

**Братухин А. Г.**

Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства.  
РФ, г. Москва

## ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ (на примере гражданской авиационной техники)



LIMA-95 (Малайзия).

A. Bratukhin, Deputy Chairman of the State Committee for  
Defense Industries of the Russian Federation

Мировой опыт авиастроения: самолетостроение — Boeing Co, Компания Aerobus; двигателестроение — Компания Pratt and Whitney Corp. United Technologies, Компания SNECMA (Societe National d'Etude et de Construction de Moteurs d'Aviation), Компания Rolls-Royce подтверждает, что в XXI веке эффективность применения информационных технологий (Information Technologies — IT) проявляется не в локальном использовании IT в варианте CAD (Computer Aided Design — система автоматизированного проектирования), CAM (Computer Aided Manufacturing — автоматизированное производство) и других, а при интегрированном применении IT на всех этапах жизненного цикла изделий (ЖЦИ) авиационной техники (CALS — Continuous Acquisition and Life cycle Support — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции).

Сейчас становится ясно, что локальная компьютеризация отдельных видов деятельности при наличии в основном технологии и технологического оборудования XX века не оправдывает надежд в связи с тем, что реализация IT в таких вариантах представляет собой попытки внедрения качественно новых сред в традиционную технологическую среду. Эти попытки либо полностью отторгаются, либо адаптируются к среде таким образом, что эффективность от использования IT невелика и не влияет на конкурентоспособность продукции.

Требуется не локальная, а интегрированная компьютеризация при:

– проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;

- оценке технического уровня изделий;
- маркетинговых исследованиях;
- проектировании;
- конструировании;
- технологической подготовке производства;
- организации и управлении серийным производством;
- материально-техническом снабжении;
- сертификации;
- поставках;
- эксплуатации;
- гарантийном и послегарантийном обслуживании;
- ремонте и устранении неисправностей;
- модернизации;
- капитально-восстановительном ремонте;
- демонтаже и утилизации изделий;
- непрерывной подготовке и переподготовке кадров конструкторов, технологов, организаторов производства, специалистов служб контроля, представителей заказчика продукции, а также летного состава.

На рис. 1 представлена концепция применения CALS-технологий на российских предприятиях.

Для поддержки ЖЦИ авиационной техники наиболее сложным продуктом является программное обеспечение (ПО). Работы и задачи, выполняемые в ходе жизненного цикла (ЖЦ) программных средств, определяются стандартом ГОСТ Р ИСО/МЭК 12 207 «Информационные технологии. Процессы жизненного цикла программных средств».

Разработка ПО начинается с выбора средств конфигурационного управления и обеспечения качества, выбора методов и средств технологического обеспечения, разработки всей автоматизированной информационной системы. Предусматриваются верификация (фр. verification; лат. verus (истинный)+facere (делать)) и валидация (фр. valide (важный)) ПО путём тестирования в различных ситуациях исходных данных. Для интеграции компонентов выполняются тестирование, инсталляция (англ. unstationation (установка)) и др. работы.

Наряду со стандартом ISO 12 207, применяют и другие стандарты в области организации ЖЦ ПО: стандарт ISO 9126 — по вопросам показателей качества ПО; стандарт ISO 15 504, характеризующий процессы ЖЦ программных средств с точки зрения их организации; стандарт ISO 14764, относящийся к процессам сопровождения ПО и др.

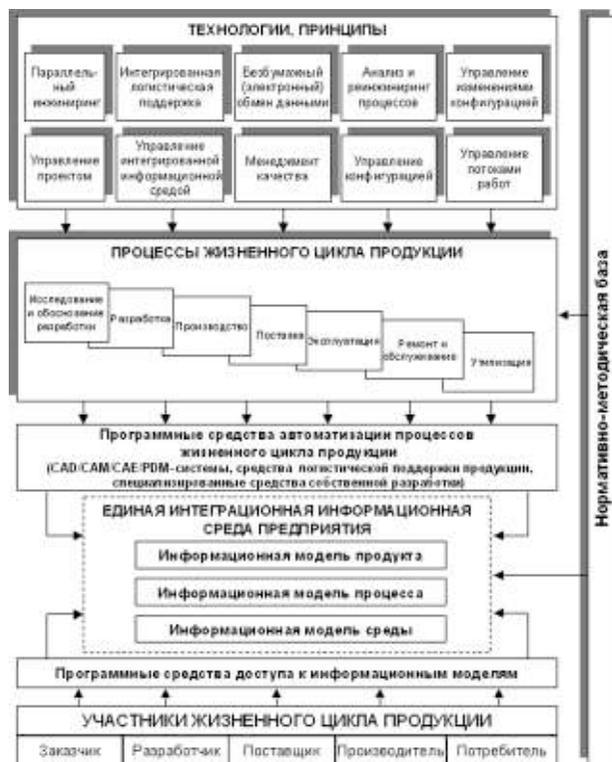


Рис. 1. Концепция применения CALS-технологий на российских предприятиях

В программном обеспечении автоматизированных систем выделяются системное и прикладное ПО.

К системному ПО относятся операционные системы (ОС), системы программирования, средства организации сетевого взаимодействия и др.

Системное ПО не отражает специфики конкретных решаемых задач, поэтому под программным обеспечением CALS-технологий следует понимать прикладное ПО, применяемое для создания поддержки интегрирующей информационной среды, проектирования изделий, управления процессами в автоматизированных системах и других объектах.

В прикладном ПО в соответствии с многообразием функций, выполняемых в промышленных авто-



Рис. 2. Заседание Авиационного промышленного совета по CALS открывает Председатель Совета, профессор Братухин А.Г.

матизированных системах, различают большое число типов программных систем и комплексов.

Основная классификация прикладного ПО вытекает из классификации самих промышленных автоматизированных систем, которые подразделяются на системы управления жизненным циклом продукции, автоматизированного проектирования, автоматизированного управления предприятием (ERP — Enterprise Resource Planning), автоматизированного управления технологическими процессами.

Так, программное обеспечение управления жизненным циклом изделий предназначено для выполнения следующих задач:

- управление данными, разделяемыми разными подсистемами на этапе проектирования изделий;
- поддержка моделирования и обмена данными в автоматизированных системах на основе стандартов STEP (ISO 10 303);
- интеграция автоматизированных систем;
- разработка и применение интегрированных электронных технических руководств (ИЭТР);
- разработка и применение интегрированной логистической поддержки производства (ILS — Integrated Logistic Support) и другие задачи.

Вопросам основополагающих интегрированных информационных технологий придавал важное значение Авиационный Промышленный Совет по CALS, возглавляемый на протяжении 10 лет со времени его создания профессором Братухиным А.Г. Одно из заседаний Совета было проведено на лучшем предприятии авиастроения России — ОАО «КнААПО». В двухдневном заседании Совета приняли участие не только члены Совета, но и более 200 специалистов предприятия (рис. 2–4).

**Лучшим докладом на выездном заседании Совета по CALS был доклад Е.П. Савельевских «По вопросам CALS-технологии ОАО «ОКБ Сухого»».**



Рис. 3. В работе Авиационного промышленного совета по CALS приняли участие: Ректор МАИ, академик РАН, Матвеевко А.М.; главный инженер ФГУП ММПП «Салют», канд. техн. наук Поклад В.А.; директор проектно-исследовательского научного центра ОАО «ОКБ Сухого» Савельевских Е.П. и др.



Рис. 4. Участники заседания Aviационного промышленного совета по CALS у лучшего в мире в своем классе истребителя семейства Су-27 производства КнААПО

Ниже приводятся примеры основополагающих интегрированных информационных технологий наукоемкого авиастроения.

#### Электронное определение изделия

Ключевой составляющей CALS является переход к электронному определению изделия (ЭОИ). ЭОИ обеспечивает непрерывную информационную поддержку изделия в течение всего его жизненного цикла. Основой ЭОИ является безбумажное представление информационной модели изделия (электронная модель), включающая все данные о нем.

Основу электронной модели составляет трехмерная геометрическая модель, созданная средствами систем 3D-моделирования на базе применяемых

моделей поверхностей теоретических обводов, конструкторской документации.

Электронная модель — основное средство повышения эффективности проектирования, производства, сопровождения изделий на протяжении всего жизненного цикла.

На рис. 5 приводится электронная модель самолета Sukhoi Superjet 100.

На рис. 6 показан фрагмент электронного макета МС-21 (магистрального самолета XXI века), включая киль, исполненный по традиционной схеме проектирования и конструирования. Киль — аэродинамическая поверхность летательного аппарата (ЛА), являющаяся основной частью вертикального оперения и предназначенная для обеспечения его путевой устойчивости и управляемости. Вопрос



Рис. 5. Электронная модель Sukhoi Superjet 100

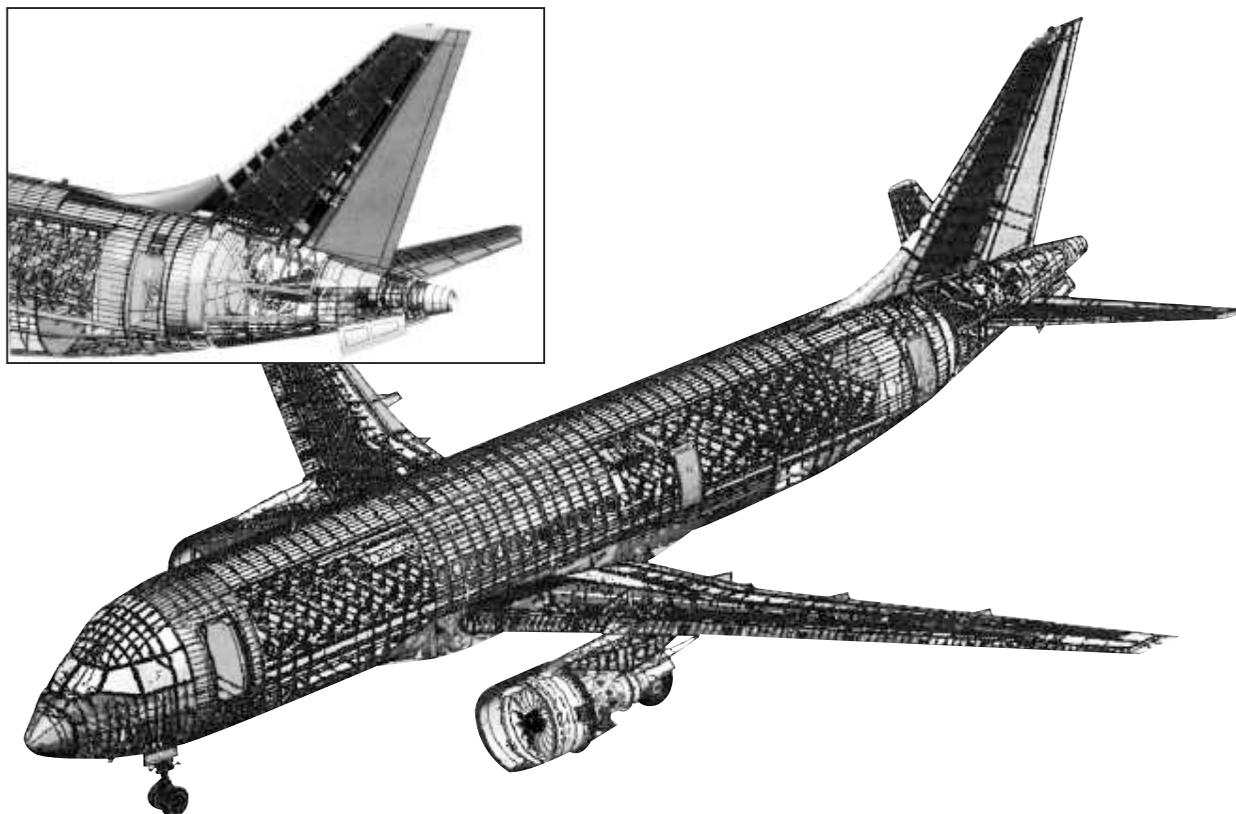


Рис. 6. Электронный макет МС-21

конструирования, производства килей самолетов гражданской авиации будет дополнительно рассмотрен в разделе «Конструкции из полимерных композиционных материалов».

Структура электронного макета обеспечивает:

- проработку и увязку конструкций на этапе проектирования;
  - возможность организации параллельных процессов в проектировании изделий и в подготовке их производства, учитывая, что параллельное проектирование (СЕ – Concurrent Engineering) обеспечивает интеграцию оценок взаимодействующих конструкторско-технологических решений (КТР). Принимаемая реализация КТР может иногда потребовать:
    - точного реинжиниринга бизнес-процессов;
    - разработки новых процессов на основе электронных систем с целью ускорения реакции корпоративных систем на изменение условий ведения бизнеса;
    - преобразования информационной структуры и процессов функционирования предприятия на основе внедрения новых информационных технологий;
    - управления составами изделий и их модификациями;
    - подготовку информации для разработки и поставки электронных руководств по эксплуатации и обслуживанию изделий с учетом модификаций и т.д.
- Так, электронное моделирование гидравлических систем ЛА, предусматривающее решение задач про-

кладки трубопроводов, анализ полученных конструкторско-технологических решений, позволяет:

- выполнять прокладку трасс трубопроводов как одиночных, так и объединенных;
- сопрягать участки труб с различными радиусами, в том числе в зависимости от наружного диаметра трубы;
- ассоциативно перестраивать конфигурацию трубопровода, используя механизм контрольных точек;
- осуществлять точную стыковку труб, арматуры, агрегатов гидросистемы.

В состав типового участка входят:

- электронные модели труб с законцовками;
- электронные модели соединительной (проходной и переходной) арматуры трубопроводов из сталей, титановых и алюминиевых сплавов и других материалов.

#### Создание электронного макета

Основой электронного макета (ЭМ) является его структура, т.е. структура его сборки. При формировании структуры сборки важно правильно выбрать принцип построения структуры, представляющей собой множество файлов, иерархически упорядоченных и представленных в виде древовидной структуры. Структура ЭМ-изделия создается в 2 этапа: формирование структуры ЭМ-изделия верхнего

уровня и формирование структуры ЭМ-изделия на уровне спецификаций на входящие системы (агрегаты). Структура ЭМ верхнего уровня создается в системе управления данными об изделии до начала работ по электронному макету и служит информацией для отделов-исполнителей. Формирование структуры ЭМ на уровне спецификаций на входящие системы (агрегаты) производится в соответствии с конструкторско-технологическими спецификациями отделов-исполнителей.

Формирование структуры ЭМ на уровне спецификаций на входящие системы (агрегаты) производится в соответствии с конструкторскими спецификациями отделов-исполнителей. В зависимости от текущего этапа проектно-конструкторских решений (аванпроект, эскизно-технический проект, рабочий проект) структура ЭМ верхнего уровня не изменяется, а по мере углубления проработки проекта производится детализация структуры ЭМ на уровне спецификаций систем и агрегатов. В ходе рабочего проектирования структура ЭМ полностью детализируется.

Так, при организации серийного производства SSJ-100 важнейшим решением стало применение ЭМ и современных цифровых технологий, что позволило максимально сократить сроки реализации проекта, обеспечить высокое качество продукции при снижении трудоемкости производства.

Современный этап освоения информационных технологий — создание технологических цепочек, использующих трехмерные модели для всех технологических процессов производства.

Информационные технологии связали воедино весь технологический процесс от конструкторского проектирования до технологической проработки.

Использование трехмерного моделирования при конструкторском проектировании — одно из центральных направлений развития методологий цифрового производства АХК «Сухой»,

ОАО «КнААПО». Трехмерная цифровая модель — главный источник информации для всех подразделений предприятия.

При технологической обработке принцип мастер-модели стал основополагающим для комплексной работы служб подготовки производства.

Предприятие использует трехмерные модели на всех этапах создания изделий: при моделировании оснастки, подготовке программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ), контроле готовой продукции и других операциях, создавая, таким образом, замкнутый технологический цикл. В результате применения 3D-моделирования КнААПО им. Ю.А. Гагарина удалось:

- повысить уровень качества конструкторской документации;
- на 30% сократить сроки подготовки программ для станков с ЧПУ и значительно увеличить перечень изготавливаемых на них деталей;

- в 1,5 раза снизить затраты на подготовку производства, значительно улучшив при этом переход на методологию проектирования в электронном виде;

- обеспечить для производства семейства SSJ-100 возможность не только более точной увязки конструкции изделий и, как следствие, высокого качества с первых изделий, но и позволило в ряде случаев вести отработку конструктивных изменений не на реальных конструкциях, а на виртуальных.

Технологические модели изделий разрабатываются на основе конструкторских моделей с помощью классификаторов конструкторско-технологических решений. Ключевой подсистемой в технологической подготовке производства является автоматизированная система подготовки агрегатно-сборочного производства, позволяющая автоматизировать проектирование технологических процессов и средств оснащения сборки.

На рис. 7 показано моделирование технологического процесса сборки центроплана с использованием технологических электронных макетов.

В соответствии с требованиями государственных стандартов, вводящих понятия «электронная модель изделия», «электронный макет», определяющих требования к их разработке с учетом опыта работы Компании Snecma Moteurs, на ОАО «НПО «Сатурн» проведен ряд организационно-технических мероприятий для обеспечения введения как электронных моделей деталей (сборочных единиц), так и электронного макета двигателя SaM-146:

- разработаны требования к выполнению электронных моделей деталей (сборочных единиц) и конструкторской документации (КД);
- разработаны требования по ведению электронного макета;
- разработаны требования к организации и форматам обмена со Snecma и производственными базами данных;
- определена структура и правила наполнения электронного макета;
- определена CAD/CAM/CAE — система Unigraphics по средствам разработки КД и электронного макета двигателя SaM-146;
- внедрена система управления изделиями Teamcenter Engineering, с помощью которой ведется КД и электронный макет двигателя SaM-146;
- проведено обучение сотрудников конструкторских подразделений.

#### **Цели и задачи создания электронной модели изделия и электронного макета**

Исходя из определений электронной модели изделия и электронного макета, установлены следующие цели:

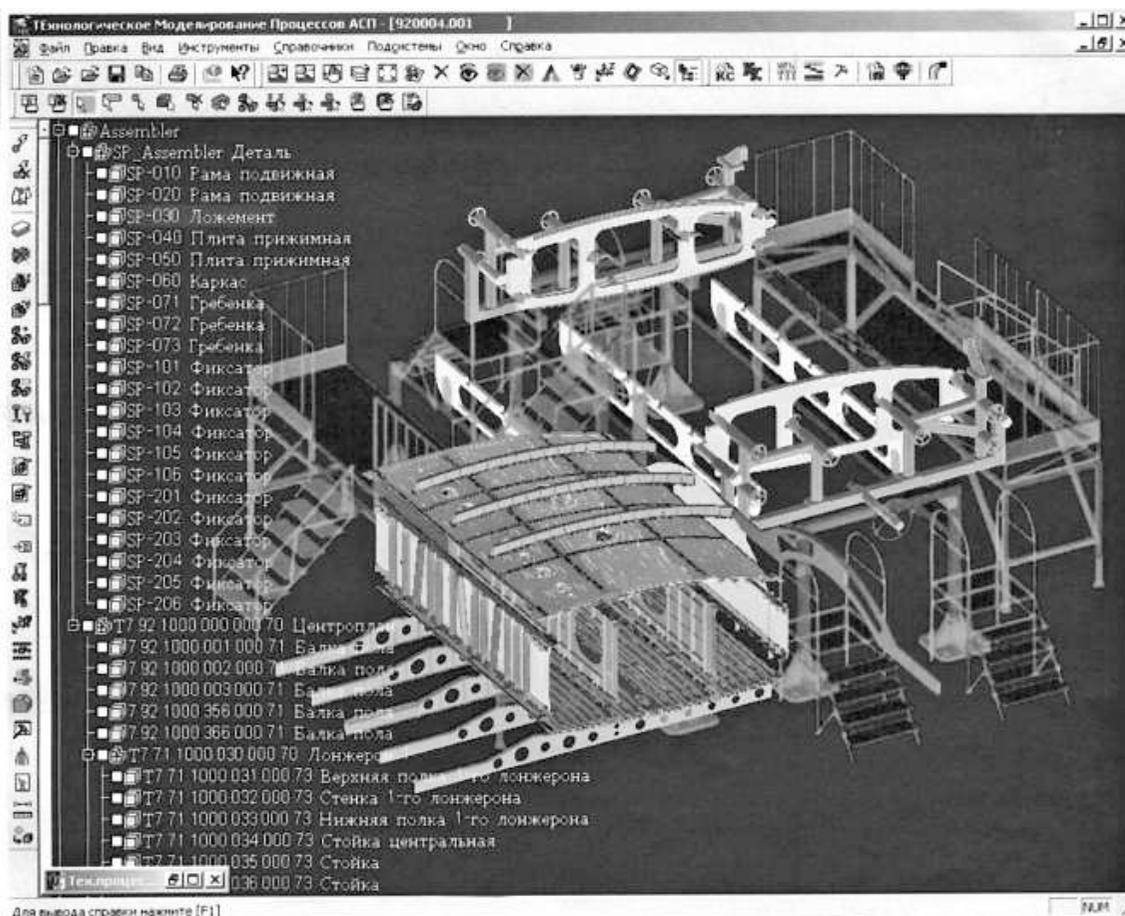


Рис. 7. Моделирование технологического процесса сборки центроплана с использованием технологических электронных макетов

#### Для электронной модели изделия:

- интерпретация всего составляющего модель набора данных в автоматизированных системах;
- визуальное отображение конструкций изделия в процессе выполнения проектных работ и производственных операций;
- выполнение чертежной конструкторской документации в электронной и/или бумажной форме;
- разработка/корректировка технологической документации, в том числе при создании управляющих программ для станков с ЧПУ;
- введение конструкторской документации при внесении изменений.

#### Для электронного макета:

- проведение компоновочных работ на этапе эскизного проекта;
- проверка изделия на собираемость;
- размещение на изделии агрегатов, трассировка трубопроводных и электрических коммуникаций;
- привязка двигателя на объекте;
- замена натурного макетирования виртуальным;
- разработка 3D-моделей и выпуск КД;
- разработка эксплуатационной документации.

Качественно новый уровень электронного моделирования на НПО «Сатурн» был достигнут в ходе

реализации международной программы SaM-146 с Компанией Snecma Moteurs.

При этом единственной возможностью создания и ведения единого электронного макета SaM-146 явилась передача данных между партнерами через Интернет.

#### Использование электронного макета для создания эксплуатационной документации

Для выхода на мировой рынок сложной техники, какой являются газотурбинные двигатели, необходимо наличие эксплуатационной документации в электронном виде с обязательным включением поясняющих иллюстраций. Электронный макет дает широчайшие возможности по разработке подобной документации (рис. 8).

При выборе оборудования заказчиком огромное внимание уделяется наличию развитой службы технической поддержки.

Электронный макет предоставляет уникальную возможность создания on-line-службы с возможностью 3D-отображения любого узла изделия при неисправности или при техническом обслуживании техники (рис. 9).

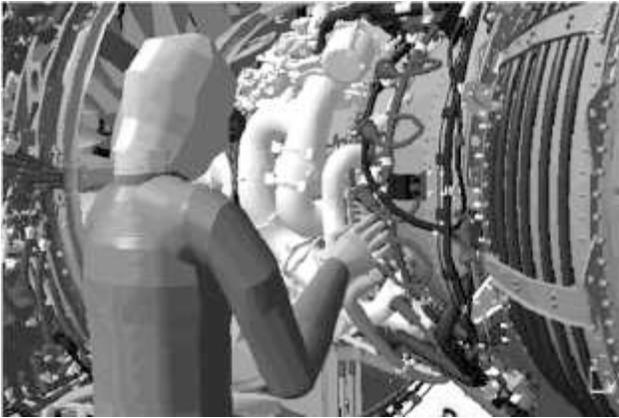


Рис. 8. Использование электронного макета для создания интерактивной службы технической поддержки



Рис. 9. Использование электронного макета при оценке возможности технического обслуживания

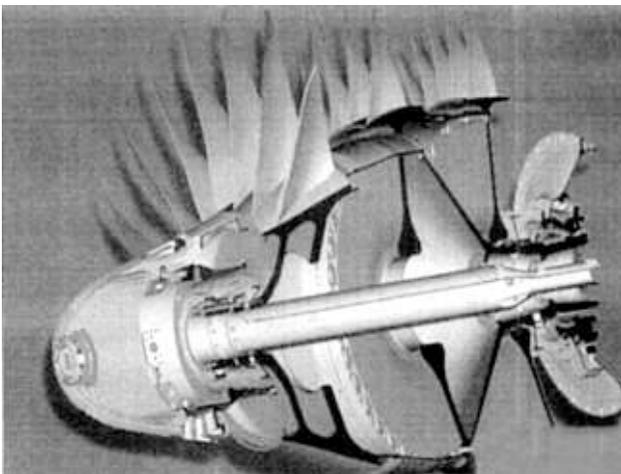


Рис. 10. Ротор 3-ступенчатого компрессора низкого давления АЛ-31Ф-М3 (3D-модель)

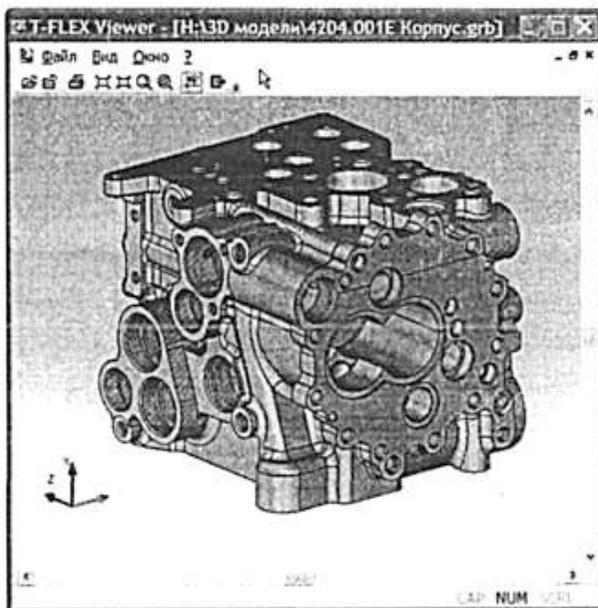


Рис. 11. Модель корпуса топливной аппаратуры авиадвигателей разработки и производства МПО им. И. Румянцева (Генеральный директор – к.т.н. Халфун Л.М.)

Примерами фрагментарного электронного моделирования с последующей обработкой на современных многокоординатных обрабатывающих центрах служат:

- ротор трехступенчатого компрессора низкого давления ГТД АЛ-31Ф-М3 (3D-модель), выполненный по технологии «BLISK» разработки ФГУП ММПП «Салют» (рис. 10). Уникальная технология разработана и внедрена под руководством доктора технических наук профессора Елисеева Ю.С. – Генерального директора (с 1997 по 2011 гг.);

- система CAD/CAE T-Flex Cad (Computer Aided Design – системы автоматизированного проектирования/Computer Aided Engineering – система инженерных расчетов), позволяющая в режиме 3D (рис. 11) разрабатывать основные изделия, крупную оснастку и программы обработки на станках с ЧПУ, а, используя модуль T-Flex АНАЛИЗ и комплекс ANSYS, производить инженерные расчеты методом конечных элементов. Задачи конструкторского проектирования решены в объединении имени И. Румянцева (Генеральный директор – к.т.н. Л.М. Халфун).

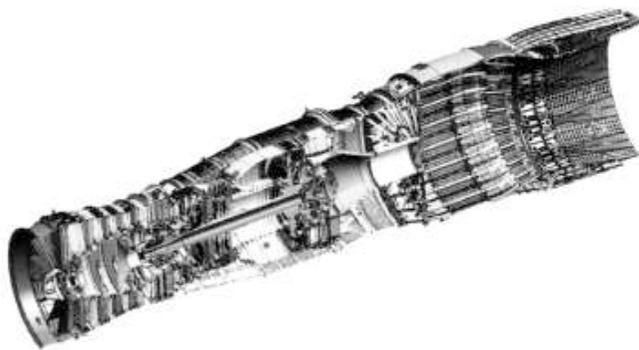
#### Применение координатно-измерительных машин и комплексов при создании конкурентоспособной авиационной техники

Особое место в создании конкурентоспособной авиационной техники отводится координатно-измерительным машинам (КИМ) и комплексам. Такие комплексы, используя единую базу данных в виде электронной модели изделия, позволяют не только контролировать точность исполнения оснастки, деталей, узлов, агрегатов, но и решать задачи, которые целесообразно решать только с использованием КИМ, в том числе измерение геометрических параметров сложных прецизионных деталей, обмер которых традиционными способами (шаблоны, эталоны и т.д.) требует дорогостоящей специальной оснастки и т.д.

Применение координатно-измерительных машин и комплексов на всех стадиях производственного цикла создания конкурентоспособной авиационной техники (самолеты, вертолеты, двигатели, агрегаты): технологическая подготовка производства, механосборочное производство, агрегатно-сборочное производство летательных аппаратов и другие производства — признак технологии XXI века.

К сожалению, среди российских предприятий авиационной индустрии редкие предприятия соответствуют таким требованиям технологии XXI века.

Так, на Московском машиностроительном предприятии имени В.В. Чернышева, выпускающем конкурентоспособное семейство газотурбинных двигателей семейства РД-33 (рис. 12), численность координатно-измерительных машин менее 10, но при этом эталонов оправок, шаблонов — более 100 тыс.



**Рис. 12.** Конкурентоспособный авиационный двигатель семейства РД-33, серийное производство которых с применением CALS-технологий организовано на ММП им. В. В. Чернышева (Генеральный директор — д.т.н., профессор Новиков А. С. с 2001 по 2011 гг.)

**Для сравнения: двигателестроительная компания Pratt and Whitney (г. Хартфорд, штат Массачусетс), выпускающая двигатели для военной и гражданской авиации (в том числе выигравшая конкурс на поставку двигателя PW 1000 G российскому среднемагистральному самолету MC-21), располагает более 200-ми координатно-измерительными машинами и комплексами.**

Большинство деталей имеют сложную пространственную форму (лонжероны, стрингеры, нервюры, панели и др.), которые задают сложные аэродинамические обводы летательных аппаратов (так называемые обводообразующие элементы). Контроль обводообразующих элементов заключается в определении координат отдельных точек поверхности или контура и последующем сравнении полученных значений с заданными. Контрольно-измерительные машины различных типов применяются для контроля обводообразующих элементов заготовительно-штамповочной оснастки, обтяжных пуансонов и т.д. Использование КИМ позволяет оперативно измерять геометрические параметры сложных преци-

зионных деталей, сокращать время на наладку станков с ЧПУ, обрабатывающих центров и модулей за счет быстрого и достоверного контроля обработанных деталей.

С внедрением современного бесшаблонного (бесплазового) способа увязки встает вопрос о контроле и оснастки, выполненных по трехмерным электронным моделям. При использовании трехмерных электронных макетов значительно упрощается контроль изготовленных деталей, агрегатов. Макет представляет собой трехмерное изображение математической модели, описанной в пространстве в виде координированных поверхностей, линий, точек. Наличие координат любой точки макета позволяет выполнять вычисление любых заданных размеров и проверки поверхностей с помощью координатно-измерительных машин.

Универсальность КИМ достигается развитым программно-математическим обеспечением с большим набором модульных программ для измерения деталей со сложными поверхностями, а также системой измерительных головок касания с большим набором так называемых щупов различной конфигурации.

Щупы представляют собой специальные датчики, которые связывают поверхность измеряемого объекта и систему измерения длины координатно-измерительной машины.

В случае использования электронной САД-модели детали, узла, агрегата оператор КИМ может создавать измерительную программу непосредственно на компьютере, выбирая на САД-модели элементы, подлежащие контролю. Программное обеспечение на основании этих данных позволяет автоматически распределить точки измерения по поверхности выбранного элемента, определить номинальные координаты этих точек и направляющие векторы подвода инструмента к точкам. В этом случае возможно не только точное измерение координат точек поверхности, но и контроль сложных поверхностей при отсутствии измерительных баз на детали (базирование может быть осуществлено непосредственно по измеряемой поверхности).

Соединив КИМ с персональным компьютером через последовательный порт, оператор получает возможность измерять сложные пространственные детали и сравнивать полученные данные с объемной компьютерной моделью.

Современные модели КИМ обладают функцией реверсивного инжиниринга (Reverse Engineering), заключающиеся в том, что данные, снятые с координатно-измерительных машин, преобразовываются в компьютерные модели для дальнейшей работы с ними в САД/САМ-системах. Например, для воссоздания электронного макета оснастки оператор производит замеры оснастки; данные оцифровки поступают в виде набора точек; по точкам формируются

линии сканирования или вспомогательная сетка, на основе которых строится сеточная, поверхностная или твердотельная модель оснастки. Специальные средства увязки позволяют объединить модели, сосканированные с разных сторон изделия, в одну модель.

Сосканированные данные передаются на обработку в САМ-систему, которая позволяет подготовить управляющую программу для оборудования с числовым программным управлением, а далее — осуществить обработку на станках с ЧПУ, обрабатывающем центре. Использование геометрии с единого математического источника гарантирует увязку оснастки с высокой точностью, которая определяется только точностью оборудования, применяемого для геометрических элементов оснастки.

Большое распространение получили объемные сканеры, которые позволяют по реальным объемным моделям создавать их трехмерные аналоги в формате стереолитографии (распыл точек в формате STL).

Современное программное обеспечение позволяет не только обрабатывать 3D-модель, но и сравнивать её с базовой моделью, созданной конструктором при помощи CAD, решая, таким образом, проблему контроля качества на производстве.

Современные сканеры позволяют полностью оцифровать крупные геометрические объекты (летательный аппарат, двигатель и т.д.) в достаточно сжатые сроки с высокой точностью (5–10 мкм).

На рис. 13 приводится система оптической оцифровки, измерения и сравнения с данными CAD-деталей (на примере фитингов стыка центроплана и ОЧК — наиболее нагруженных и ответственных частей планера самолета), производимых в НИАТе под руководством член-корр. РАН Сироткина О.С.

Задачи, стоящие перед современным авиационным производством, предусматривают оцифровку, измерение и контроль качества изделий различной конфигурации.

Использование координатно-измерительных машин в авиастроении является неотъемлемой частью производственных процессов (позволяющей отказаться от номенклатуры шаблонов, эталонов для контроля обводообразующей оснастки, деталей, агрегатов и т.д., насчитывающей не одну сотню тысяч единиц), составляющей неприменную составляющую часть технологии авиастроения XXI века.

Так, КИМ ТСХ-8000 фирмы POLI (Италия) — рис. 14 — предназначена для контроля сложной геометрической поверхности путем сравнения ее с математической моделью этой поверхности.

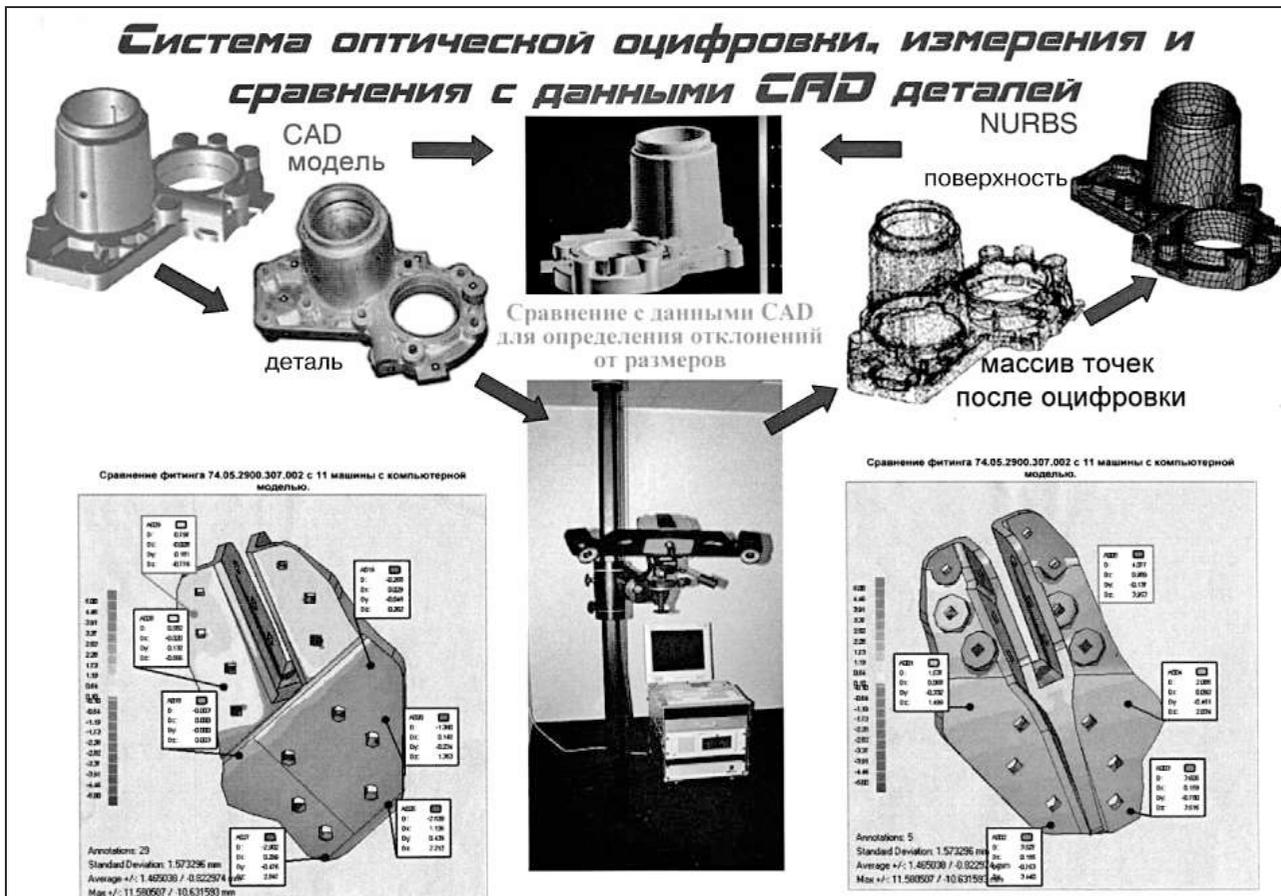


Рис. 13. Система оптической оцифровки, измерения и сравнения с данными CAD-деталей (по материалам исследований НИАТ — директор д.т.н., профессор, член-корр. РАН Сироткин О.С.)



Рис. 14. Координатно-измерительный комплекс на базе КИМ ТСХ-8000 фирмы POLI (Италия)

Сканирование сечений сложной поверхности позволяет создать ее математическую модель с целью изготовления на ее основе управляющих программ для обработки поверхности на станках с ЧПУ.

В комплект КИМ ТСХ-8000 включена система DUCT, позволяющая выполнять такие процедуры. В комплекте машины содержится локальная вычислительная сеть с выделенным сервером, пятью рабочими местами.

Универсальность КИМ достигается развитым программно-математическим обеспечением с большим набором модульных программ для измерения деталей, узлов, агрегатов с различными сложными поверхностями.

Современные КИМ обладают функцией реверсивного инжиниринга: данные с КИМ преобразовываются в компьютерные модели для дальнейшей работы с ними в САД/САМ-системах.

Уникальными возможностями обладает портальная трехкоординатная измерительная система MORA (Германия), установленная на КнААПО им. Ю.А. Гагарина.

КИМ MORA специально разработана для измерения крупногабаритных деталей, узлов, агрегатов.

Области применения:

- измерение;
- оцифровка.

КИМ MORA отличается:

– большим пакетом программного обеспечения с широким выбором опций и дополнительных возможностей:

– сферой для измерения нестандартных поверхностей, оцифровки поверхностей;

– специальной программой для измерения труб и т.д.;

– удобной системой управления (до шести осей);

– исполнением, рассчитанным на работу в цехах.

**Вопросами расширения функциональных возможностей портальных трехкоординатных измерительных систем MORA различных исполнений с диапазоном измерения до 8400 мм и точностью 0,1 мкм на других координатно-измерительных машинах «КнААПО имени Ю.А. Гагарина» занима-**

ются инженерные службы. Возглавляет работы Генеральный директор, к.т.н. Пекарш А.И., рассматривая их как внедрение важнейших технологий XXI века.

### Принцип действия КИМ

Общий принцип действия координатно-измерительных машин состоит в том, что объект измерения сканируется по точкам щупом со сферическим наконечником на конце. Во время каждого контакта смещение по осям X, Y, Z считывается по шкале. Координаты точек, определенных измерительным наконечником, передаются в компьютер для анализа.

Механическое сканирование позволяет весьма точно измерять сложные объекты. САПР позволяет произвести зеркальное пространственное отражение относительно любой плоскости, сформировать офсетную поверхность с заданным припуском, произвести масштабирование и градирование, т.е. подгонку по типоразмерному ряду, рассечь на сегменты, добавить конструктивные и технологические элементы. Подготовленные таким образом рельефы можно использовать при контроле размеров и проектировании технологической оснастки, штампов и т.д.

Трехкоординатная тактильная измерительная головка также позволяет сканировать трехмерные объекты с помощью механического щупа. В отличие от однокоординатной, эта головка позволяет считать координаты также и по осям X, Y, что гарантирует более высокую точность. Главным достоинством такой тактильной головки является возможность измерения высоких вертикальных поверхностей.

Преимущество портальных КИМ очевидно при измерении крупногабаритных деталей в стационарных условиях.

Если в качестве номинала используется электронная САД-модель детали, то оператор КИМ может создавать измерительную программу непосредственно на компьютере, выбирая на САД-модели элементы, подлежащие контролю. Программное обеспечение на основании этих данных позволяет автоматически распределить точки измерения на поверхности выбранного элемента, определить номинальные координаты этих точек и направляющие векторы подвода инструмента к точкам. В этом случае возможно не только точное измерение координат точек поверхности, но и контроль сложных поверхностей при отсутствии измерительных баз на детали (базирование может быть осуществлено непосредственно по измеряемой поверхности).

Соединив КИМ с персональным компьютером через последовательный порт, оператор получает возможность измерять сложные пространственные детали и сравнивать полученные данные с объемной компьютерной моделью. Программа имеет

ясный и простой интерфейс, легкий в понимании и использовании.

Использование КИМ позволяет КнААПО сократить время контроля не только деталей и агрегатов, но и приспособлений, шаблонов для контроля обводообразующей оснастки на 50–80%, а также сократить время на подготовительные операции. Для проведения измерений не требуется специальная оснастка, имеется возможность коррекции технологического процесса для повышения качества изготавливаемой оснастки.

Ниже приводятся примеры применения КИМ Zeiss (Германия) для контроля особо ответственных деталей семейства ГТД ПС-90 разработки и производства Пермского моторостроительного комплекса (рис. 15).



Рис. 15. КИМ Zeiss в производстве ГТД Пермского моторостроительного комплекса

Внедрение координатно-измерительной машины Zeiss Accura 7 (рис. 16) позволило обеспечить объективность контроля корпусных и других сложнопрофильных деталей. Кроме этого отпала необходимость в проектировании и изготовлении большого количества контрольной измерительной технологической оснастки на МПО имени И. Румянцева.

#### **АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства**

Одной из наиболее актуальных проблем модернизации наукоемкого производства, на примере авиастроения, является задача внедрения современных информационных технологий, их последовательная интеграция на определенном этапе в производственный цикл, а в дальнейшем распространение на весь жизненный цикл производимой конкурентоспособной авиационной техники.

На рис. 17 показаны целевые и собственные функции АСТПП.

Применение компьютерных технологий проектирования, технологической подготовки производства позволяет обеспечить:

- интенсификацию проектных работ, сокращение срока проектирования изделий;
- проведение одновременного проектирования различных процессов технологической подготовки производства;
- сокращение сроков и объема доводок;
- сокращение сроков проектирования и доводки оснастки;
- минимизацию подгонки при сборке;
- сокращение сроков создания программ для станков с ЧПУ;
- систематизацию управления базами данных (конструкция, технология) и т.д.

Исходя из передовой практики в этой области, например, практики, имевшей место на ММП имени В.В. Чернышева (в период, когда его возглавлял Генеральный директор, доктор техн. наук, профессор Новиков А.С. с 2001 по 2011 гг.), можно определить ряд основополагающих моментов внедрения современных технологий проектирования, технологической подготовки производства:

- непрерывная информационная поддержка жизненного цикла (CALS – Continuous Acquisition and Life cycle Support);
- параллельный инжиниринг (concurrent engineering);
- последовательная ориентация на самые передовые технологии и т.д.



Рис. 16. Координатно-измерительная машина Zeiss Accura 7 (МПО им. И. Румянцева)

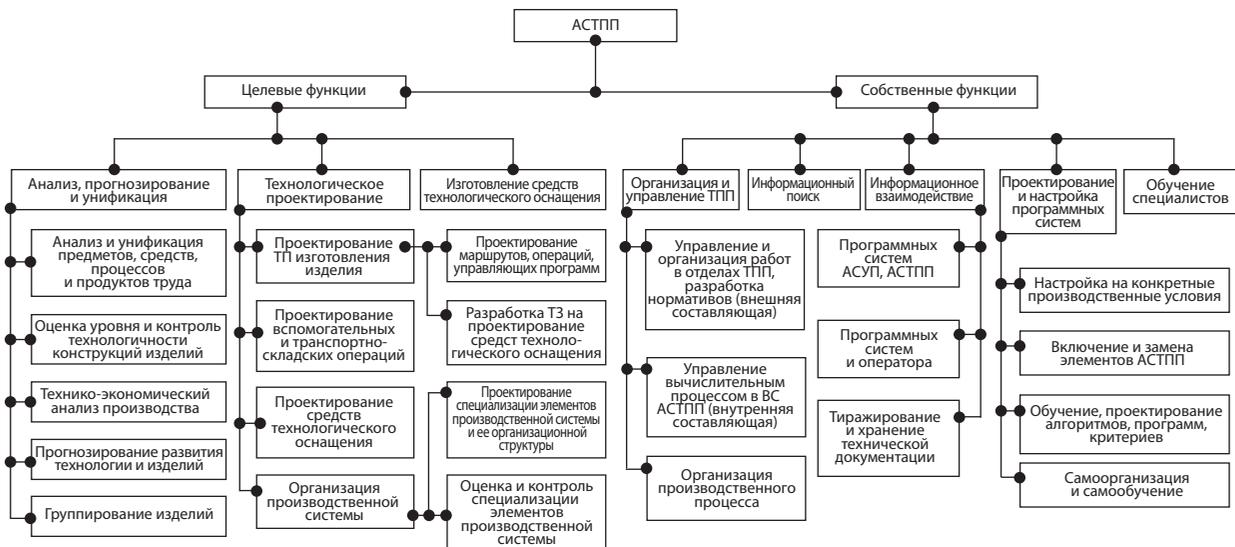


Рис. 17. Состав функций автоматизированной системы технологической подготовки производства

### Технологии быстрого прототипирования

В XXI веке развитие вычислительной техники, способной оперировать трехмерными образцами в сочетании с концентрированными мощными точечными источниками энергии (в том числе и лазерными), позволило создать целое направление технологий быстрого прототипирования (Rapid Prototyping – RP).

Технологии быстрого прототипирования стремительно вошли в наукоемкое машиностроение и в первую очередь, в самолетостроение, двигателестроение. Одна из первых экспериментальных установок стереолитографии появилась в конце 1990-х годов в компании Pratt and Whitney (США). Такое бурное развитие RP-технологий обусловлено сокращением сроков создания конструкций, их отработки (оптимальность конструкторско-технологических решений, модельная проверка работоспособности в сочетании с деталями проектируемых механизмов и т.д.).

RP-технологии – емкое понятие, включающее в себя большое многообразие средств получения прототипа изделия по 3D CAD-модели и относится к основополагающим интегрированным информационным технологиям.

Существуют различные RP-системы, обеспечивающие изготовление и деталей, и моделей. Все системы быстрого прототипирования имеют один принцип поступления реальной модели – это принцип послойного ее формирования. Различаются эти системы материалами, из которых формируется изделие, особенностями соединения слоев между собой, временем и точностью изготовления и т.д.

К технологиям быстрого прототипирования относятся:

- стереолитография (STL – Stereolithography);

- отверждение на твердом основании (SGC – Solid Ground Curing);
- нанесение термопластов (FDM – Fused Deposition Modeling);
- распыление термопластов (BPM – Ballistic Particle Manufacturing);
- лазерное спекание порошков (SLS – Selective Laser Sintering);
- моделирование при помощи склейки (LOM – Laminated Object Modeling).

Все эти технологии предполагают наличие трехмерной компьютерной модели деталей. RP – технологии минимизируют риски конструкторских и технологических решений.

SLA-процесс (лазерная стереолитография) – наиболее распространенная технология быстрого прототипирования в Российском авиапроме. Первые установки были установлены в ОКБ Сухого (SLA-5000), ФГУП ММПП «Салют» (SLA-7000).

Технологический процесс создания модели, детали, элемента оснастки представлен на рис. 18–20.

Основная единица в комплексе оборудования – установка стереолитографии SLA фирмы 3D Systems. Ниже приводятся иллюстрации: установка SLA-5000, твердотельная модель, модель для выжигания, отлитое в металле изделие.

Качество поверхности изделия, полученного методом стереолитографии, аналогично качеству изделия, получаемого механической обработкой, а геометрия изделия не требует никакой ручной доработки.

Принцип «выращивания» модели заключается в послойной полимеризации фотополимера с помощью лазера, работающего в области УФ-излучения с мощностью 10–200 мВт. Процесс позволяет добиться линейной точности  $\pm 100$  мкм при толщине слоя

50 мкм с последовательным «свариванием» слоев между собой.

Полимеризация проходит только в тех местах слоя, которые попали в данное сечение. Время на полимеризацию одного слоя колеблется от 15 до 40 с.

В технологический комплекс STL-технологии входит комплект оборудования, позволяющий пройти путь от трехмерной математической модели до получения детали или элемента оснастки.

В установках SLA используются новейшие достижения в области стереолитографии.

На рис. 18 показана установка серии SLA-5000 АК «Сухой». На рис. 19, 20 — примеры решаемых задач с применением SLA-5000 АК «Сухой».



Рис. 18. Установка лазерной стереолитографии (серия SLA-5000)

Программное обеспечение рабочей станции 3D Lightyear фирмы 3D Systems используется в установках SLA и предлагает функции полной подготовки детали в графическом интерфейсе. Универсальное программное обеспечение 3D Lightyear обеспечивает обработку созданных с помощью CAD STL-файлов, необходимых для автоматического изготовления деталей на SLA-установках.

Комплекс SLA-7000 внедрен на ФГУП ММП «Салют» под научным руководством д.т.н., профессора Елисеева Ю.С.

Важным направлением в технологическом процессе для быстрого освоения литья деталей различной сложности является возможность получения восковых или выжигаемых моделей без необходимости проектирования и изготовления металлических пресс-форм. Для достижения этих целей приобретено специальное оборудование: установка ThermoJet для формирования восковых моделей будущей отливки и стереолитографическая установка серии SLA-7000, позволяющая изготавливать сложные крупногабаритные модели (до 700 мм). Благодаря высокой точности и скорости построе-

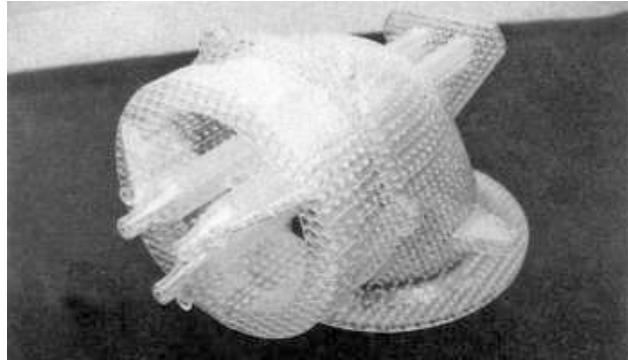


Рис. 19. Выжигаемая модель основания струйного насоса маневренного самолета SLA-5000

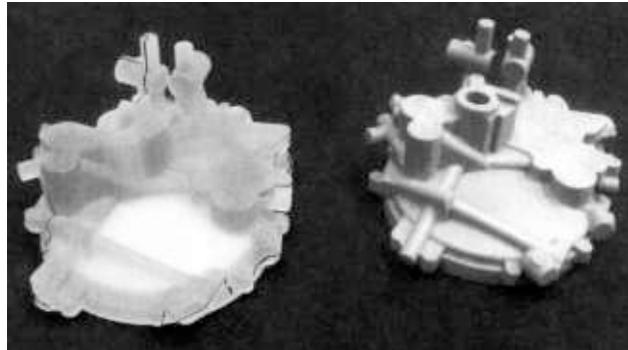


Рис. 20. Твердотельная модель и восковая модель крышки SLA-5000

ния деталей они применяются при разработке новых изделий и используются для быстрого изготовления оснастки, сокращения сроков и затрат на подготовку серийного производства.

Принципиальным для пуска в эксплуатацию вышеуказанных установок ThermoJet и стереолитографической установки SLA-7000 явилась необходимость разработки электронных математических моделей в системах 3D-моделирования на детали, подлежащие литью.

На заводе благодаря внедрению установки ThermoJet на участке где формировались восковые модели, удалось без потери времени и средств на изготовление металлических пресс-форм обеспечить литьем производство сопла с управляемым вектором тяги в намеченные жесткие сроки.

Участок быстрого изготовления оснастки и моделей (БИОиМ) является основой опытного производства в CALS-технологиях.

Данный участок организован для получения модели или оснастки по электронным моделям.

Участок имеет в своем составе лабораторию стереолитографии, лабораторию пресс-форм и измерительную лабораторию, которые решают следующие задачи.

#### Лаборатория стереолитографии:

- разработка 3D-моделей оснастки;
- разработка 3D-моделей деталей по чертежам;

– изготовление моделей на установках послойного синтеза ThermoJet и стереолитографии SLA-7000.

В 2001 году на предприятии «ММПП Салют» была закуплена установка прототипирования ThermoJet и SLA-7000. За период эксплуатации этих установок были изготовлены несколько тысяч деталей для опытных силовых машин, что позволило сократить срок изготовления первых работающих двигателей в 3 раза, не загружая основное производство по изготовлению оснастки.

На основе анализа RP-технологий с применением комплексов SLA-5000 в Авиацонной Компании «Сухой» (во времена Генерального директора компании академика РАН Погосьяна М.А.), а также SLA-7000 в ФГУП ММПП «Салют» (во времена Генерального директора ФГУП д.т.н., профессора Елисеева Ю.С.) и других примеров представляется возможность определить место RP-технологий на этапах жизненного цикла электронного проекта изделий авиационной техники (рис. 21).

#### Создание интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ)

В 1970 г. для разработки и производства широкофюзеляжных пассажирских самолетов А-300 был образован западноевропейский самолетостроительный консорциум Эрбас Индастри (Airbus Industry) фирмами Аэроспасьель, Мессершмитт-

Бельков-Блом, Бритиш Эркафт Корпорейшен, КАСА, АэрИталия.

Одно из первых специализированных производств Airbus Industry было создано по разработке и производству из полимерных композиционных материалов интегральной конструкции килей — аэродинамической поверхности летательного аппарата, являющейся основной частью вертикального оперения ЛА.

За 40 лет были поставлены на серийное производство на основе самолета А-300 его усовершенствованный вариант А-310; А-300-600, в котором используются элементы конструкций А-300 и А-310; узкофюзеляжный А-320; широкофюзеляжный А-340 с четырьмя ТРДД.

В 2011 г. на МАКСе в Жуковском был продемонстрирован самолет А-380 на 500–800 пассажиров. В конструкциях аэробусов идет постоянное увеличение объемов и веса полимерных композиционных материалов (ПКМ). В конструкции А-380 они составляют более 30%.

Компания Boeing на МАКСе 2011 г. продемонстрировала лайнер В-787 (Dream Liner — Лайнер мечты, в конструкции которого ПКМ составляют 50% (рис. 22). При этом организованы специализированные производства комплектующих из ПКМ, включенные в единые интегрированные информационные пространства с основными потребителями их продукции, что позволяет в полной мере



Рис. 21. Место RP-технологий на этапах жизненного цикла электронного проекта самолета



Рис. 22. Лайнер B787 (Dream Liner)

использовать все преимущества, которые предоставляет CALS.

Безусловно, все вышеуказанные лидеры авиационного строительства работают с применением принципов CALS.

В 80-е годы МАП СССР реализовал проект серийного производства широкофюзеляжного магистрального самого грузоподъемного в мире самолета Ан-124 на Ульяновском авиационном промышленном комплексе (УАПК) (рис. 23–24).

**Генеральный конструктор самолета Ан-124 — выдающийся ученый, конструктор, академик АН СССР О. К. Антонов, реализация разработок которого опередила мировое развитие гражданской и транспортной авиации на десятилетия.**

Отмечалось, что в конструкции самолета Ан-124 ПКМ применены в объемах, значительно превышающие известные в мировой практике (5500 кг).

Применение ПКМ в таком объеме способствовало созданию конструкции с заранее заданными

характеристиками, что дало возможность значительно повысить весовую эффективность.

Это обеспечило:

- снижение массы конструкций на 25–30%;
- резкое сокращение количества деталей и нормалей;
- повышение эксплуатационной надежности, живучести, коррозионной стойкости, аэродинамического качества.

МАП СССР на УАПК на 40000 кв. м производственных площадей создал действующие и по настоящее время основные технологические процессы:

- изготовление препрегов, связующих, клеев, герметиков;
- изготовление конструкций из стеклопластиков, органопластиков, углепластиков (трубчатых, с ячеистым сотовым пенопластовым наполнителем, в т.ч. и на пленочных клеях, с совмещением формования и склейки, монолитных конструкций);
- изготовление клееных конструкций с сотовым наполнителем (стеклосоты, соты из фольги, полимерной бумаги), обшивками из Al сплавов и КМ;
- напыление и изготовление деталей из пенополиуретана;
- изготовление металлического сотового наполнителя;
- вакуумное, вакуум-автоклавное формование;
- изготовление деталей методом прессования;
- изготовление гибких шлангов методом намотки;

В конструкции самолета Ан-124 композиционные материалы применены в объеме, значительно превышающем известные в мировой практике

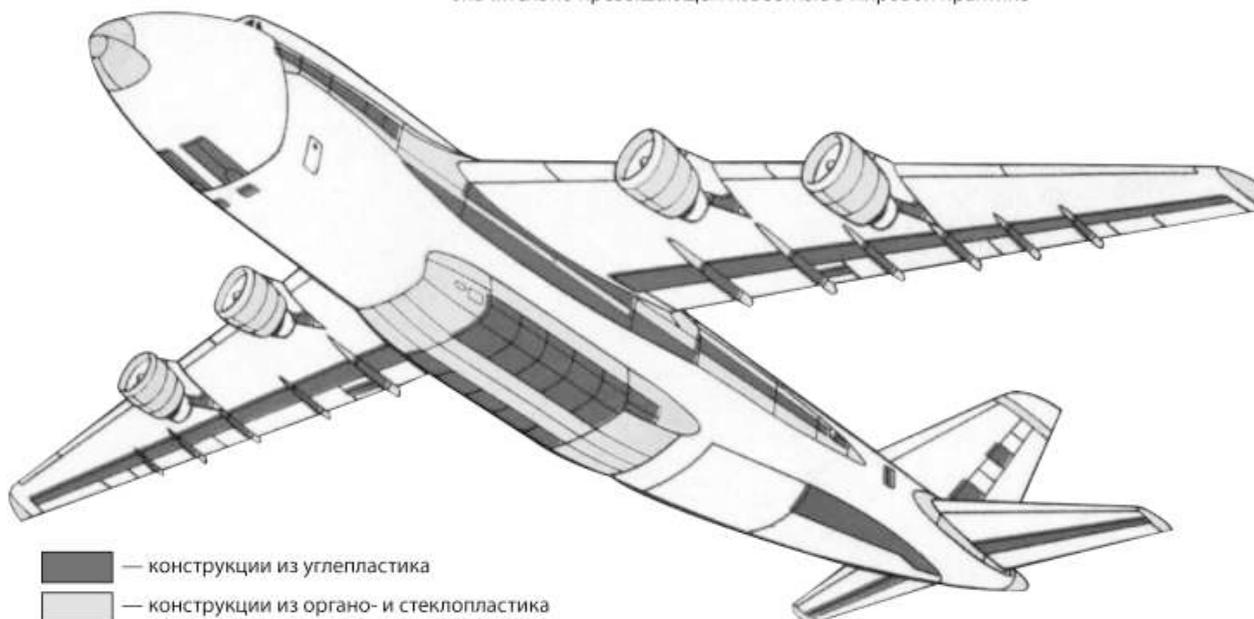


Рис. 23. Материаловедческий облик самолета Ан-124 самый грузоподъемный в мире самолет



Рис. 24. Самолет Ан-124

– изготовление изделий методом склейки клеями, герметиками и т.д.

Производство оснащено десятками видов оборудования, в том числе уникальных, в число которых входят:

- автоклав фирмы «Шольц»: диаметр 3,0 м, длина 16 м, габариты рабочего стола 2,6 x 16 м;
- автоклав фирмы «Шольц»: диаметр 3,0 м, длина 8 м, габариты рабочего стола 2,6 x 8 м;
- автоклав фирмы «Шольц»: диаметр 4,5 м, длина 26 м, габариты рабочего стола 2,7 x 25 м и т.д. (рис. 25, 26).

Используются такие уникальные производственные мощности УАПК (ныне АО «Авиастар») незначительно (Ан-124 снят с производства; семейство самолетов Ту-204 с их небольшими заказами; остаются военно-транспортные Ил-476).

Целесообразно при рассмотрении проектов строительства нового завода по производству конструкций из ПКМ «в поле» у городов Ульяновска или Казани, о чем сообщалось на МАКСе 2011 г., проанализировать более эффективное использование уникальных мощностей в области ПКМ не только «Авиастара», но и Воронежского авиационного самолетостроительного объединения (ВАСО), на котором после прекращения производства дальнемагистрального Ил 96-300 мощности ПКМ будут простаивать.

В XXI веке в авиационной технике сокращается удельный вес металлических изделий и растет объем конструкций из ПКМ. Это происходит за счет пре-

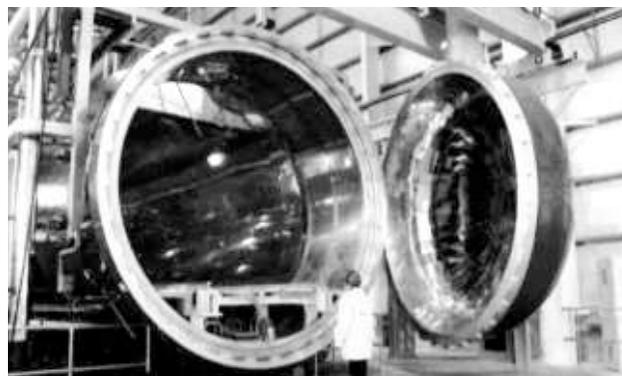


Рис. 25. Автоклав для производства интегрированных конструкций из ПКМ аэробуса А-380



Рис. 26. Автоклав для производства интегральных конструкций из ПКМ широкофюзеляжного транспортного самолета Ан-124

имущества ПКМ по весовой отдаче конструкций и усталостной прочности; по созданию конструкций с заданными заранее характеристиками; по высоким показателям сопротивления усталости, стойкости к вибро- и акустическим нагрузкам; по возможности управления в широких пределах анизотропных свойств; по повышению коррозионной стойкости; эксплуатационной надежности; совместимости ПКМ с другими материалами и другими служебными характеристиками.

По моей оценке, главное реальное достижение в области ПКМ российского авиапрома – прототип кессона крыла перспективного гражданского ближне-среднемагистрального самолета (демонстрировался на МАКС 2011 г.), созданного не российскими специалистами.

Результаты проведенного в Украинском НИИАТе сравнительного анализа технических характеристик и параметров российских (ОАО «Нормаль», г. Нижний Новгород) и зарубежных систем дают основание считать, что крепеж по ОСТ 1. 00750-76 в достаточной степени соответствует требованиям, сформированным эволюцией развития и опытом эксплуатации крепежных систем данного типа (рис. 27).

Для обеспечения России роли авиационной державы от прототипов конструкций когда-то придется переходить к реальным конструкциям, а в мировом авиастроении уже многие годы применяют при создании конструкций из ПКМ крепежные системы с тарированным усилием сжатия пакета.

Целесообразно ОАК возглавить эту стратегически важную работу по созданию особоответственных конструкций из ПКМ; дальнейшему повыше-



Рис. 27. Крепежные системы ОАО «Нормаль»

нию качества, надежности, ресурса конкурентоспособной авиационной техники, заключив соответствующий договор на проведение НИОКР с НИАТом (Генеральный директор, член-корр. РАН Сироткин О.С., фундаментальные труды которого в области крепежных систем необходимо активно пропагандировать в авиационной индустрии), который может объединить и «Нормаль», и Украинский НИИАТ, и ОКБ самолетостроения.

На рис. 28 представлена структура технологии изготовления изделий из ПКМ. Реальный потенциал композитов до конца не реализован, т.к. конструкторы при создании сложных композитных конструкций сталкиваются с критическими рисками при проектировании и производстве, такими как, например, ошибки моделирования, высокая стоимость производства, увеличение производственного цикла.



Рис. 28. Структура технологии изготовления изделий из ПКМ



В этой связи создание единой проектно-производственной среды «CALS-композит», как составной части общей проектно-производственной среды, является весьма актуальным.

**Интегрированная логистическая поддержка процессов жизненного цикла авиационной техники, интерактивное электронное техническое руководство, управление качеством**

В определении конкурентоспособности авиационной техники вопросы интегрированной логистической поддержки (ИЛП) процессов её жизненного цикла (ЖЦ) приобретают всё более весомое значение.

Наряду с вопросами качества, надежности, ресурса, ИЛП становится и уже стала важнейшей составляющей в конкурентной борьбе современной авиационной техники — и военной, и гражданской.

Усиление жесткой конкурентной борьбы во многом определяется тем, что возможности авиационной индустрии США, Объединенной Европы, России, Китая, Канады, Бразилии во многом превосходят возможности авиационных компаний гражданской авиации и ВВС стран, приобретающих военную авиационную технику.

Процессы и процедуры ИЛП изделий на всех этапах ЖЦ реализуются на основе нормативных документов, которые фактически приобрели статус международных (стандарты МО США MIL — STDD — 1388, спецификации Европейской Ассоциации Аэрокосмической промышленности АЕСМА SPEC 1000D, АЕСМА SPEC 2000M и др.). ИЛП, построенная на такой международной базе, позволяет гарантировать, что все требования по обеспечению процессов ЖЦ изделий выполняются на основе принятия эффективных решений.

Основные составляющие ИЛП:

- анализ логистической поддержки;
- планирование и управление процессами технического обслуживания и ремонта;
- планирование и управление процессами материально-технического обеспечения;
- обеспечение персонала электронной эксплуатационной и ремонтно-технической документацией — техническими руководствами.

В условиях избыточных мощностей в мировой авиационной индустрии одним из условий конкурентоспособности как военной, так и гражданской авиационной техники в условиях реализации ИЛП ЖЦ авиатехники является своевременная поставка запасных частей для обеспечения эксплуатации и ремонта техники. В России даже «Рособоронэкспорт» (меняющиеся названия организации не меняют основ монополизма государства по продаже военной техники) не слишком эффективно работает в этом направлении своей многогранной деятельно-

сти; поэтому отдельные предприятия, поставляющие ключевые комплектующие изделия, предлагают для более оперативной работы по выполнению срочных поставок предоставить им право самостоятельной внешнеэкономической деятельности.

Это способствовало бы повышению конкурентоспособности российской военной авиационной техники в условиях избыточных мощностей в мире в производстве как военной, так и гражданской авиации.

**В гражданской авиатехнике, безусловно, конкурентоспособно семейство самолетов SSI-100, созданного под руководством академика РАН Погосяна М.А. при условии решения таких вопросов, как техническое обслуживание на уровне Компании Boeing и обеспечение заданного ресурса (60000 часов).**

О конкурентоспособности семейства среднемагистральных МС-21 (по моей оценке, — это «Российский Dream Liner») можно предметно рассуждать лишь после появления в цехе общей сборки авиастроительного завода первого самолета.

О конкурентоспособности семейства серийных самолетов среднемагистральных Ту-204 и дальнемагистральных Ил-96, созданных и производимых при поддержке Госбюджета, было бы целесообразно ознакомить читателей журнала — налогоплательщиков России — с оценкой Президента ОАК академика РАН Погосяна М.А. или соответствующего Вице-президента ОАК.

**По моей оценке и оценкам других специалистов в России может быть создан конкурентоспособный авиапром только в рамках полномасштабного Министерства авиационной промышленности вместо автономных ОАК, ОДК и других госструктур.**

Одним из важнейших факторов, во многом определяющих конкурентоспособность авиационной техники военной, военно-транспортной и гражданской авиации, является эффективно организованная работа послепродажного обслуживания техники, включая не только период гарантийных обязательств, но и послегарантийный период.

Это одна из сложнейших проблем даже для российской военной авиационной техники в условиях годами действующей, отлаженной системы взаимодействия «Рособоронэкспорта» с многочисленными предприятиями авиационной индустрии, радиоэлектронного комплекса, корпорации тактического ракетного оружия и т.д.

Эти проблемы еще предстоит решать Объединенной Авиастроительной Корпорации, Авиационной Компании «Сухой», Научно-Производственной Корпорации «Иркут», чтобы реализовать их амбициозные планы прорыва на международный рынок реальных самолетов семейства SSJ-100 и сегодня виртуальных самолетов семейства МС-21 не в форме предварительных соглашений с авиационными

компаниями по всему миру, а обеспечить высокоэффективную эксплуатацию техники и в период действия гарантийных обязательств, и в послегарантийный период, исчисляемый десятилетиями.

Российским авиастроителям военной и гражданской авиации никогда нельзя забывать беспрецедентное печальное событие в истории советской и российской авиационной промышленности, когда большая партия фронтовых истребителей семейства МИГ-29 несколько лет тому назад была возвращена заводу-поставщику (ОАО НАЗ «Сокол»).

Для поставщиков гражданской авиационной техники, прежде всего, надо в полном объеме выполнять требования ОСТ 1 02786-2009 «Авиационный стандарт. Типовые условия поставки и послепродажного обеспечения эксплуатации авиационной техники гражданского назначения. Общие требования».

Основа разработки, производства, эксплуатации конкурентоспособной авиационной техники — исполнение требований информационной поддержки на всех этапах жизненного цикла изделий, требований концепции CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support).

Неотъемлемая часть концепции CALS — интегрированная логистическая поддержка ILS (Integrated

Logistic Support) — объединение научно-технических, управленческих решений, информационных технологий для обеспечения не только качества, надежности, ресурса, ремонтпригодности, эксплуатационной технологичности и других служебных характеристик летательных аппаратов, но и обеспечения экономической эффективности ЖЦИ авиационной техники (ГОСТ Р53394-2009 «Интегрированная логистическая поддержка. Термины и определения»).

С позиций научных основ ИЛП, образцово-показательной для российской авиационной индустрии является структура ИЛП, разработанная в Авиационной Компании «Сухой» и реализованная на лучших в мире в своем классе самолетов семейства Су-27 (рис. 29).

Интегрированная логистическая поддержка — как средство управления стоимостью жизненного цикла самолета на уровне разработчика — включает в себя:

– процессы анализа логистической поддержки; формирование базы данных анализа логистической поддержки; мониторинга логистических данных на этапе эксплуатации при проведении авторского надзора за эксплуатацией самолетов разработки

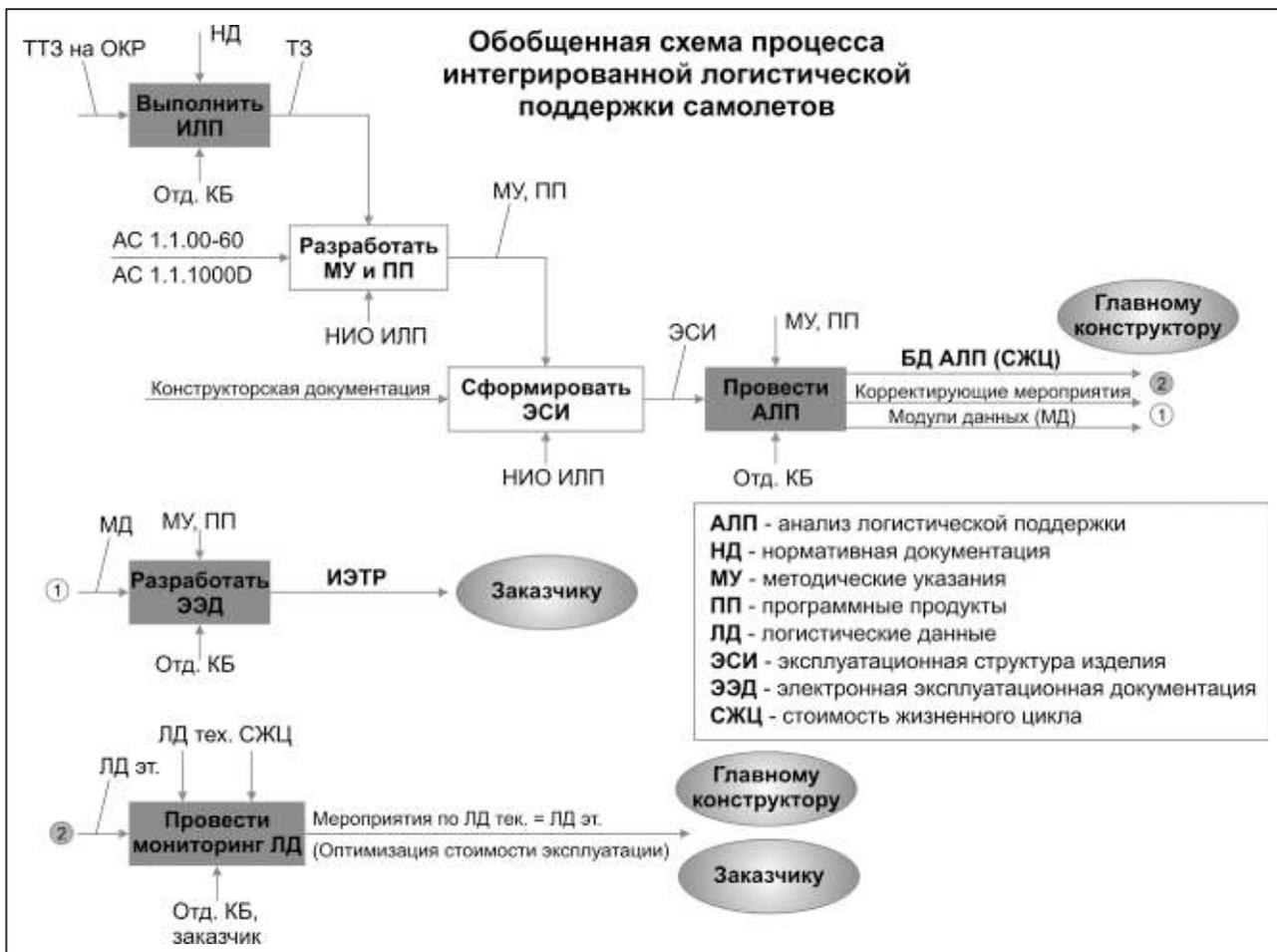


Рис. 29.

«ОКБ Сухого», которые производятся на авиационных заводах Комсомольска-на-Амуре, Новосибирска, Иркутска со времен МАП СССР; разработки электронной эксплуатационной документации;

– мониторинг логистических данных при эксплуатации самолетов военной и гражданской авиационной техники;

– разработку мероприятий для эксплуатирующих организаций по проблемным вопросам эксплуатации;

– формирование системы обучения специалистов эксплуатирующих организаций с определением требуемого уровня их подготовки и технических средств обучения.

ИЛП (рис. 30) предполагает разработку эксплуатационной документации в электронном виде. При этом основным видом электронной документации является интерактивное электронное техническое руководство – ИЭТР (Interactive Electronic Technical Manual – IETM) – рис. 31, разработка



Рис. 30. Элементы (функции) системы интегрированной логистической поддержки



Рис. 31. Функциональные особенности интерактивных электронных технических руководств

которого с использованием программных продуктов позволит получить ИЭТР не ниже 3 класса на основе общей исходной базы данных. Основным нормативным документом, определяющим структуру и формат эксплуатационной документации в электронном виде, является авиационный справочник AC 1.1. S 1000 DR, являющийся аналогом международной спецификации ASD1000D и полученный путем аутентичного перевода указанной спецификации.

В соответствии с технологической схемой «ОКБ Сухого» отработаны организационные и методические процессы по созданию эксплуатационной электронной документации, определена возможность разработки ИЭТР более высокого класса (4 класс), предусматривающая прямое интерфейсное взаимодействие ИЭТР с электронными модулями диагностики самолета и его систем.

Для обеспечения интегрированности информации используется интерактивный набор взаимосвязанных технических данных, снабженный программой просмотра и заменяющий традиционные бумажные руководства — ИЭТР. Таким образом, ИЭТР является информационным компонентом и эффективным инструментом ИЛП, который определяется следующими свойствами:

- подготавливается в автоматизированной системе разработки;
- включает в себя всю информацию, относящуюся к области применения ИЭТР;
- создается для отображения на электронном дисплее (экране);
- элементы в ИЭТР так логически связаны, что пользователь может получить доступ к нужной ему информации;
- позволяет в интерактивном режиме предоставлять справочную информацию о проведении эксплуатационных и ремонтных процедур;
- помимо текста и графиков, руководство может содержать аудио- и видеоданные, а также предоставлять доступ к внешним источникам информации через компьютерные сети.

**Российским авиастроителям, создателям другой наукоемкой техники, полезно сотрудничать по вопросам ИЭТР с Укр. НИИАТ (Киев, Украина, директор института, д.т.н., профессор Кривов Г.А.), где функционирует методический центр по вопросам ИЭТР. Укр. НИИАТ тесно сотрудничает с такими европейскими структурами, как EADS и др.**

Безусловно, ИЛП наукоемкой авиационной техники (см. рис. 30) базируется на высокоэффективном информационном обеспечении ее ЖЦ, концепции и принципах CALS. Согласно концепции CALS, все процессы ЖЦ находят отображение в интегрированной информационной среде, которая формируется на основе информации, представленной в электронном формате.

Наукоемкая авиационная техника представляет собой комплекс взаимосвязанных между собой систем, подсистем, агрегатов, узлов, деталей, с каждым из которых, в свою очередь, связана определенная техническая информация (техническое описание; технология обслуживания, эксплуатации и ремонта; процедуры диагностики неисправностей). Важным преимуществом является возможность представить информацию об изделии аналогичным иерархическим образом.

Важнейшим этапом разработки ИЭТР является создание формальной спецификации структуры документа (SGML-документа) DTD (Document Type Definition), которая не имеет единых правил построения и каждый раз имеет характер авторской интерпретации структуры технического документа. SGML — подход к построению ИЭТР имеет ряд

существенных преимуществ. Прежде всего, это позволяет разделить задачи оформления документации и формирования ее содержания. Такой подход позволяет создавать документы, в которых используется информация, заимствованная из различных источников. Программно-аппаратная независимость SGML-документа обеспечивает его надежную трансляцию в различных компьютерных системах.

С другой стороны, отраслевая специфика применения ИЭТР (см. рис. 31) диктует потребность жесткого закрепления SGML-подхода, что было реализовано группой ведомственных стандартов Министерства обороны США. В настоящее время американские стандарты MIL-8-87268 (требования к содержанию ИЭТР, стилю, оформлению, организации диалога с пользователем) и MIL-D-87269 (требования к организации базы данных ИЭТР) стали базовыми для создания комплекса международных стандартов интегрированных ИЭТР. С учетом требований этих американских стандартов, для описания структур документов, соответствующих принятым отраслевым нормативно-техническим документам, для европейской авиастроительной индустрии был создан специальный стандарт — AESMA SPEC 1000 D. В настоящее время он остается международным стандартом подготовки технической документации в авиастроении, имеющим распространение не только на подготовку ИЭТР, но и любых иных технических документов, в том числе в бумажной форме.

ИЭТР имеют следующую сферу применения:

- обмен данными между потребителем и поставщиком;
- автоматизированный заказ материалов и запасных частей;
- обеспечение справочными материалами об устройствах и принципах работы;
- планирование и учет проведения регламентных работ;
- диагностика и поиск неисправностей;
- обучение персонала.

По функциональным признакам техническую документацию в форме ИЭТР различают пять классов (табл. 1).

Интегрированная логистическая поддержка всех этапов жизненного цикла авиационной техники во многом определяет качество разрабатываемой и серийно выпускаемой продукции.

В XX веке в МАП СССР отраслевой системой качества была утверждена система «КАНАРСПИ» (качество, надежность, ресурс с первых изделий), разработанная и реализованная под руководством А. И. Ярошенко и Т. Ф. Сейфи на Горьковском авиационном заводе имени С. Орджоникидзе (ГАЗИСО). МАП СССР в 1964 г. представил систему КАНАРСПИ на соискание Ленинской премии в области науки и техники. В Комитете по присужде-



Классификация ИЭТР

Номер класса	Наименование класса
1	<b>Индексированные изображения страниц в цифровом формате</b> (представляет собой электронный документ, выполненный в точном соответствии с бумажным оригиналом)
2	<b>Неструктурированные электронные документы</b> (текстовые документы в электронной форме, например, в формах MS Word или HTML, а также документы, реализованные специальными программными разработками)
3	<b>Линейно структурированные электронные документы</b> (документы размечены тегами SGML и оглавление документа содержит ссылки в соответствующие разделы технического руководства; может содержать перекрестные ссылки, таблицы, иллюстрации)
4	<b>Иерархически структурированные электронные документы</b> (технические данные в документах этого класса организованы как объекты внутри хранилища информации, имеющего иерархическую структуру)
5	<b>Интегрированные ИЭТР</b> (включают достоинства предыдущих классов с возможностью прямого интерфейсного взаимодействия с электронными модулями диагностики изделий, могут автоматически получать информацию об изделии)

нию Ленинских премий КАНАРСПИ была утверждена победителем по соответствующему направлению и была направлена по действующему регламенту для утверждения Генеральным секретарем ЦК КПСС Л.И. Брежневым, который, желая понравится во всем москвичам, потребовал заменить горьковскую работу на не менее достойную, представленную москвичами. После КАНАРСПИ была представлена работа Московского двигателестроительного завода «Салют» — «Разработка и серийное производство станков с ЧПУ», которая и получила Ленинскую премию.

В XXI веке — веке интегрированных информационных технологий — актуальность проблемы качества не исчезла ни у авиастроителей, ни в ракетно-космической отрасли. По моей оценке, **современную систему качества авиакосмического машиностроения на основе современных информационных технологий может создать только кооперация коллективов ученых ЦАГИ и ЦНИИМаш.**

Система менеджмента качества (СМК) представляет собой организационно-техническую систему, целью которой является обеспечение качества изделий, конкурентоспособной (более высокой по сравнению с мировыми аналогами в соотношении показателей качества, служебных характеристик; затрат на приобретение и эксплуатацию в течение 30–50 лет с соответствующим обслуживанием) авиационной техники.

Менеджмент качества включает в себя следующие важнейшие направления:

- анализ стратегических целей по решению проблем качества;
- выработка на основе стратегии тактических решений при создании конкретных изделий и реализации конкретных проектов в области военной,

военно-транспортной, гражданской авиационной техники;

- сбор и анализ данных о реализации требований к технике во время и в ходе ее создания, эксплуатации, технического обслуживания, ремонта не только в России, но и поставленной на экспорт, реализуемой в интегрированной информационной среде;

- передача информации руководству авиационной компании для принятия стратегических решений не только по вопросам обеспечения качества, но и надежности, ресурса, ремонтпригодности, живучести (на примере российского штурмовика Су-25 в сравнении с мировым аналогом — американским штурмовиком А-10), общей эффективности летательных аппаратов при минимизации затрат на всех этапах их жизненного цикла, включая утилизацию; с учетом цикличности, интерактивного характера: на каждом последующем этапе уточняются и развиваются результаты предыдущего этапа;

- анализ видов, последствий, критичности отказов не только конструкторами самолетов, но и специалистами авионики, силовых установок, агрегатов, приборов; прочнистами по вопросам снижения прочности конструкции летательных аппаратов за счет объективных деградиационных процессов (усталость, многочисленные виды коррозии и т.д.);

- ежеквартальные задания, требования к структурным подразделениям ОКБ (конструкторы, технологи, металлурги; специалисты в области объективных методов контроля, унификации и стандартизации и др.) по вопросам обеспечения и постоянного повышения качества изделий авиационной техники на основе применения современных интегрированных информационных технологий, современных конструкторско-технологическо-материаловедческих решений;

– многогранный анализ результатов фактической эксплуатации авиационной техники в рамках интегрированной информационной среды, объединяющей информационные процессы всех участников жизненного цикла самолетов, на основе международных стандартов, регламентирующих способы обмена информацией по анализу и принятию соответствующих решений.

### Современное технологическое оборудование

Основополагающие информационные технологии должны интегрироваться с современным программным технологическим оборудованием.

Российские предприятия авиационной индустрии (самолетостроение, двигателестроение и др.), к сожалению, в основном, не приобретают и не заказывают у российских предприятий станкостроения не только уникальное (единственное в своем роде), не только специального назначения, но даже универсальное, пригодное для многих целей, разнообразных задач; а приобретают и заказывают в Германии, Швейцарии, Японии, США, Франции, Чехии и других странах.

Привожу конкретные примеры Российской авиационной промышленности.

Так, выбор технологического оборудования для производства клепанных конструкций панелей фюзеляжа во многом определяет ресурс самолетов гражданской авиации.

Конструкции современных пассажирских, военных и военно-транспортных самолетов эксплуатируются в течение достаточно большого времени, испытывая достаточно большое число циклов нагружения различной интенсивности.

На рис. 32–34 представлены в работе уникальные клепальные комплексы, применяемые в КнААПО им. Ю. А. Гагарина при серийном производстве самолетов семейства SSJ-100.

Важнейшим условием для достижения высоко-ресурсной сборки, клепки панелей крыла и фюзеляжа было приобретение и освоение уникальных сверлильно-клепальных комплексов фирмы «Brotje».

В автоматическом режиме комплекс позволяет устанавливать 6–7 заклепок в минуту на фюзеляжных панелях и 4–5 заклепок на крыльевых панелях, что обеспечивает стабильную работу комплекса круглосуточно. Вся необходимая геометрическая информация о собираемых панелях закладывается в память комплекса из электронной модели самолета.

В производстве самолетов семейства SSJ-100 применены стенды стыковки отсеков фюзеляжа идеологии, разработанные и изготовленные фирмой «BROTJE-AUTOMATION». Стенд стыковки фюзеляжа имеет возможность автоматической перенастройки на все модификации самолетов семейства SSJ-100. В конструкции стенда применены цифровые приводы на шарико-винтовой базе.



Рис. 32. Клепальный комплекс (КнААПО)

Система перемещения осей стенда позволяет обеспечить точность позиционирования по осям  $\pm 0,1$  мм. Положение отсеков и фюзеляжа автоматически передается в стенд стыковки планера, что позволяет сократить сроки нивелировки. Для контроля положения отсеков и их управления применены лазерные трекеры фирмы «LEICA». Информация с лазерных трекеров поступает в систему управления и отображается на мониторах оператора.



Рис. 33. Клепальный комплекс (КнААПО)



Рис. 34. Клепальный комплекс (КНААПО)

На рис. 35 представлен уникальный клепальный автомат фирмы «GEMCOR» (США), широко применяемые на Ульяновском авиационном заводе «Авиастар-СП» при производстве панелей фюзеляжа самолетов Ту-204, Ан-124, Ил-476, а в перспективе – при серийном производстве МС-21.

**Автоматы «GEMCOR», которые внедрены по инициативе Генерального директора Михайлова В.В., не одно десятилетие используются при производстве семейства самолетов компании «Boeing» в Сиэтле.**

По моей оценке, функциональные возможности комплексов «Gemcor 2000» будут расширены во многом благодаря творческому руководству этих особоответственных работ современным ученым XXI века – техническим директором «Авиастар-СП» Кулаковым В.Г. Работы будут способствовать повышению качества, надежности, ресурса перспективного российского самолета МС-21.

При создании конкурентоспособной авиационной техники большой объем трудоемкости падает на механообрабатывающее производство:

- самолетостроение – более 30%



Рис. 35. Уникальный клепальный автомат «GEMCOR» (Ульяновский авиационный завод «Авиастар-СП»)

- двигателестроение – более 55%. На рис. 36 показана трудоемкость производства ГТД семейства АЛ31.

- агрегатостроение – более 50%.

Некоторые тенденции механообрабатывающего производства:

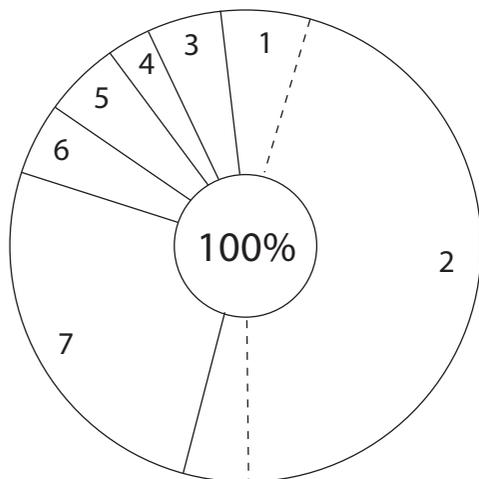
- переход от универсального металлорежущего оборудования к обрабатывающим центрам, гибким производственным модулям, в т.ч.:

- фрезерному оборудованию с магазином инструмента на 40–60 единиц, с применением инструмента с наноструктурированным покрытием для снижения интенсивности износа инструмента,

- повышения стойкости инструмента; с оборотами шпинделей станков 10000–20000 об/мин;

- токарному оборудованию с револьверными головками, возможностью выполнения фрезерных работ на токарном станке;

- станки в основном выпускаются пятикоординатными, что позволяет производить высокоскоростную фрезерную обработку деталей сложного контура;



1. Механическая обработка (58,5%)
2. Механическая обработка лопаток от трудоемкости механической обработки (57,5%)
3. Литые и штампованные заготовки (4,1%)
4. Листовая штамповка, сварочные работы (5,3%)
5. Сборка (4,8%)
6. Испытания (2,2%)
7. Гальваника, термическая обработка, нанесение покрытий и другие виды работы (25%)

Рис. 36. Структура трудоемкости изготовления двигателей семейства АЛ-31Ф



Рис. 37. Ступени вентилятора и компрессоров:  
а — ступень вентилятора типа «блиск»; б — сплиттерная ступень;  
в — центробежная ступень на  $\pi_k^* = 3,15$

– на станках программное обеспечение ЧПУ позволяет использовать графическую симуляцию обработки в процессе проверки программы и во время работы, а также редактирование, хранение, просмотр входных и выходных сигналов электроавтоматики станка;

– высокие технологические характеристики (скорость, чистота обработки) современных станков позволяют выполнять такие сложные работы, как изготовление штамповой оснастки из закаленных материалов, исключая последующие операции шлифования, слесарной доработки;

– высокая скорость и чистота обработки обеспечивается высокооборотными электрошпинделями, скорость вращения которых достигает 18000 об/мин;

– оснащение частотных электроприводов микропроцессорными системами позволяет осуществлять управление двигателями исполнительных механизмов, самодиагностику приводов, настройку, поддерживать обмен информацией между ЧПУ и приводами, автоматически вести контроль всех электрических и тепловых параметров с выводом на дисплей ЧПУ;

– устройство управления позволяет решать задачи по управлению и диагностике станка, создавать и редактировать управляющие системы в диалоговом режиме.

Так, высокоэффективные конструкторско-технологические достижения в авиационном двигателестроении решаются благодаря применению новейших 3D-методов расчета нестационарного потока.

На рис. 37 приведены ступени вентилятора и компрессоров конкурентоспособных авиационных двигателей.

Создание подобных прецизионных конструкций требует внедрения уникальных многокоординатных обрабатывающих центров с учетом реализации вышеуказанных тенденций.

На рис. 38 показан уникальный обрабатывающий центр «TURBOBLISK», внедренный по инициативе д.т.н., профессора Елисева Ю.С. и эксплуатирующийся в ФГУП ММП «Салют» с 2002 г.



Рис. 38. Обрабатывающий центр — уникальный для выполнения технологии TURBOBLISK (ФГУП ММП «Салют»)



## Литература

1. *Авиастроение/Летательные аппараты, двигатели, системы, технологии.* / Под редакцией д.т.н., профессора, заслуженного деятеля науки РФ Братухина А.Г. М.: Машиностроение, 2000, 536 с.
2. *Большая Энциклопедия Транспорта. Том 2. Авиационный Транспорт.* / Главный редактор д.т.н., профессор Братухин А.Г. М.: Машиностроение, 1995, 399 с.
3. *Авиастроение России.* / Russian Aircraft (Билинг: русский/английский) Paris, 1995, 390 с. / Главный редактор профессор Братухин А.Г.
4. *Авиастроение России.* / Histoire L aviation Russe (Билинг: русский / французский) Paris, 1995, 390 с. / Главный редактор профессор Братухин А.Г.
5. *Морская авиация России.* / Под редакцией профессора Братухина А.Г. М.: Машиностроение, 1996, 237 с.
6. *Авиационно-космические системы.* / Научный редактор д.т.н., профессор Г.Е. Лозино-Лозинский. Главный редактор д.т.н., профессор Братухин А.Г. М.: Издательство МАИ, 1997, 437 с.
7. *Билл Гейтс. «Бизнес со скоростью мысли».* Издание осуществлено при участии Московского представительства компании Microsoft. / М.: ЭКСМО-Пресс, 2001, 480 с.
8. *CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) в авиастроении.* / Научный редактор д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ Братухин А.Г. Рекомендовано УМО ВУЗов РФ по образованию в области авиации, ракетостроения и космоса в качестве учебного пособия. М.: Издательство МАИ, 2002, 670 с.
9. *Информационные технологии в наукоемком машиностроении.* / Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. Под общей редакцией Братухина А.Г. Редакционный Совет: Балабуев П.В., Богуслаев В.А., Братухин А.Г., Кривов Г.А. Киев: Техника, 2001, 437 с.
10. *Норенков И.П., Кузьмик П.К.* Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии. / М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, 320 с.
11. *Братухин А.Г.* Технологическое обеспечение высокого качества, надежности, ресурса авиационной техники (Том 1–519 с., Том 2–297 с.), 1996 – М.: Машиностроение. 1998, Китай.
12. *Отраслевая Концепция Обеспечения Качества Продукции.* Авторы: Братухин А.Г., Казаков В.Г., Лозино-Лозинский Г.Е., Селихов А.Ф., Сироткин О.С. и др. Авторы работы удостоены 2-ой Премии Всесоюзного конкурса «Разработка концепции обеспечения качества продукции в новых условиях хозяйствования», проводимого Госстандартом СССР в 1990 г. (на конкурс было представлено 600 работ, 1-ая Премия не присуждалась). М.: НИАТ, 1991, 163 с.
13. *Приоритеты Авиационных Технологий* (1335 с., Том 1–697 с., Том 2 – 638 с.). Научный редактор д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ Братухин А.Г. М.: Издательство МАИ, 2004. Посвящается 70-летию ОАО КнААПО им. Ю.А. Гагарина.
14. *Пекариш А.И., Тарасов Ю.М., Кривов Г.А.* и др. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов. Москва, 2006, 303 с.
15. *Братухин А.Г., Погосян М.А., Тарасенко Л.В.* и др. Конструкционные и функциональные материалы современной авиации. Научный редактор д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, International Expert Aerospace and CALS Братухин А.Г. Допущено в качестве учебного пособия УМО ВУЗов РФ для студентов, обучающихся по специальности «Материаловедение в машиностроении». М.: Издательство МАИ, 2007, 300 с.
16. *Российская Энциклопедия CALS.* Авиационно-космическое машиностроение. Главный редактор и один из авторов д.т.н., профессор, International Expert in Aerospace and CALS Братухин А.Г. М.: 2008, 606 с.