



УДК 621:681.5(075.8)

**Братухин А.Г.<sup>1</sup>, Дмитриев В.Г.<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Авиационный промышленный совет по CALS. РФ, Москва.<sup>2</sup> Российская академия наук. РФ, Москва**CALS – СТРАТЕГИЯ НАУКОЕМКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ****Анотація**

*На основі аналізу міжнародного досвіду, діяльності передових російських підприємств і об'єднань представлені основні принципи концепції CALS.*

**Abstract**

*On the basis of analysis of international experience and activity of the russian enterprises and associations basic principles of conception of CALS are presented.*

CALS — это аббревиатура, которая сменила несколько значений. Сегодня придерживаются мнения, что CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support) — непрерывная информационная поддержка жизненного цикла продукции.

Идея CALS родилась в 80-ые годы в оборонном комплексе США. Министерство Обороны рассчитывало используя CALS как стратегию экономического, научно-технического развития снизить время на разработки сложных систем вооружения; ограничить стоимость поддержки изделий и комплексов в эксплуатации, которая может длиться 40 и более лет, при этом затраты на эксплуатацию могут намного превосходить затраты на закупку изделий и комплексов; более эффективно осуществлять все более сложные государственные закупки и другие задачи, осуществляя обмен интегрированными информационными потоками электронным способом по всему жизненному циклу сложных наукоемких изделий промышленности. Учитывая, что такие решения, концепция специфичны не только для вооружений, CALS быстро распространился и на другие отрасли промышленности не только в США, но и во всех развитых странах мира.

В Советском Союзе в 80-ые годы концепция интегрированной компьютеризации использовалась при создании авиационно-космической системы "Энергия-Буран" (генеральный конструктор академик АН СССР В.П. Глушко).

Запущенный с помощью универсальной двухступенчатой ракеты-носителя сверхтяжелого класса "Энергия" орбитальный корабль "Буран" (Главный конструктор доктор технических наук Г.Е. Лозино-Лозинский) совершил в автоматическом режиме орбитальный полет и точную посадку на взлетно-посадочной полосе комплекса "Байконур".

Широкий диапазон рабочих температур, необходимость строгой оптимизации веса, наличие интенсивных акустических нагрузок, большие деформации теплоизолируемых поверхностей орбитального корабля, условия эксплуатации, одновременно характерные и для космических аппаратов, и для самолетов, длительная работа теплозащиты при температурах до 1100°С. в результате всестороннего комплексного анализа всех возможных типов теплозащиты — ключевого элемента крылатого орбитального корабля "Буран", показал, что основным вариантом для орбитального корабля "Буран", с учетом траектории его посадки, является керамическая теплоизоляция из супертонкого кварцевого волокна.

Каждый элемент теплозащиты (из 38 000 индивидуальных плиток "Бурана"), являющийся обводообразующей деталью планера орбитального корабля, обрабатывался на многокоординатных фрезерных бесшпиндельных станках с ЧПУ, разработанных и изготовленных станкостроительным объединением "Техника" (г. Владимир) — Главный конструктор В.И. Аксенов.

С учетом деформации несущих конструкций при воздействии аэродинамических и тепловых нагрузок был произведен компьютерный раскрой элементов теплозащиты (рис. 1). По бесчертежной технологии осуществлялась передача математических моделей всех 38 000 индивидуальных плиток для станков с ЧПУ из научно-производственного объединения "Молния" (генеральный директор Г.Е. Лозино-Лозинский) на Тушинский машиностроительный завод — ТМЗ (генеральный директор С.Г. Арутюнов). На ТМЗ с использованием локальной вычислительной сети (ЛВС) автоматически осуществлялись: расчет технологических процессов, конструирование и изготовление оснастки для базирования плиток, обработка плиток ТЗП, контрольные операции и другие процессы (САПР-К, САПР-Т, АСУТП, ЛВС).

В последующем ТМЗ организовал производство элементов ТЗП в монтажно-испытательном корпусе на Байконуре с передачей управляющих программ по каналам связи из Москвы на

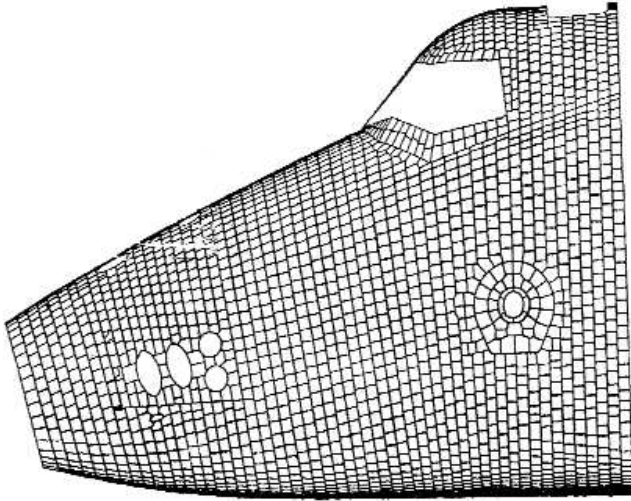


Рис. 1. Компьютерный раскрой теплозащитных плиток орбитального крылатого корабля "Буран"

Байконур, т.е. в 80-ые годы в СССР было создано виртуальное предприятие по производству крылатого космического корабля "Буран".

Принципы CALS использовались в разрабатываемом по инициативе НПО "Молния" (генеральный конструктор доктор технических наук Г.Е. Лозино-Лозинский, генеральный директор кандидат технических наук А.С. Башилов) совместно с научными центрами ЦАГИ, ЛИИ, ЦИАМ, ВИАМ, НПО "Энергомаш" и другими участниками проекта Многоцелевой Авиационно-

Космической системы (МАКС). Воздушным стартом МАКС служит широкофюзеляжный самолет Ан-225 ("Мрия"), созданный на базе самолета Ан-124 ("Руслан") — Генеральный конструктор академик АН СССР Антонов О.К. (рис. 2). Мрия создавалась в рамках проекта "Энергия-Буран".

CALS базируется на локальных системах CAD/CAM/CAE и др. при разработке, производстве, эксплуатации сложной наукоемкой техники, которая требует создания, преобразования, передачи между различными участниками жизненного цикла изделий (ЖЦИ) больших объемов технической информации.

Уже сейчас стало ясно, что локальная компьютеризация отдельных видов деятельности не оправдывает возлагаемых на нее надежд в связи с тем, что первые реализации информационных технологий представляли собой попытки внедрения качественно новых сред в традиционную технологическую среду. Эти попытки либо полностью отторгались, либо адаптировались к среде таким образом, что эффект от использования их был невелик.

В последнее время актуальность CALS возрастает в связи с постоянным повышением масштабов применения электронного бизнеса (e-business), электронной коммерции (e-commerce), когда коммерческие операции, большинство электронных транзакций между компаниями заключаются и реализуются посредством таких средств, как глобальная сеть Internet.

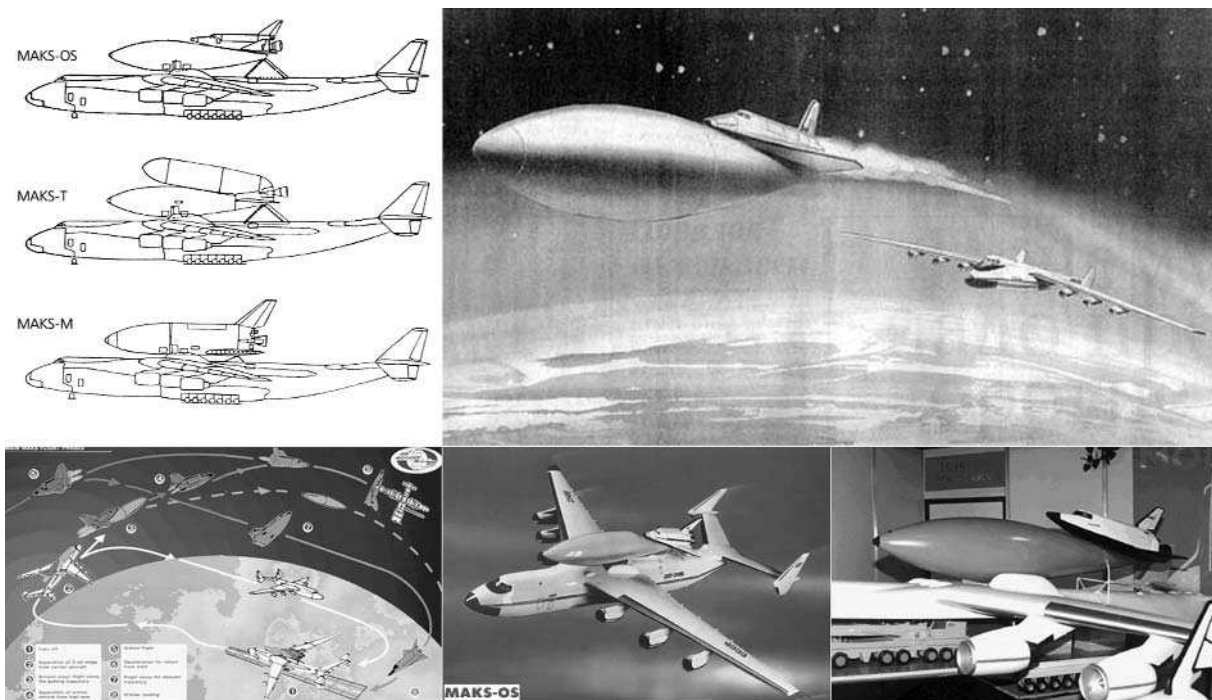


Рис. 2. Многоцелевая авиационно-космическая система МАКС

В условиях рыночной экономики, международного рынка, где чрезвычайно высока конкуренция; при наличии в мире избытка мощностей по разработке, производству изделий технически сложной промышленности CALS-ориентированная направленность предприятий, предпринимательской деятельности не имеет альтернативы как стратегии научно-технического, производственного, экономического, кадрового развития.

По инициативе Президента Российского союза Промышленников и Предпринимателей (РСПП) А.И. Вольского в 2001 году была создана Российская ассоциация разработчиков и пользователей ИПИ-технологий на принципах CALS (руководитель профессор А.Г. Братухин), которая в июле 2002 года провела Первое Всероссийское совещание по проблемам ИПИ/CALS-технологий в Федеральном научно-производственном центре ММПП "Салют". В последующем возникли Ассоциации, Советы и другие организации по CALS.

Концепция, принципы CALS с разными объемами применения реализуются в авиакосмическом комплексе, судостроении, энергомашиностроении и других наукоемких отраслях промышленности.

Основные принципы CALS на основе анализа международного опыта, деятельности передовых Российских предприятий и объединений сводятся к следующему:

1. Не локальная, а интегрированная компьютеризация при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ; оценке технического уровня изделий; маркетинговых исследованиях; составлении технического задания; проектировании; конструировании; технологической подготовке производства; организации и управлении серийным производством; материально-техническом снабжении; сертификации; поставках; эксплуатации; гарантийном и послегарантийном обслуживании, ремонте, устранение неисправностей; модернизации; капитально-восстановительном ремонте; демонтаже и утилизации изделий; непрерывной подготовке и переподготовке кадров конструкторов, технологов, организаторов производства, специалистов служб контроля и качества, представителей Заказчика продукции, а также специалистов: маркетинга, сбыта, материально-технического обеспечения, основных поставщиков материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, нормализованных элементов, крепежных изделий.

Такими направлениями руководствуется, в частности, Авиационный промышленный совет по CALS (Руководитель Совета — А.Г. Братухин, заместитель руководителя — Ю.В. Давыдов, ученый секретарь — В.И. Суров).

Этот принцип определяет возможность обеспечения конкурентоспособности продукции, высокого качества изделий наукоемкой промышленности.

В соответствии с международными стандартами ISO серии 9000 версии 2000 система управления качеством продукции является важнейшим направлением деятельности предприятий, базируется на информационной системе, поддерживающей автоматизированную обработку данных и документированных процессов обеспечения качества на всех этапах жизненного цикла промышленных изделий, автоматизированное управление процессами, данными, документацией.

Так, на систему менеджмента качества применительно к разработке и внедрению программно-технических комплексов для автоматизации проектирования изделий машиностроения и приборостроения, технологической подготовки производства, организационно-экономических систем и процессов с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001-2001 (9001:2000) Госстандартом России выдан сертификат ОАО "Научно-Исследовательский Центр Автоматизированных Систем Конструирования" (НИЦ АСК) — Генеральный директор Н.Р. Ачужев.

2. Единая информационная среда, интеллектуальная компьютерная среда в электронной форме для всех участников жизненного цикла изделий с использованием:

- корпоративной сети Intranet для структурирования и распространения информации, выполнения электронных транзакций в пределах компании;
- локальных вычислительных сетей (группа компьютеров, серверов и т.п. устройств, объединенных в сеть и расположенных на небольшом расстоянии друг от друга);
- территориальных вычислительных сетей;
- глобальной сети Internet, исключаящих человека в качестве главного информационного канала при передаче данных по этапам ЖЦИ с применением CAD/CAM/CAE-систем, обеспечивающих автоматизированное проектирование, производство, инженерные расчетные исследования.

Основные функции САМ-систем: разработка технологических процессов, синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ и др.

Функции САЕ систем довольно разнообразны, так как связаны с проектными процедурами анализа, моделирования, оптимизации проектных решений.

В состав промышленных САЕ-систем прежде всего включают программы для выполнения таких процедур:

- моделирование полей физических величин, в том числе анализ прочности, который чаще всего

выполняется в соответствии с методом конечных элементов (МКЭ);

- расчет состояний моделируемых объектов и переходных процессов в них средствами макроуровня;

- имитационное моделирование сложных производственных систем на основе модулей массового обслуживания;

PDM (Product Data Management) — управление данными о продукции (на рис. 3 представлена схема "Управление проектированием двигателя в среде PDM", учитывающее: интеграцию персонала, потоков данных и документов; связь с CAD/CAE; как правило — стандартный покупной продукт, привязку к конкретному проекту; минимальные затраты на адаптацию моделей и настройку и максимальные на приобретение в версии ФНЦ ЦИАМ — директор доктор технических наук Скибин В.А.).

В последние годы часто применяется термин PLM (Product Life cycle Management), обозначающий технологии управления данными об изделии в течении всего жизненного цикла.

ERP (enterprise resource planning) — планирование ресурсов предприятия; программ обеспечения, применяемое во многих отраслях промышленности, чтобы координировать сбыт и прием заказов с производственной системой для повышения точности планирования, более полного использования мощностей и уменьшения складских запасов; интеграция всех основных процессов, реализуемых предприятием;

Одним из принципов CALS — совместное проектирование, т.е. одновременное, параллельное проектирование системы разными группами

разработчиков, когда полученная информация используется на всех этапах жизненного цикла изделий всеми субъектами, сопровождающими ЖЦ наукоемкой техники.

Многоуровневый интегрированный подход к применению CAD/CAM/CAE/PDM/ERP-систем при обеспечении робастности и операбельности стратегически ориентирован на передовые мировые достижения.

Единая информационная база участников создания финальных изделий является основой разработки и выпуска конкурентоспособной промышленной продукции в короткие сроки с оптимальными затратами. Она обеспечивает высокое качество, надежность, ресурс, безопасность с первых изделий в соответствии с требованиями стандартов серии ISO 9000-2000 с применением интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) — комплекса данных технической, эксплуатационной, ремонтной документации, представленной Заказчику в электронной форме на компакт-диске или доступной через Internet (техническое описание изделий и его агрегатов, узлов с предоставлением технологии эксплуатации, обслуживания, ремонта; сведений о диагностике неисправностей и др.).

Затраты на создание и поддержку эксплуатации технической документации составляют значительную часть от общих затрат на эксплуатацию самого изделия. При этом решаются задачи:

- организации своевременного заказа и поставки запасных частей, нормалей, крепежных изделий, материалов;
- освоения новых изделий эксплуатационным, обслуживающим, ремонтным персоналом в связи



Рис. 3. Управление проектированием двигателя в среде PDM по версии ЦИАМ

со значительным увеличением сложности изделий;

- сопровождения экспортной продукции электронной версией документации, выполненной в соответствии с международными стандартами на подготовку электронной технической документации.

4. Гармонизация разрабатываемых и корректируемых нормативно-технических документов с требованиями международных стандартов в области информационных технологий: ISO 10303 (STEP – Standard for Exchange of Product data) – обмен информацией, в том числе между CAD/CAM-системами управления проектами, представления данных об изделии для управления изменениями в конструкторско-технологической информации об изделии в условиях виртуального предприятия, функционирующего в internet и др.; ISO 8879 (SGML – Standard Generalized Markup Language) – общее описание текстовой информации, стандарт представления текста; ISO 15531 (MANDATE) – представления производственных данных; ISO 9735 (EDIFACT) – обмен данными в управлении; ISO 13584 (PLIB) – обмен данными в области управления обработки информации о комплектующих как машиностроения, так и электроники; ISO-10179 – определяющий странично-ориентированный формат документов, как отображаемых, так и печатаемых, включая описания шрифтов, форматирование текста, разметку документов; и других стандартов ISO (International Organization for Standardization) – международная организация по стандартизации; федеральные стандарты по обработке информации США (FIPS): FIPS 183 (IDEF/O), FIPS 184 (IDEF/IX) – общее описание модели ЖЦИ; защита данных, включая алгоритмы шифрования и управления ключами; военные стандарты США (MIL – STD) – общие правила цифрового обмена информацией; (MIL – HDBK) – процессы и методы формализации данных об изделиях и процессах; нормативные требования ARINC (Aeronautical Radio, Inc) – корпорация, занимающаяся эксплуатацией полетов; ICAO (International Civil Aviation Organization) – международная организация гражданской авиации, SAE (the Engineering Society for Advancing Mobility Land Sea Air and Space) – общество инженеров транспорта, АЕСМА (European Association of Aerospace Industries) – Европейская организация представителей авиационно-космической техники и др.

При этом должна быть обеспечена операбельность между ними в целях эффективной интеграции в совместных международных проектах, обеспечения совместимости проектно-технических решений каталогизации (принципы классификации, кодирования, идентификации продукции).

Эффективность проводимых работ может быть значительно повышена при восстановлении Госстандартом России русского языка, наряду с английским и французским, как официального языка ISO. Известно, что МИД России придает большое значение деятельности по поддержке русского языка в мире, рассматривая ее как одно из приоритетных направлений внешней политики государства.

5. 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), включающее все данные о нем с учетом международных стандартов.

Такой подход позволяет связать в единую систему все службы предприятия, участвующие в проектировании и создании нового изделия, технологической подготовке и его серийном производстве, а также снабжение, поставку продукта и его сервисную поддержку, ремонт, модернизацию, утилизацию изделий.

Полное электронное определение изделий (Electronic Product Definition), электронная модель изделий (летательные аппараты, корабли, газотурбинные двигатели, другие технически сложные промышленные изделия) – пространственная увязка сборных изделий без изготовления физических плазов макетов поверхности изделий; технологии оптимизации конструктивных, технологических функциональных, эксплуатационных свойств изделий в режиме параллельного проектирования; технологии управления конфигурацией изделий в процессе разработки, производства и эксплуатации изделий.

Основу электронной модели составляет трехмерная геометрическая модель, созданная средствами систем 3D-моделирования на базе действующих на изделие моделей поверхностей теоретических обводов и конструкторской документации.

Электронная модель (ЭМ) наукоемкого изделия промышленности – одно из основных средств повышения эффективности проектирования, производства и сопровождения изделий на протяжении всего жизненного цикла.

В компьютерной среде электронная модель изделия (ЭМИ) представляется в виде набора данных, которые вместе определяют геометрию изделия и иные свойства необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта, утилизации изделия. ЭМИ должна содержать полный набор конструкторских, технологических, физических параметров, необходимых для выполнения расчетов, матема-

тического моделирования, разработки технологических процессов и др.

При разработке ЭМИ предусматривают применение электронных библиотек (электронных каталогов) стандартных и покупных изделий (крепежные изделия и др.). Применение, способы и правила использования электронных библиотек устанавливает разработчик финальных изделий.

При разработке ЭМИ используют такие типы представления формы изделия как твердотельное представление (трехмерная электронная геометрическая модель, представляющая форму изделия как результат композиции заданного множества геометрических элементов) и др.

Разновидностью ЭМИ является электронный макет (ЭМК) предназначенный для оценки взаимодействия составных частей макетируемого изделия или изделия в целом с элементами производственного и эксплуатационного окружения. ЭМК разрабатывается на проектных стадиях и не предназначается для изготовления по ним изделий и, как правило, не содержит данных для изготовления и сборки изделий.

Ключевое значение для электронного моделирования изделий приобретает проблема разработки нормативных документов и методических материалов обеспечения качества электронных макетов и моделей, над решением которой работают ученые НИЦ АСК Н.Р. Ачурев, Ю.В. Давыдов, В.А. Злыгарев, В.И. Суоров и др.

Качество электронного макета изделия включает:

- качество технических решений, заложенных в макет;
- качество данного макета.

Качество технических решений, заложенных в макет — степень соответствия свойств этих решений требованиям к функционированию изделия.

Качество данных электронного макета изделия — степень соответствия совокупности его свойств требованиям своевременно выполнять функции источника достоверной легитимной информации об изделии для всех легальных участников процессов жизненного цикла изделия. На всем его протяжении. Эта мера достоверности всех данных макета, необходимых на любых стадиях жизненного цикла изделия в сочетании со своевременностью предоставления их всем легальным пользователям, которым они необходимы.

Несоответствующее качество данных макета, включая как данные, обрабатываемые различными автоматизированными системами (CAD, CAM, CAE и др.), так и PDM-системами, создает проблемы информационного обмена, использования данных, увеличивая время и финансовые затраты при разработке, производстве и эксплуатации изделия.

На рис. 4 представлена электронная модель изделия Sukhoi Super Jet-100, создаваемая в Авиацонной компании "Сухой" (генеральный директор доктор технических наук, член-корр. РАН М.А. Погосян) с участием в кооперации известных во всем мире фирм Европы и США (Thales, Liebherr, Messier Dowty и др.). Sukhoi Super Jet-100 оснащен двигателями SM-146 разработки и производства компаний Snecma — Научно-производственное объединение "Сатурн"; Поддержку Sukhoi Super Jet-100 осуществляет компания "Boeing", которая окажет содействие проекту и в сертификации по нормам FAR, и в техническом обслуживании по всему миру, где имеются технические центры "Boeing".

SSJ-100 создается на основе современных информационных технологий электронного описания изделия, что позволило впервые в российском авиастроении исключить традици-



Рис. 4. Электронная модель Sukhoi Super Jet-100

онный плазово-шаблонный метод. Многие работы Авиационной компании Сухой, КНААПО имени Гагарина проводятся совместно с Украинским НИИАТ (директор д.т.н, профессор Кривов Г.А.). Уникальный опыт российско-украинского сотрудничества в области современного авиастроения нашел отражение в книге "Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов" (авторы А.И. Пекарш, Ю.М. Тарасов — Россия, Г.А. Кривов, В.А. Матвиенко — Украина и др.).

На рис. 5 представлена электронная модель, создаваемого НПК "Иркут", ОКБ имени А.С. Яковлева, другими партнерами ближне-, среднемагистрального самолета МС-21.

С применением современных информационных технологий Федеральный ГУП "ММП

П" создана и функционирует информационная система на принципах CALS, включающая более 3500 компьютеризированных рабочих мест, что обеспечивает функционирование CAD/CAM/CAE/PDM-среды при выполнении проектных, конструкторских, технологических, производственных операций при создании и эксплуатации ГТД. Производство оснащено современным оборудованием, располагает более 500 станками с ЧПУ, обрабатывающими центрами лучших станкостроительных фирм Швейцарии, Германии, Японии, США; в том числе с 5-ю координатами обработки; современными координатно-измерительными машинами и комплексами. "Салют" подготовлен к созданию авиационных двигателей нового поколения.

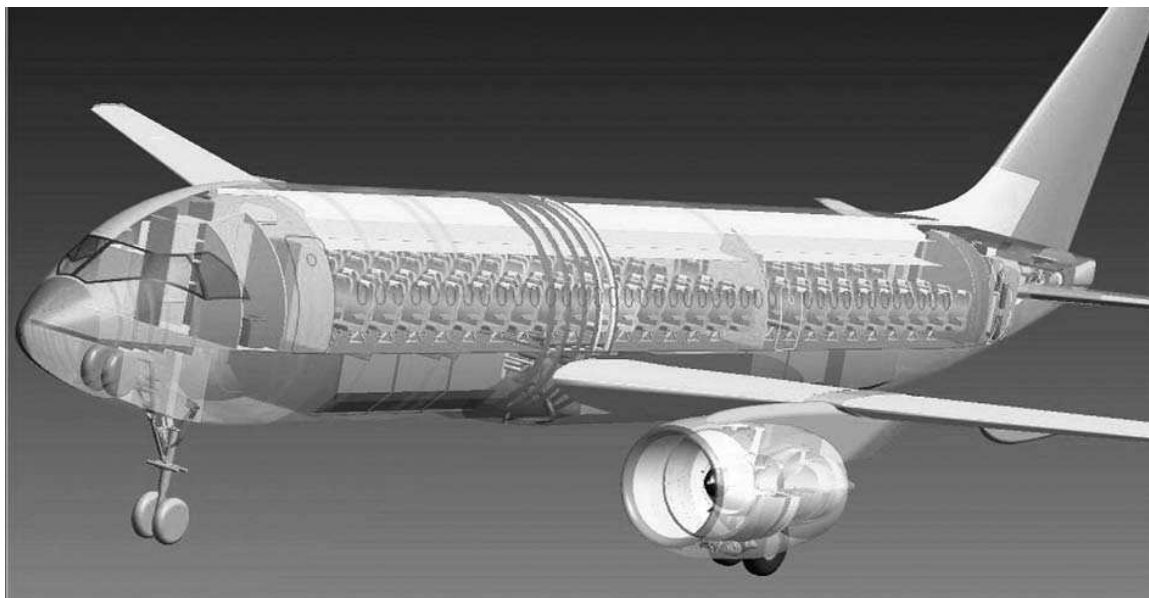


Рис. 5. Ближне-, среднемагистральный самолет МС-21

"Салют" (генеральный директор д.т.н., профессор Елисеев Ю.С.) совместно с "Мотор Сич" (генеральный директор д.т.н., профессор Богуслав В.А.) освоили выпуск ГТД АИ-222-25 (рис. 6) (генеральный конструктор член-корр. НАН Украины Муравченко Ф.М.) для оснащения новых российских учебно-боевых авиационных комплексов семейства Як-130 разработки ОКБ имени А.С. Яковлева (генеральный директор — генеральный конструктор к.э.н. Демченко О.Ф.).

Научно-технический потенциал уникального ФГУП "ММП" — российского партнера "Мотор Сич" представляет 9 конструкторских бюро и отделов, 7 научно-технических центров и 2 института (НИИД — филиал предприятия и Институт целевой подготовки специалистов по двигателестроению).

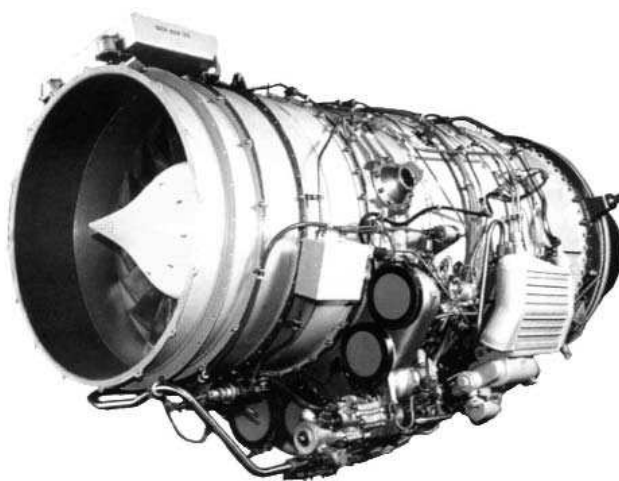


Рис. 6. ГТД АИ 222-25

"Салют" принимает участие в производстве до 30% агрегатов, узлов, деталей двигателей Д-436-Т1 (генеральный конструктор член-корр. НАН Украины Муравченко Ф.М.) совместно с "Мотор Сич". В кооперации также участвует УМПО (до 30% агрегатов, узлов, деталей).

Двигателями Д-436-Т1 оснащаются самолеты-амфибии БЕ-200 (Научно-производственная Корпорация "Иркут"), ближнемагистральные самолеты Ту-334 (Компания "Туполев" — производство на Казанском производственном объединении), Ан-148 (Компания "Антонов" — производство на Харьковском авиазаводе и на Воронежском самолетостроительном объединении). Двигатель Д-436П — модульной конструкции обладает улучшенной экономичностью с учетом международных требований, низким уровнем эмиссии и шумов, низким удельным расходом топлива. В зависимости от требований рынка, авиакомпаний, политических решений, двигатель Д-436Т1 одного класса тяги с SM-146 может ставиться и на самолеты семейства SSJ-100.

Большой объем работ по подготовке производства и организации производства "Салют" провёл по изготовлению агрегатов, узлов, деталей двигателя Д-27 на военно-транспортный самолёт Ан-70.

11 августа 2007 г. Президент Российской Федерации Путин В.В. подписал Указ о создании Холдинга Российского авиационного двигателестроения на базе ФГУП "ММПП "Салют".

Создание электронного макета изделий промышленности обеспечивает:

- проработку и увязку конструкции изделий машиностроения уже на этапе проектирования;
- возможность организации параллельных процессов в проектировании изделий и подготовке их производства;

При этом необходимо учитывать, 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 ускорить реакции корпоративных систем на изменения условий ведения бизнеса; процесс преобразования информационной структуры и процессов функционирования предприятия на основе внедрения новых информационных технологий.

- управление составов изделий и их модификаций;
- подготовку информации для разработки и поставки электронных руководств по эксплуатации и обслуживанию изделий с учетом модификаций и исполнения и др.

Так, электронное моделирование гидравлических систем ЛА предусматривает решение задач прокладки трубопроводов, анализ полученных конструктивных решений, позволяет выполнять функции:

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

В состав типового участка входят:

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

Основой любого электронного макета (ЭМ) является его структура, т.е. структура сборки электронного макета. 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 два 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 (PDM-система) 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 конструкторскими спецификациями отделов-исполнителей. В зависимости от текущего этапа ПКР (аванпроект, эскизно-технический проект или 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.

К сожалению, в машиностроении Российской Федерации отсутствуют открытые для научно-технической общественности пилотные проекты в области CALS, включающие в себя электронное описание изделий; направленных на отработку информационного взаимодействия головного ОКБ и многочисленных исполнителей при



практическом внедрении CALS в ходе реализации наукоемких промышленных проектов.

6. Применение передовых технологий, программных и аппаратных средств с учетом постоянного импортозамещения программно-технических решений; современного прецизионного технологического оборудования с ЧПУ, в том числе за счет модернизации эксплуатируемого оборудования с применением новых систем ЧПУ, встроенных систем контроля геометрии типа Ренишоу и др.; современных координатно-

измерительных машин и комплексов, технологий быстрого прототипирования; наноматериалов и нанотехнологий; высокоэффективных конструкционных и функциональных материалов; материаловедческо-технологических и конструкторско-технологических решений, технологии и организации группового машиностроительного производства и др.

Так, анализ программно-технических средств на предприятиях авиастроения по всему ЖЦИ, проведенный Научно-исследовательским Центром Автоматизированных систем Конструирования (генеральный директор Н.Р. Ачуев, главный конструктор Ю.В. Давыдов) по заданию Росавиакосмоса (рис. 7) показал, что до 50% работ в качестве информационной системы конструкторско-технологических подразделений может использоваться программно-технологический с системой конструирования, технологической подготовки производства систем КРЕДО-ТМ (конструирование, редактирование, документирование в версии технологического моделирования) (рис. 8).

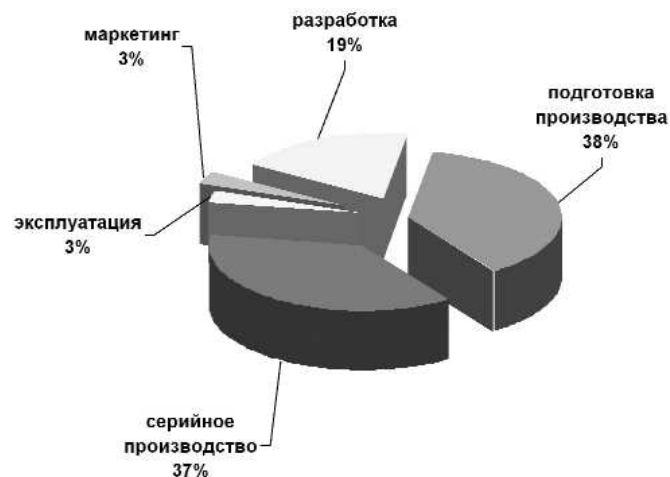


Рис. 7. Затраты на компьютеризацию по жизненному циклу АТ

Комплекс обеспечивает не только решение конструкторских и технологических задач, но и информационную связь с CAD/CAM-системами верхнего уровня с сохранением операбельности элементов всей системы.

Так, до 40% трудоемкости производства современных ЛА составляют технологии агрегатно-сборочного производств. Наиболее известный плазово-шаблонный метод (ПШМ) с его недостаточной точностью, сложностью пространственной увязки уходит в прошлое. Внедрение интегрированных CAD/CAM/CAE позволяет выполнять электронное описание объекта производства с точностью 1–3 микрона, с применением принципа трехмерной параметризации.

Особое место в создании технологически сложной техники на принципах CALS отводится координатно-измерительным машинам и комплексам. Такие комплексы, используя единую базу данных в виде электронной модели изделия, позволяют не



Рис. 8. База данных основной конструкторской документации (ОКД) проекта в электронном виде

только контролировать точность исполнения оснастки, деталей, узлов, агрегатов, но и решать ряд задач, которые целесообразно решать только с использованием КИМ, в частности — измерение геометрических параметров сложных прецизионных деталей, обмер которых традиционными способами требует дорогостоящей специальной оснастки и т.д.

Примером может служить КИМ ТСХ-8000 фирмы POLI (Италия), предназначенная для контроля сложной геометрической поверхности путем сравнения ее с математической моделью этой поверхности. Сканирование сечений сложной поверхности позволяет создать математическую модель такой поверхности с целью создания на ее основе управляющих программ для обработки поверхности на станках с ЧПУ. В комплект КИМ ТСХ-8000 входит система DUCT, позволяющая выполнять такие процедуры. В конструкцию машины входят колонны с двумя подвижными каретками, гранитный стол с рабочими размерами 8000 × 2500 × 1500 мм. Точность измерения — 37 мкм на длине 8000 мм. В комплект машины входит локальная вычислительная сеть с выделенным сервером, пятью рабочими местами (рис. 9).



Рис. 9. Координатно-измерительный комплекс на базе КИМ ТСХ-8000 фирмы POLI (Италия) — НПК "Иркут"

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

Современные КИМ обладают функцией реверсивного инжиниринга: данные с КИМ преобразовываются в компьютерные модели для дальнейшей работы с ним в CAD/CAM системах.

Все шире применяются бесконтактные (оптические) измерительные системы. На объект

проецируются последовательно различные интерференционные изображения, которые фиксируются фотокамерами. По формулам оптического изображения камеры автоматически и с высокой точностью вычисляются трехмерные координаты.

Россия по праву гордится уникальной научно-производственной базой по разработке и производству, поставкам на международный рынок металлоизделий из титановых сплавов, алюминиевых сплавов, высокопрочных и др. сталей (плиты, поковки, профили и др. изделия), но в XXI веке в авиационно-космической технике сокращается удельный вес металлических и растет объем конструкций из композиционных материалов (КМ). Это происходит за счет преимуществ КМ по весовой отдаче конструкций, усталостной прочности; создания конструкций с заранее заданными характеристиками; высоких показателей сопротивления усталости, стойкости к вибро- и акустическим нагрузкам; возможность управления в широких пределах анизотропных свойств; повышения коррозионной стойкости; эксплуатационной надежности; резкого сокращения количества деталей и нормалей; совместности КМ с другими материалами и других служебных характеристик.

Но за высокими показателями служебных свойств изделий из КМ стоят более сложная структура и трудоемкая технология изготовления из них интегральных конструкций, принципиально отличающаяся от производства из металлических полуфабрикатов (рис. 10).

Так, в конструкции разработки XXI века: аэробуса А-380 на 550—800 пассажиров объем конструкций из ПКМ составляет более 30% по весу; в дальнемагистральном лайнере Boeing 787 (Dreamliner — Лайнер мечты) на 200—300 пассажиров — превышает 50%, в Российском ближне-среднемагистральном самолете МС-21,

создаваемом в ОКБ имени А.С. Яковлева совместно с научно-производственной корпорацией "Иркут", другими партнерами — более 30%. (рис. 11). Заданный ресурс создаваемой техники составляет более 60 тыс. часов полета, более 30 лет эксплуатации.

Примером ключевого технологического оборудования нового поколения в XXI веке может служить автоклав для производства интегральных конструкций из ПКМ аэробуса А-380 (рис. 12); автоклав для производства интегральных



Рис. 10. Структура технологии изготовления изделий из ПКМ

конструкций самого грузоподъемного в мире транспортного самолета Ан-124 (рис. 13) производства "Авиастар" г. Ульяновск (Генеральный директор В.В. Михайлов). Ан-124 оснащен двигателями производства "Мотор Сич" (разработчик двигателя Д-18 ЗМКБ «Прогресс» — Генеральный конструктор член-корреспондент НАН Украины Муравченко Ф.М.).

В технологической подготовке производства чрезвычайно актуальны технологии быстрого прототипирования, в т. ч. стереолитография —

технология изготовления фотополимерных моделей по данным трехмерного компьютерного моделирования. Точные стереолитографические модели, созданные по CAD/CAM-данным, позволяют оценивать конструкцию разрабатываемых изделий; изготавливать серийные пресс-формы и штампы литьем стали по выжигаемым стереолитографическим моделям формообразующих; обеспечивать высокую точность моделей и поверхность изделий высокого качества; обеспечивать существенное снижение трудоемкости в



Рис. 11. Стратегические проекты мировой магистральной авиации XXI века

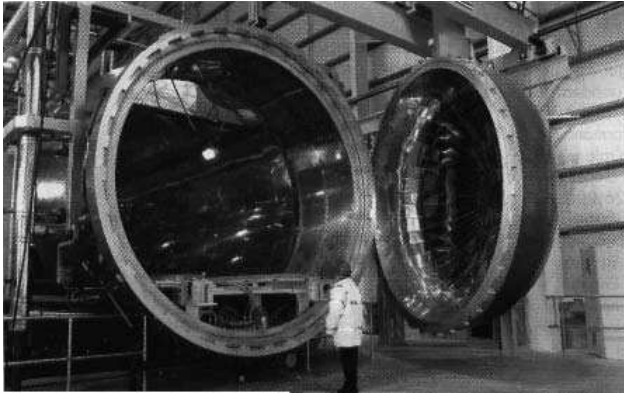


Рис. 12. Автоклав для производства интегральных конструкций из ПКМ аэробуса А-380



Рис. 13. Автоклав для производства интегральных конструкций из ПКМ широкофюзеляжного транспортного самолета Ан-124

технологической подготовке производства. На рис. 14 представлена установка SLA-5000 ОКБ Сухого.

7. Прогнозирование влияния конкретных проектов на:

- научно-технический, производственный потенциал;
- финансовое состояние предприятий (для увеличения производительности, эффективности использования имеющихся ресурсов);
- анализ дебиторской, кредиторской задолженности;
- оптимизацию управления проектом, как по временным показателям, так и по затратам;

- подготовку коммерческих предложений для участия в тендерах;

- оптимизацию постоянно меняющихся бизнес-процессов при четком соблюдении требований контрактов с ориентацией (как и во всем мире) на авиа лизинг.

- информационное обеспечение всех направлений планирования и управления предприятием для решения стратегических задач развития производства на всем протяжении ЖЦИ, включая управление заказами, обеспечения материалами, полуфабрикатами, стандартными и уникальными деталями, крепежными элементами, инструментом, комплектующими изделиями:

- систему управления складскими запасами just-in-time (точно в срок), которая предусматривает поставки материалов в производство гарантировано по мере необходимости;

- передачу продукции на сборочные производства, склады готовой продукции;

- комплектацию запасными частями эксплуатируемой техники;

- использование производственных графиков оперативно-календарного планирования со сменно-суточными заданиями участкам и рабочим местам с их обеспечением с учетом планово-предупредительного обслуживания рабочих мест в условиях единичного и серийного производства;

- планирование персонала и найма рабочей силы вплоть до расчета зарплаты и профессионального роста сотрудников;



Рис. 14. Установка стереолитографии SLA-5000, ОКБ Сухого

- различные направления финансово-хозяйственной деятельности: система учета затрат, анализ прибыли, управления финансовыми и материальными потоками и т.д.

Оптимизацией влияния указанных проектов является инжиниринг структуры предприятия.

8. Информационная модель ресурсов. Содержит характеристики: производственных и вспомогательных площадей; технологического, контрольно-измерительного, транспортного инженерного и др. оборудования; ступеней, агрегатно-разделочных и сборочных стендов; запасов материалов полуфабрикатов, комплектующих изделий и др.; персонала всех специальностей и квалификации, отражающиеся в информационной модели статическими (класс, тип, категория, конструктивные элементы, фичерсы и т.д.) и динамическими (состояние, количество, температура и т.д.) показателями и превращающие информацию о предприятии и об изделиях в важнейший корпоративный ресурс.

9. Система информационного обеспечения эксплуатации и технического обслуживания техники с применением интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР), интегрированной логистической поддержки (ИЛП). Логистика рассматривается как научная практическая дисциплина, охватывающая сферу управления взаимосвязанных потоков — информационных, финансовых, материальных, технических услуг на протяжении всех фаз жизненного цикла изделия (продукта) в определенной системе государственного, военного, коммерческого назначения для эффективного достижения поставленных целей: сокращение стоимости жизненного цикла изделий; повышение эффективности управления процессами ЖЦИ; улучшение эксплуатационной технологичности; своевременно представлять персоналу, эксплуатирующему, обслуживающему и ремонтирующему изделия электронную техническую документацию, имеющую значительно меньшее по сравнению с бумажной документацией физические объемы и более удобную в применении.

Интегрированная логистическая поддержка (Integrated Logistic Support) изделия направлена на сокращение затрат для обеспечения процессов жизненного цикла продукции и реализуется на основе нормативных документов, которые приобрели статус международных (стандарты МО США MIL — STD-1388; спецификации Европейской Ассоциации Аэрокосмической промышленности AESMA SPEC 1000D и AESMA SPEC 2000M, нотации языка IDEF0 и др.), реализующие методологию функционального моделирования (бизнес-процессов).

Сущность концепции CALS во многом заключается в том, что все процессы ЖЦИ находят отображения в интегрированной информационной среде (ИИС), которая формируется на основе технической информации, представленной в электронном формате. Для обеспечения преемственности информации используется интерактивный набор взаимосвязанных технических данных, заменяющий традиционные бумажные руководства — интерактивное электронное техническое руководство — ИЭТР (Interactive Electronic Technical Manual — IETM).

Техническая документация в форме ИЭТР представляет собой комплекс стандартно структурированных и взаимосвязанных данных, содержащий достоверную информацию об устройстве изделия, правилах его эксплуатации, восстановления неисправностей, планирование проведения регламентных работ по техническому обслуживанию, накопленную статистику эксплуатационных особенностей и др.

Применение стандартизированных механизмов подготовки и применения интерактивных руководств обеспечивает их тесную интеграцию с PDM-системами и системами логистической поддержки эксплуатации, что в комплексе реализует концепцию безбумажных технологий поддержки жизненного цикла изделий CALS.

Научоемкие изделия промышленности представляют собой комплекс взаимосвязанных между собой систем, агрегатов, узлов и деталей, с каждым из которых связана техническая информация (техническое описание, технология обслуживания, эксплуатации и ремонта, диагностика неисправностей и др.) ИЭТР дает возможность представить информацию об изделии аналогичным иерархическим образом.

ИЭТР (Интерактивные электронные технические руководства): комплекс данных технической, эксплуатационной, ремонтной документации, которую поставляют заказчику в электронной форме (техническое описание изделий и его агрегатов; технологию обслуживания, технической эксплуатации, ремонта; и др.).

Экспорториентированные предприятия наукоемких изделий промышленности по контрактам уже обязаны представлять эксплуатационную техническую документацию (ЭТД) в форме ИЭТР и технология создания ИЭТР становится "критической" для отечественных экспорториентированных предприятий.

Интегрированная логистическая поддержка наукоемких промышленных изделий в последние годы приобрела особую актуальность в связи с активным выходом отечественных предприятий на международные рынки.

10. Обеспечение информационной безопасности, принцип многоуровневой защиты информации, исключающей целенаправленные и случайные воздействия, приводящие к разглашению, физическому разрушению или несанкционированному изменению охраняемых сведений; регламентированный доступ и защита информации, электронной цифровой подписи (ЭЦП), предотвращающая возможность случайных или преднамеренных угроз безопасности информации, исходящих как из внутренних так и внешних источников.

Практическая реализация безбумажной технологии, обмен данными возможна только при обеспечении интимности электронного документа, подписанного ЭЦП (электронная цифровая подпись) — функция от содержимого подписываемого ЭТД и секретного ключа автора.

ЭЦП — специальное криптографическое средство обеспечения подлинности, авторства информации, представленное в электронной форме.

В 2001 г. Государственная Дума РФ приняла Закон "Об электронной цифровой подписи". После принятия Закона этот способ авторизации электронных документов приобретает юридическую силу. Информационная безопасность обеспечивается также сертифицированными средствами для передачи информации по открытым сетям (Internet), аттестацией корпоративных сетей, сертифицированными криптографическими средствами; включает в себя порядок вывоза и использования программно-аппаратных средств и комплексов.

За пределами России, средства дублирования и редактирования компьютеров, коммуникаций, программ, данных; средства разграничения доступа к информационным ресурсам системы; средства криптографической защиты данных; средства обеспечения целостности программ и данных; и т.д., в том числе и в рамках "виртуального предприятия"

Виртуальные предприятия: группа предприятий (КБ, НИИ, финальные предприятия изделий; поставщики агрегатов, нормализованных элементов, крепежа, полуфабрикатов, материалов, эксплуатирующие организации), объединенных на контрактной основе, не имеющих единой юридической организационной инфраструктуры, но обладающих единой информационной инфраструктурой с целью использования компьютерной поддержки жизненного цикла конкретного изделия и связанных общими бизнес-процессами **при ключевой роли ОКБ (Генеральный конструктор)**, т.е. новая организационная форма выполнения крупномасштабных авиационных проектов. Для виртуального пред-

приятия применение CALS особенно актуально, т.к. предприятия удалены друг от друга, используют разнородные программно-технические решения, различное технологическое, в т.ч. программное, оборудование.

Информационное взаимодействие участников виртуального предприятия осуществляется на основе общей базы данных через корпоративную, глобальную компьютерную сеть с соблюдением информационной безопасности.

12. Экономическая эффективность мероприятий по применению информационных технологий на принципах CALS.

CALS обеспечивает оптимизацию значений тактико-технических характеристик, стоимости изделий, затрат на сопровождение изделий в ходе жизненного цикла (ЖЦ) для повышения конкурентоспособности и высокого качества; снижения ресурсоемкости изделий и реализуется в соответствии с требованиями международных и национальных стандартов.

Известны некоторые оценки эффективности CALS в промышленности США:

- сокращение затрат на проектирование 10—30%;
- сокращение затрат на подготовку технической документации до 40%;
- сокращению затрат на разработку эксплуатационной документации до 30%;
- сокращения времени разработки изделий на 40—60%.

Конкретные факторы, непосредственно влияющие на экономические показатели при использовании CALS:

- сокращение затрат и трудоемкости технологической подготовки производства и освоения производства новых изделий в опытном, серийном и ремонтном производствах;
- сокращение затрат, связанных с внесением конструкторско-технологических решений;
- сокращение затрат на эксплуатацию, техническое обслуживание, ремонт, модернизацию изделий;
- снижение объема расходов материальных, трудовых, финансовых ресурсов на всех этапах ЖЦИ и другие факторы.

К сожалению, в России отсутствуют комплексные исследования в области оценки экономической эффективности CALS. Такие работы могли бы возглавить руководители наукоемких объединений, предметно занимающиеся разработкой и внедрением интегрированных информационных технологий по всему жизненному циклу изделий — генеральный директор Авиационной компании "Сухой" член-корр. РАН М.А. Погосян, генеральный директор Федерального научно-производственного центра ММП "Салют"

доктор технических наук, профессор Ю.С. Елисеев; Генеральный директор — Генеральный конструктор ОКБ имени А.С. Яковлева кандидат экономических наук О.Ф. Демченко, Генеральный директор научно-производственного объединения "Сатурн" кандидат экономических наук Ю.В. Ласочкин. Вопросами экономической эффективности разрабатываемых и внедряемых интегрированных информационных систем, по-видимому, целесообразно заниматься таким структурам как Объединенная авиастроительная Корпорация (ОАК) и др.

#### 13. Подготовка и переподготовка кадров.

Основным механизмом, обеспечивающим переход от кадрового обеспечения к учебно-научному сопровождению сложных технических систем промышленности является интеграция научно-производственных центров. Объединений и учебно-научных учреждений, обеспечивающая прежде всего совместное использование интеллектуальной собственности в целях повышения эффективности образовательного процесса, научных исследований, обеспечения жизненного цикла наукоемких изделий промышленности.

Для этого требуется:

- Организация специальностей по проблемам CALS в высших технических учебных заведениях: МАИ (Государственный технический университет), МГТУ имени Баумана, МАТИ — Российский Государственный технологический Университет имени Циолковского и других учебных заведениях.

- Организация подготовки, повышения квалификации кадров в высших технических учебных заведениях; отраслевых и межотраслевых центрах:

- Учебный центр Авиацонной компании "Сухой"

- Институт целевой подготовки специалистов по двигателестроению Федерального Научно-производственного центра Московского Машиностроительного производственного предприятия "Салют"

- Научно-исследовательский Центр Автоматизированных систем Конструирования (НИЦ АСК) и др.

- Переработка и издание в традиционной (бумажной) и электронной форме учебно-методических материалов по проблемам CALS:

- CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) в авиастроении. Научный редактор доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель Российской Федерации А.Г. Братухин. Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области авиации, ракетостроения и космоса в качестве учебного пособия для

студентов и дипломированных специалистов. Москва. Издательство МАИ, 2002. 670 с.

- Информационная поддержка наукоемких изделий CALS-технологии И.П. Норенков, П.К. Кузьмик Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002. 320 с.

Завершается подготовка к изданию "Энциклопедия CALS Авиакосмическое машиностроение" — главный редактор профессор Братухин А.Г.; Рецензенты — член-корр. РАН Дмитриев В.Г., академик РАН Каторгин Б.И., член-корр. РАН Погосян М.А.

В Энциклопедии 9 разделов, более 60 статей, более 1500 стр. Чрезвычайно важное значение приобретает в Энциклопедии статья "Трансформация базовых принципов технологической подготовки серийного производства наукоемкой продукции" известных ученых и на Украине, и в России Кривова Г.А., Зворыкина К.О.

Национальные интересы России, Украины требуют придания работам в области CALS статуса приоритета государственной научно-технической политики, включая не только финансирование научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, но и кадрового сопровождения.

#### Литература

1. *Авиакосмические системы*. Научный редактор доктор технических наук Г.Е. Лозино-Лозинский. Главный редактор доктор технических наук А.Г. Братухин. — Москва Издательство МАИ, 1977. — 437 с.

2. *Информационные технологии в наукоемком машиностроении*. Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса. Под общей редакцией А.Г. Братухина. Редакционный совет: В.П. Балабуев, В.А. Богуслаев, А.Г. Братухин, Г.А. Кривов. — К: Техніка, 2001. — 437 с.

3. *Бизнес со скоростью мысли*. Билл Гейтс при участии Коллинза Хемингуэя. — Москва: ЭСМО-ПРЕСС, 2001. — 477 с.

4. *CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) в авиастроении*. Научный редактор доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель Российской Федерации А.Г. Братухин. Рекомендовано Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области авиации, ракетостроения и космоса в качестве учебного пособия для студентов и дипломированных специалистов.

5. *Информационная поддержка наукоемких изделий CALS-технологии* И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. — Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана 2002. — 320 с.

6. *Приоритеты* Авиационных технологий. Научный редактор доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, International Man of the Millennium А.Г. Братухин. — Книга 1 — 695 с., книга 2 — 630 с. Москва Издательство МАИ, 2004.

7. *ГОСТ 2.052-2006* Электронная модель изделия. Общие положения.

8. *Современные* технологии агрегатно-сборочного производства самолетов. А.И. Пекарш, Ю.М. Тарасов, Г.А. Кривов и др. — Москва: Аграф-пресс, 2006. — 304 с.

9. *ENCYCLOPEDIA OF RUSSIAN BUSUNESS*. Developments and Opportunities Industrial Review. — London, 1995. — 428 p.

10. *Технология* и организация группового машиностроительного производства. Том I Основы технологической подготовки группового производства 480 с. Том II Организация труда и

оценки эффективности группового производства 370 с. С.П. Митрофанов, А.Г. Братухин, О.С. Сироткин, Ю.И. Караванов, Г.С. Краснова, М.З. Мовшович. — Москва: Машиностроение, 1992.

11. *COMPOSITE MANUFACTURING TECHNOLOGY*. Edited by A.G. Bratukhin and V.S. Bogolybov. — London: Chapman and Hall, 1995. — 433 p.

12. *INTERAVIA/BUSINESS* and TECHNOLOGY. Geneva №667 October 2002. What's Russian for CALS? By prof. Anatoly G.Bratukhin.

13. *Концепция* разработки, внедрения и развития технологий информационной поддержки жизненного цикла изделий вооружения и военной техники. — Москва, 2006. — 27 с.

14. *Энциклопедия* Машиностроения том IV -21 Самолеты и вертолеты, редактор тома д.т.н. Дмитриев В.Г. — Машиностроение, 2004. — 750 с.