной» корпорации — с распределенными смежниками. Для авиамоторного предприятия это означает объединение завода, ОКБ и ряда смежных организаций (разработчиков и производителей агрегатов, автоматики и т. д.). В рамках EPD сотрудничают разработчики, поставщики, производители и заказчики. При этом замещается «компонентно-центрическое» последовательное проектирование на «изделие-центрический» процесс, выполняемый проектно-производственными бригадами, работающими совместно в параллельно-согласованной среде. Поскольку многие поставщики и участники проекта могут находиться в разных частях страны и даже в разных странах, то для обеспечения такой деятельности, кроме ПК и локальной сети предприятия, требуются мощные серверы, высокопроизводительные графические рабочие станции (типа Silicon Graphics) и глобальная сеть Internet.

Из схемы (рис. 1) видно, что крупное предприятие должно строить *компьютеризированную среду* для своих нужд на основе системного проекта. Он может быть выполнен *системным интегратором* (специализированной фирмой) с использованием технологии структурного анализа (SADT — стандарт США) и пакетов типа IDEF/Design. Как заявлено в [1], отечественная STEP-ориентированная CALS-технология проектирования производственных систем (IntegroCALS) позволяет на платформе Windows NT автоматизированно преобразовать IDEF-модели в описания на декларативном языке EXPRESS (язык стандарта STEP), оттранслировать его во внутреннее представление ("SDAI_dictionary") и конвертировать их в исходный текст на языке C++ для стандартного взаимодействия приложений с банками информации (репозиториями), транслировать информационную модель в выбранную СУБД, а также организовать интерфейс с уже имеющимися на предприятии или выбранными CAD/CAM/CAE и другими системами.

После такой проработки становятся понятными роль и место отдельных приложений для под-

разделений предприятия и рабочих мест. Далее возникает вопрос о среде управления всем комплексом. Это могут быть AVALON 9 (CIM), IFS, MANMAN/X, MMII, MFG/PRO, R/3, SOCAP, TRITON. С меньшей уверенностью можно рекомендовать STAFFWARE, SCALA и Lotus Notes. Самой крупной интегрированной системой этого класса является R/3, но автоматизация на ее основе авиамоторного предприятия требует колоссальных затрат времени, финансов, труда и интеллекта.

Управление проектными, технологическими и производственными подразделениями может быть обеспечено путем разработки приложений на основе систем класса АСУП. Для этого можно рекомендовать использование OPTEGRA (CV), IMAN (Unigraphics), MANTA (BAAN) и CPDM (Cimatron).

Далее встает вопрос о *технологии разработки приложений* для автоматизации проектных и конструкторско-технологических работ в конкретных подразделениях и на рабочих местах. Выбор невелик — PELORUS (CV), Jupiter (Intergraph), CAS.CADE (Matra Datavision), а также User-пакеты в составе CAD/CAM-систем. Последний подход быстро становится несовременным. Технологии же типа PELORUS, Jupiter, CAS.CADE, наоборот, рассчитаны на многолетнюю перспективу. Это объектно-ориентированные, управляемые событиями инструментальные архитектуры, созданные специально для интерактивной автоматизированной разработки приложений в средах CAD/CAM на платформе Unix и Windows. Например, ядро PELORUS составляет большое число программных объектов-инструментов, реализованных в виде DLL или разделяемых библиотек Unix, которые динамически связываются при загрузке приложения.

Само создание приложений для подразделений и рабочих мест зависит от специфики решаемых задач. Следует стремиться к использованию интегрированных сред или поддержке современных стандартов передачи информации (прежде всего стандарта STEP).

Для задач моделирования двигателя и его узлов в сосредоточенных параметрах или одномерных задач на уровне структурного и функционального проектирования можно рекомендовать описанную в [2] «оболочку» (Framework — метаCAIP) CAMSTO и в качестве «заготовок» — компонентов создаваемой компьютерной среды приложения на ее основе — DVIIG, PARLOP, RASCAD и CAMAC. Для исследования поведения механических систем целесообразно использование системы ADAMS (фирма Mechanical Dynamics — MDI). ADAMS и его компоненты занимают более 65% мирового рынка и играют роль стандарта в области анализа механических систем. Он используется во всех автомобилестроительных предприятиях, а в авиационной — в Deutsche Aerospace, Lockheed, McDonnell Douglas, NASA, Sikorsky, General Electric.

Для задач пространственного (континуально-го) анализа есть альтернативы — использование

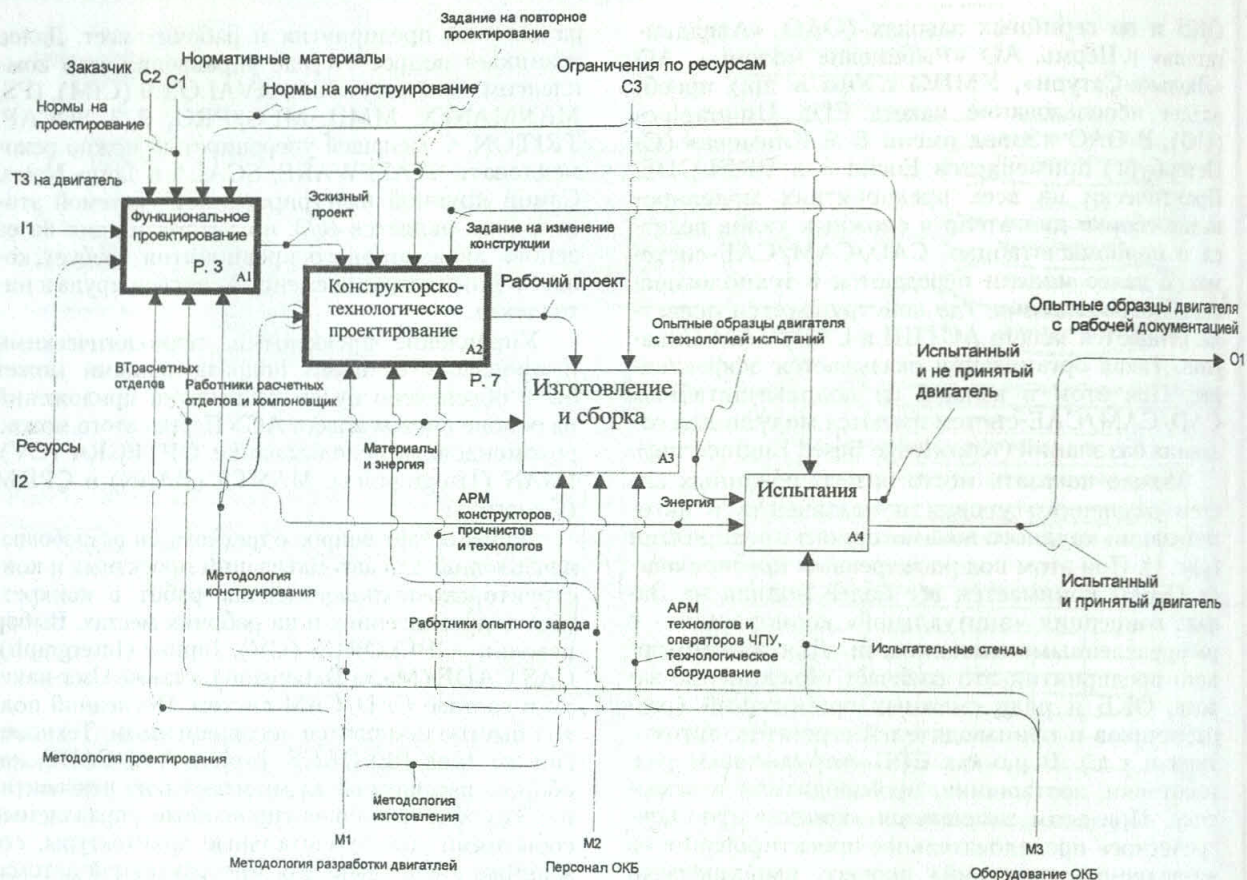


Рис. 3. Пример функциональной IDEF0-диаграммы из системного проекта автоматизации авиамоторного ОКБ

семейства пакетов класса CAE на основе NASTRAN (фирма MSC) и ANSYS. В отечественном авиамоторостроении используются оба семейства — NASTRAN и ANSYS, на Западе преобладает семейство на базе NASTRAN, который изначально был разработан по заказу NASA. Его используют MTU, Snecma, Rolls-Royce, European Gas Turbines — EGT (Великобритания), Pratt & Whitney [3]. С учетом этой информации можно рекомендовать следующие пакеты для конкретных задач, решаемых в соответствующих подразделениях авиамоторного КБ:

1) *Структурная механика*: задачи пространственного анализа — MSC/NASTRAN (напряженно-деформированное состояние, теплота), ABAQUS (тепловые задачи, анализ деформаций, образования трещин), MARC, SAMCEF (деформации, разрушение, движение осколков при разрушении), DYNA3D, MSC/DYTRAN (улавливание осколков (лопаток), их встреча с оболочечными конструкциями), MECHANICA — MSC/CONSTRUCT (механика деталей и узлов), MSC/FATIGUE (анализ возникновения и развития трещин).

2) *Термодинамика*: MSC/Patran Thermal.

3) *Газовая динамика*: Tascflow (газодинамические задачи), Fluid Dynamics (газодинамические задачи, задачи горения в потоке и т. д.), Flotran — газодинамические задачи.

4) *Электродинамика*: POLOPT (задачи по проектированию электрических агрегатов).

В качестве *интегрированных CAD/CAM/CAE-систем* для авиадвигателестроения сегодня (с учетом опыта ряда российских ОКБ и заводов) можно рекомендовать EDS Unigraphics, с меньшей долей уверенности CATIA, Pro/ENGINEER и Euclid Quantum. На нижнем уровне при этом (в технологических и производственных подразделениях) может эффективно работать Cimatron (v.10). Применение именно таких систем обосновывается особенностями объекта, прежде всего, необходимостью создания больших сборок, организацией параллельного проектирования, полной ассоциативностью (в том числе деталей с их пресс-формами и т. д.)

Для автоматизации *испытаний и управления производственными участками* (мониторинга) пригодны отечественная система Trace Mode или системы Intelution, RT/Works (США).

Для этапа *производства* полезны пакеты типа ROBCAD (TECHNOMATIX TECHNOLOGIES) [4]. Он относится к CAPE-инструментарии (Computer Aided Production Engineering — компьютерно-ориентированный производственный инжиниринг) «виртуального производства». В такой среде инженер получает корректное размещение оборудования, последовательность обработки и рассчитывает ее режимы, и с использованием CAM-

систем получают программы ЧПУ. Для работы с такими системами требуется высокое разрешение и ресурсы. Поэтому рационально использовать рабочие станции Silicon Graphics. Наиболее эффективно применяют ROBCAD фирмы Ford Motor Company и Chrysler Corporation, а в России — АвтоВАЗ.

Для автоматизации подготовки и управления производством (АСТПП) трудно предложить западный продукт. Эти задачи настолько трудно формализуемы, что рынок таких продуктов не сформировался. Известны системы УФА и ТЕХНОКЛАСС (L-class, Болгария) [5]. В их составе базы материалов, инструмента, средства планирования и формирования технологической документации, расстановка оборудования в цехах и т. д. Условно структуру программных комплексов автоматизации авиадвигательного предприятия можно представить схемой (рис. 2). В каждой клетке матрицы объектных и предметных подсистем можно поместить приложение для конкретного объекта, этапа разработки двигателя и определенно-го аспекта рассмотрения или обработки. Здесь могут найти свое место и используемые в настоящее время подсистемы — ГРАД, DVIG, САПР Турбомашин, САПР ТП «ГРАФИТ ТМ», АСПП «Уфа» и т. д.

Однако существует ряд нерешенных методических задач создания и использования в разработке двигателей единой информационной технологии. Прежде всего имеются в виду следующие задачи:

- 1) Формирование моделей процессов разработки двигателей и участвующих в нем объектов (в соответствии с методологией моделирования жизненного цикла CALS и с использованием CASE-технологий).
- 2) Построение на этой основе системного проекта автоматизации моторного ОКБ. Ликвидация имеющего место разрыва между функциональным, конструкторским и технологическим проектированием.
- 3) Разработка методологии согласованного функционального и конструкторского проектирования «сверху вниз» — от простого к сложному, с использованием новых возможностей.
- 4) 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).
- 5) Разработка технологии создания адаптированных к условиям ОКБ приложений, поскольку именно они представляют Ноу-Хау предприятий и их не удается (или это очень дорого) приобрести на Западе.

Необходимо достаточно быстро перейти на новый уровень на основе развития средств и методологии автоматизированной разработки двигателей с использованием новых технологий и имеющегося опыта и разработок. Такой опыт имеется в моторных ОКБ и авиационных вузах. Так, на-

пример, в УГАТУ с использованием технологии SADT, методик IDEF0 и IDEF1X, а также пакета IDEF/Design разработан системный проект автоматизации моторного ОКБ (пример одной из диаграмм показан на рис. 3). В настоящее время проект разослан для критического анализа в ряд ОКБ (ранее такая работа уже проводилась с использованием имевшихся средств и привела к созданию Интегрированной САПР АД «АСПАД 88»).

Результаты рецензирования в промышленности разработанного проекта системной автоматизации авиадвигательного ОКБ (в соответствии с SADT-технологией), опыт создания предметных приложений с использованием PDM и CAD/CAM/CAE-систем, опыт разработки МетаСАПР (Framework) САМСТО и ее приложений для функционального проектирования DVIG, PARLOP и т. д. позволили сформировать методологию автоматизации процесса системной разработки авиационных двигателей, отвечающую современным и перспективным требованиям и использующую базы знаний и элементы искусственного интеллекта. Она опирается на разработанные алгоритмы СППР и метод компактного представления статистической информации для нее, алгоритмы универсального Решателя и Планировщика, предложенную сетевую структуру объектов, моделирующих функциональные (ФЭ), конструкторские (КЭ) и технологические (ТЭ) элементы в динамически формируемой при проектировании многоуровневой многоаспектной модели двигателя (дерево проекта).

Подробнее суть этой методологии, разработанные средства автоматизации и полученные с их помощью результаты будут рассмотрены в следующей статье данной серии.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ И ТЕРМИНОВ

- ЖЦ** — жизненный цикл изделия, от формирования потребности до утилизации;
- ИТ** — информационная технология;
- КИП** (CIM — Computer Integrated Manufacturing) — компьютеризированное интегрированное производство;
- Приложение** — адаптированная к конкретным задачам информационная система, построенная с использованием конкретной универсальной системы;
- 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 Life Cycle 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 обмен 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 Planning) — 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. **Дмитров В. И., Андриенко А. В.** Средства компьютеризированной поддержки STEP-ориентированной технологии проектирования производственных систем // Информационные технологии. 1996. № 3. С. 2–7.
2. **Ахмедзянов А. М., Кожин Д. Г.** Система конструирования среды для математического моделирования сложных технических систем // Изв. вузов. Авиационная техника. 1994. № 1. С. 54–58.
3. **Шатров Б. В.** Материалы совещания рабочей группы MSC «Координация развития программных систем MSC в области проектирования и производства газотурбинных двигателей» (GTET Meeting). Сент. 1997, Мюнхен, The MacNeal-Schwendler Corp. (Германия).
4. **Тихомиров В. Г.** Делая виртуальное производство реальностью // Информационные технологии. 1997. № 1. С. 39–42.
5. **Описание ситемы ТЕХНОКЛАСС. L-class.** Болгария, София, 1997. 47 с.

ОБ АВТОРЕ

Кривошеев Игорь Александрович, доцент кафедры авиационных двигателей УГАТУ. Дипл. инженер-механик (УГАТУ, 1976), канд. техн. наук по тепловым двигателям ЛА (УГАТУ, 1981). Исследования в области автоматизированного проектирования авиационных двигателей.

УДК 629.062-82

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. А. ЦЕЛИЦЕВ

УГАТУ, факультет авиационных двигателей
Тел: (3472) 23 09 44 E-mail: alla_pgm@mail.ru

Аннотация: Изложены основы проектирования и разработки двухкаскадных электрогидроусилителей. Приведены типовое техническое задание на разработку электрогидроусилителя, методика и алгоритм проектирования. Рассмотрены вопросы синтеза и анализа параметров электрогидроусилителей

Ключевые слова: двигатели летательных аппаратов; электрогидравлические усилители мощности; синтез и анализ параметров

Электрогидравлические усилители мощности с двухщелевым дросселирующим гидрораспределителем типа «сопло-заслонка» в первом каскаде усиления и золотниковым четырехщелевым гидрораспределителем во втором каскаде нашли широкое применение в следящих гидравлических системах управления летательными аппаратами вследствие простоты конструкции и надежности в работе. Типовые принципиальные схемы электрогидроусилителей с подпружиненным золотником (ЭГУ-1) и с упругой механической обратной связью по положению золотника (ЭГУ-2) приведены на рисунке.

Техническое задание на проектирование ЭГУ-1 и ЭГУ-2 должно включать следующие основные пункты:

1. **Тип используемого ЭМП.** Выбор электромеханического преобразователя (ЭМП) может осуществляться по каталогу типоразмеров в процессе проектирования, исходя из технических требований. Необходимо отметить, что в рассматриваемых ЭГУ применяются, как правило, высоконадежные герметизированные ЭМП с малым ходом якоря и большим усилием, характеризующиеся значительным быстродействием (за счет больших ЭМП), линейностью и симметричностью тяговой характеристики. Максимальное усилие, приведенное к оси сопел и равное $F_{я}^m = K_{Fi} i_y$ (K_{Fi} — коэффициент передачи ЭМП по усилию; i_y — ток в обмотках управления), определяется, как правило, границей насыщения магнитопровода. Основные параметры ЭМП в каталогах обычно ориентированы на угол поворота якоря α . Для