

ОБОБЩЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ МАШИНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

О.В. Акимов

*Кафедра литейного производства
Национального технического университета
«Харьковский политехнический институт»
Ул. Фрунзе, 21, Харьков, 61002
Украина
E-mail: olak@kpi.kharkov.ua*

В статье рассмотрены и проанализированы системы автоматизированного проектирования (CAD – Computer-Aided Design), системы автоматизированного инженерного анализа (CAE – Computer-Aided Engineering), системы автоматизированной подготовки производства (CAM – Computer Aided Manufacturing), PDM – системы управления производственной информацией, непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия или продукта (CALS Continuous Acquisition and Life-Cycle Support)

CAD – Computer-Aided Design (системы автоматизированного проектирования, САПР) – общий термин для обозначения всех аспектов проектирования с использованием средств вычислительной техники. Обычно охватывает создание геометрических моделей изделия (твердотельных, трехмерных, составных), а также генерацию чертежей изделия и их сопровождение. Следует отметить, что отечественный термин «САПР» по отношению к промышленным системам имеет более широкое толкование, чем «CAD» – он включает в себя как CAD, так и CAM, а иногда и элементы CAE.

В зависимости от стоимости системы условно выделяют три класса CAD-систем:

CAD начального (первого) уровня – характеризуются ценой до 1000 \$ США и выполняются на самых обычных ПК. Ориентированы на двумерные объекты и построение чертежей, программирования 2,5-осевой ЧПУ-обработки. (КОМПАС, Базис, AutoCAD и Mechanical Desktop, CADDy++, VersaCAD, CadKey, Personal Designer, VisualCADD)

CAD системы среднего уровня – (цена до 8 тыс. долл.) требуют ПК старшего класса со специальным графическим оборудованием или младших моделей рабочих станций. Эти системы позволяют создать объемную модель изделия, по которой можно определить инерционно-массовые, прочностные и иные характеристики, промоделировать все виды ЧПУ-обработки, контролировать собираемость, выпускать документацию. Это SolidWorks (SolidWorks Inc.), SolidEdge (Intergraph), Cimatron (Bee-pitron), Pro/LUNIOR, PT/Modeler Engineer (Parametric Technology), PRELUDE DESIGN (Matra Division), Anvil Express, I-DEAS Artisan Series и т.д.

CAD системы высшего (старшего) уровня (или «тяжелые CAD») – позволяют не только создать объемную модель изделия, по которой можно определить инерционно-массовые, прочностные и иные характеристики, промоделировать все виды ЧПУ-обработки, но и дают возможность контролировать технологичность, проводить динамический анализ сборки с имитацией сборочных приспособлений и инструмен-

та, проектировать оснастку. Современные САД-системы старшего класса представляют собой очень большие программные комплексы. В их состав входит несколько десятков крупных функциональных модулей. Тяжелые САД обычно работают на рабочих станциях и графических серверах RISC/Unix/NT, хотя некоторые реализованы и под среду Wintel (Windows 95 или Windows NT). Стоимость их достаточно высока – десятки тысяч \$. К ним относят: *Unigraphics (EDS)*, *Pro/Engineer (Parametric Technology)*, + *CADD5 (Computervision)*, *Catia (IBM/Dassault)*, *Euclid (Matra Division)*, *I/EMS (Intergraph)*, *PE/SolidDesigner (Hewlett-Packard)*, а также *Anvil 5000*, *I-DEAS Master Series*, *ADAMS*, *ALIAS*, *DUST-5*.

CAE – Computer-Aided Engineering (системы автоматизированного инженерного анализа) – общий термин для обозначения информационного обеспечения автоматизированного анализа проекта, имеющего целью обнаружение ошибок (прочностные и динамические расчеты, коллизии кинематики и т. п.) или оптимизацию производственных возможностей. Это программные комплексы: *ANSYS (ANSYS, Inc.)*, *MSC/NASTRAN (MacNeal-Schwendler Corporation)*, *UAI/NASTRAN (Universal Analytics Inc)*, *HyperMesh (Altair Computing Inc.)*, *MARC (MARC Analysis Research Corp.)*, *DADS (Computer Aided Design Software, Inc.)*, *SYSNOISE (IMS)*, а также *COSMOS/M*, *PATRAN*, *DYNA*, *ABAQUS*, *ALGOR*, *ADAMS*, *C-MOLD*, *MOLDFLOW*, *COMET/ACOUSTICS* и др.

Современные CAE программы непосредственно воспринимают на входе геометрию твердого тела, автоматически генерируя конечноэлементную сетку, производят на ней расчет и наносят результаты на 3D-модель. Анализ может заключаться в расчете простейших физических характеристик: веса детали, центроидов или в выполнении более сложных видов исследований, включая прочностной, термический, вибрационный, кинематический и динамический анализ. Кроме того, производится имитация таких производственных процедур, как штамповка, заливка и охлаждение, экструзия и др. Для визуальной оценки динамики заполнения шаблонов и состояния пропускающих каналов строится мультипликация, которая помогает обнаружить некорректные участки на сварных швах и линиях полости детали. Моделирование механообработки позволяет оценить качество детали с точки зрения усадки и деформации (коробления, перекоса, искривления).

CAM – Computer Aided Manufacturing (системы автоматизированной подготовки производства) – общий термин для обозначения программных систем подготовки информации для станков с числовым программным управлением. Например *Surfcam*, *ГемМА-3D*, *T-FLEX*, *Edgecam*, *Smartcam*, *Cimatron 9*, *Virtual Gibbs*, *CGtech Vericut*, *MASTERCAM*, *SMARTCAM*, *EDGECAM*, *SolidCAM* и др.

PDM – системы управления производственной информацией – инструментальное средство, которое помогает администраторам, конструкторам, инженерам, технологам и другим специалистам управлять как данными, так и процессами разработки изделия на современном производственном предприятии или в группе предприятий-смежников. Системы PDM следят за большими, постоянно обновляющимися массивами данных и инженерно-технической информацией, необходимыми на этапах проектирования, производства или строительства, а также поддержки эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий – «продуктов».

Системы PDM в этом плане отличаются от баз данных тем, что интегрируют информацию любых форматов и типов, поступающую от различных источников, предоставляя ее пользователям уже в структурированном виде, причем структуризация привязана к особенностям современного промышленного производства. Системы PDM отличаются и от интегрированных систем офисного документооборота, так как текстовые документы – далеко не самые «нужные» на производстве, куда важнее геометрические модели, данные для функционирования автоматических линий, станков с ЧПУ и т. п. Системы PDM обобщают такие широко известные технологии, как управление инженерными данными (engineering data management – EDM), управление документами, управление информацией об изделии (product information management – PIM), управление техническими данными (technical data management – TDM), управление технической информацией (technical information management – TIM), управление изображениями, и другие системы, которые используются для манипулирования информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие. Короче говоря, любая информация, необходимая на том или ином этапе жизненного цикла изделия, может управляться системой PDM, которая предоставляет корректные данные всем пользователям и всем промышленным информационным системам по мере надобности. Наряду с данными, PDM управляет и проектом – процессом разработки изделия, контролируя собственно информацию об изделии – «продукте», о состоянии объектов данных, об утверждении вносимых изменений, осуществляя авторизацию и другие операции, которые влияют на данные об изделии и режимы доступа к ним каждого конкретного пользователя.

Таким образом, речь идет о полном, централизованном и постоянном автоматизированном контроле за всей совокупностью данных, описывающих как само изделие, так и процессы его конструирования, производства, эксплуатации и утилизации.

Отечественные терминологические аналоги – КИС (корпоративная информационная система), АСУП (автоматизированная система управления предприятием), АСУТП – АСУ технологическим процессом.

Например: *R/3 (SAP AG)*, как частны *CAD – Pro/PDM (PTC)*, *IMAN (EDS)*, *Optegra (Computervision)*, *CDM (IBM)*, а также *BAAN IV (Baan)*, *MAN-MAN/X (Computer Associates)*, *Scala (Scala)*, *Platinum SQL (Platinum Software)*, *Sun Systems (Systems Union)*, *CA-PRMS (Computer Associates)*

Характеризуя современное состояние развития компьютерных систем для современного машиностроительного производства следует отметить следующие характерные тенденции:

1. Старый тезис интеграции всего цикла создания изделия от проектирования к анализу и подготовки производства постепенно получает реальное воплощение в программном обеспечении современных наиболее мощных интегрированных САД-систем (высшего уровня). Появилось значительно больше оснований называть их уже не САД-системами, а системами САД/САМ/САЕ и PDM.

Задачу интеграции поставила на первое место компания Parametric Technology (PTC), изначально сделав в своем продукте Pro/Engineer (1988 год) ставку на полную ассоциативность всех видов данных об изделии на

основе единой структуры базы (концепция «полного электронное определение изделия»).

Сегодняшний уровень, которому должны соответствовать системы автоматизации, можно определить, пользуясь терминологией компании Computer-vision (далее CV), как «Полное электронное описание объекта» (EPD – Electronic Product Definition). EPD – это технология, которая обеспечивает разработку и поддержку электронной информационной модели на протяжении всего жизненного цикла объекта, включая маркетинг, концептуальное и рабочее проектирование, технологическую подготовку, производство, эксплуатацию, ремонт и утилизацию.

Аналогичные подходы применяют и другие производители. двухмерное проектирование, как ранее базовое в конструкторских подразделениях, характерное для систем САД «начального» уровня, считается прошлым этапом, а чертеж рассматривается как производная от объемного (твердотельного) проектирования.

Твердотельная модель открывает уникальные возможности для подготовки производства: достигнуто пятикратное улучшение в точности обработки поверхностей и в четыре – шесть раз сокращено время программирования станков с ЧПУ. Повышение качества изделия требует создания высокоточных траекторий инструментов, а для этого нужно генерировать гораздо большие объемы данных, поскольку режущему инструменту при этом необходимо сделать намного больше проходов по каждой траектории. Чтобы создать программу для ЧПУ при изготовлении типовой головки блока цилиндров, требуется работа 3-4 специалистов в течение, примерно, пяти месяцев, при этом генерируется около миллиона точек. Автоматическая генерация из твердотельной модели с помощью, например, CV Toolmaker выполняется за полчаса, учитывается два с половиной миллиона точек и достигается высота гребешков менее 0.0001 дюйма при промышленном стандарте в 0.0005 дюйма.

Типичный для сегодняшнего высокотехнологического производства проект чаще всего охватывает «расширенное предприятие», в котором сотрудничают разработчики, поставщики, производители и заказчики. Поскольку многие из участников проекта и поставщики могут находиться в разных странах, становится понятно, что для обеспечения такой деятельности кроме ПК и локальной сети требуются мощные сетевые серверы, высокопроизводительные графические рабочие станции и глобальная сеть Internet.

Концепция «полного электронного определение изделия» в настоящее время развилась до концепции *Total Product Modelling* (общая модель изделия) – новейшей методика интеграции данных, наиболее полно соответствующей идеям и целям PDM, когда захватываются все данные об изделии со всех участков от конструкторских бюро до маркетинговых служб для построения полного, всестороннего описания как самого изделия (геометрические цифровые трехмерные твердотельные модели САПР, конечно-элементные модели для аналитических расчетов), так и технологических приемов его производства, особенностей его функционирования, режимов применения и т. п. Пока такой подход к интеграции данных реализован только в САПР CATIA (IBM/Dassault) – «*Virtual Product Modelling*», Optegra/CADDS5 (Computer-vision) – «*Electronic Product Definition*» и EDS/Unigraphics.

Другими характерными возможностями таких систем стали:

- *Полная параметризация всех моделей*, впервые примененная компанией PTC в 1989 г. (Pro/Engineer), что очень существенно при итеративном характере работы при проектировании. Давно замечено, что наибольший объем работ – это не само проектирование, а внесение изменений и исправление связанных с этими изменениями ошибок. Процесс параметрического моделирования можно описать следующим образом: в ходе построения система накапливает конструкционные параметры и соотношения между ними, а также формирует протокол (историю) создания геометрии, позволяя простым изменением параметров легко модифицировать и регенерировать модель.
- *Большие сборки*. Сейчас возможна работа со сборками из тысяч и десятков тысяч деталей. По мере того как пользователи САД двигались к параллельному проектированию, когда команды технологов и проектировщиков стали работать совместно, сознание сместилось в сторону сборочно-центричной и продукто-центричной концепции. Если путем компьютерного моделирования сборки проектировщик может зафиксировать нестыковку, он сэкономит на стоимости изготовления физического прототипа. Сегодня многие поставщики САД-систем старшего класса выпустили средства, поддерживающие одновременный доступ пользователей к деталям и сборкам.
- *Возможность быстрой визуализации сложных объектов иборок*. Большинство средств моделированияборок используют стратегии упрощения для того, чтобы справиться с проблемой большого объема данных. Первая стратегия позволяет загружать только ту часть сборки, которая потребителю нужна для работы. Вторая стратегия упрощенияборок дает возможность показать вид с меньшим числом деталей для некоторых компонентов. Третья стратегия использует сеточное представление геометрии деталей, а не их точное математическое представление, что требует значительно меньше времени и ресурсов.
- *Гибридное моделирование (CADDS 5, UG/Solid Modelling, Euclid, CATIA)* позволяет сочетать каркасную, поверхностную, твердотельную геометрию и использовать комбинации жестко размерного (с явным заданием геометрии) и параметрического моделирования.

2. С другой стороны, одной из главных тенденций современного рынка САПР является активное развитие доли **средних систем автоматизации**, ориентированных на младшие, недорогие модели рабочих станций Unix и платформы Windows 95/NT. Это SolidWorks (SolidWorks Inc.), SolidEdge (Intergraph), Cimatron (Bee-pitron). Фирмы разработчики «тяжелых» САПР спешно выпускают САПР среднего уровня, работающие независимо и/или совместно с САПР третьего уровня: Unigraphics – Solid Edge или SolidWorks; Pro/Engineer – PT/Modeler; EUCLID 4 – PRELUDE DESIGN; Anvil 5000 – Anvil Express; I-DEAS Master Series – I-DEAS Artisan Series.

Следствием этой тенденции стало осознание большинством пользователей того факта, что системы

младшего класса хороши только для решения определенного круга проблем и малоэффективны с точки зрения средних и крупных компаний, деятельность которых далеко выходит за рамки черчения, пусть даже и с расширенными возможностями трехмерного моделирования. Тяжелые требуют мощного оборудования и сами по себе достаточно дороги. По оценкам экспертов, системы среднего класса могут покрыть до 80% типичных машиностроительных задач.

Этому способствует также процесс стремительно-го роста мощности относительно недорогих персональных компьютеров (ПЭВМ, ПК, РС), физические возможности которых на сегодня сравнялись с рабочими станциями 2-3-х летней давности и продолжают расти. Так, в соответствии с известным законом Мура, производительность процессоров ПК удваивается каждые 1,5-2 года. Емкость жестких дисков растет примерно в 1,5 раза за тот же период времени. Именно ПЭВМ обладают высокой универсальностью и наилучшим соотношением цена/производительность.

ОС UNIX «сдает» свои позиции как среда, в которой функционируют серьезные CAD/CAM системы. Системы CAD/CAM средней мощности, которые 2 года назад работали только под ОС UNIX на рабочих станциях (стоимостью от 20 тыс.\$) работают под WINTTEL (SolidEdge, SolidWorks). Этому также способствует факт широкого распространения базовых программных решений фирмы Microsoft, в том числе для сетевой работы (особенно Windows NT), позволяющие связывать различные группы проектировщиков, что ранее было возможно лишь на платформе UNIX.

Увеличивается интеграция функций из CAD в базовые операционные системы, что естественным образом способствует стандартизации этих функций. Наиболее известный пример – планы включения OpenGL в Windows. Уже сейчас OpenGL – самый легкий и универсальный метод рендеринга объектов CAD.

3. Обоснована стратегия создания «многоуровневых комплексов», включающих пары твердотельных CAD/CAM тяжелого и среднего уровня (с единым геометрическим ядром) и CAD начального уровня. При этом вся система подобна пирамиде, где в основании – большое число легких CAD (для доработки чертежной документации), а в вершине – одно или несколько рабочих мест на базе «тяжелых» систем.

4. Развиваются программы конверторы наиболее распространенных форматов трехмерных геометрических данных, но полной совместимости форматов пока нет и возможно не будет из-за разницы в наборе геометрических функций. Поэтому от выбора геометрического ядра (при выборе CAD) системы будет надолго зависеть возможность применения тех или иных САМ/САЕ/СІМ/PDF систем). Поэтому также важной характеристикой САПРа следует считать разнообразие форматов экспорта и импорта информации.

Ядром всех современных САПР является модуль геометрического моделирования, который дает возможность построить корректное описание проектируемого продукта, что является базой для всех остальных задач, решаемых в рамках системы. Современная САПР обязана иметь возможность моделировать геометрию твердого тела методом Вер. Метод получил название от сокращения термина Boundary Representation – описание тела с помощью представления границ или точного анали-

тического задания граней, ограничивающих тела. Это единственный метод, позволяющий создать точное, а не приблизительное представление геометрии тела. Сегодня трудно встретить систему, которая бы не имела или не декларировала бы наличие методов твердотельного моделирования. Однако функциональные возможности методов построения твердого тела в двух системах могут сильно отличаться друг от друга. Следует обращать внимание на функциональную полноту, возможность решать топологические сложные задачи: перекрывающиеся скругления переменного радиуса, построение тонкостенного тела с изменением топологии, взаимосвязь методов построения поверхностей и твердого тела, возможность параметризации и изменения модели.

Достижением современного периода можно считать методы построения поверхностей произвольной формы на основе B-сплайнов – NURBS, ставшие стандартом де-факто для проектирования сложных поверхностей.

5. Если раньше компьютерные и информационные технологии развивались по пути постепенного наращивания мощностей и решения задач локальной автоматизации (что приводит к накоплению баз данных и подготовке кадров, но и к разнородным плохо совместимым комплексам), то сейчас резкий рывок в области современных информационных технологий достигается с помощью создания корпоративных интегрированных информационных систем управления предприятием (PDF), которая включает помимо CAD/CAM/CAE еще и:

- автоматизированную подсистему технической подготовки производства;
- подсистему информационного управления материально-техническим снабжением и складами, планированием и диспетчированием производственных процессов;
- подсистему автоматизации финансово-экономической деятельности и бухгалтерского учета, оперативной подготовки данных для анализа, стратегического прогнозирования и принятия оптимальных управляющих решений;
- подсистема документооборота и электронного архива

Популярной архитектурой является «клиент-сервер», где ОС сервера – «UNIX», клиента – «Windows NT», основная СУБД – «Oracle».

6. Процесс создания сложного изделия характеризуется интенсивным обменом результатами работы между организациями, подразделениями организации и конкретными исполнителями, участвующими в разработке. При этом взаимодействие происходит на всех этапах «жизненного цикла» продукта и охватывает фазы производства и эксплуатации. Эффективная работа такого конгломерата («виртуального предприятия») обеспечивается применением CALS технологий.

CALS Continuous Acquisition and Life-Cycle Support (непрерывная информационная поддержка жизненного цикла изделия или продукта) – протокол цифровой передачи данных, разработанный Министерством обороны США в связи с необходимостью повышения эффективности управления и сокращения затрат на информационное взаимодействие в процессах заказа, поставок и эксплуатации средств вооружения и военной техники (ВВТ). Движущей силой явилась естественная потребность в организации «единого информационного пространства», обеспечивающего оперативный обмен

данными между заказчиком – федеральными органами, производителями и потребителями ВВТ. Данная концепция изначально базировалась на идеологии «жизненного цикла» продукта и охватывала фазы производства и эксплуатации. На первоначальном этапе аббревиатура **CALS** расшифровывалась как **Computer Aided Logistic Support** – компьютерная поддержка поставок.

Предметом CALS являлась безбумажная технология взаимодействия между организациями заказывающими, производящими и эксплуатирующими военную технику, а также формат представления соответствующих данных. Доказав свою эффективность CALS-технологии перестали быть прерогативой военного ведомства и начали активно применяться в промышленности, строительстве, транспорте и других отраслях экономики, расширяясь и охватывая все этапы жизненного цикла продукта – от маркетинга до утилизации.

На сегодня CALS обеспечивает стандартные механизмы доставки цифровых данных и текущего инжиниринга для спонсируемых Министерством обороны разработок. CALS использует стандарты IGES и STEP в качестве форматов данных. В CALS входят также стандарты электронного обмена данными, электронной технической документации и руководства для усовершенствования процессов.

По своей сути сегодня **CALS** является глобальной стратегией повышения эффективности бизнес-процессов, выполняемых в ходе жизненного цикла продукта за счет информационной интеграции и преемственности информации, порождаемой на всех этапах жизненного цикла. Средствами реализации данной стратегии являются CALS-технологии, в основе которых лежит набор интегрированных информационных моделей – самого жизненного цикла и выполняемых в его ходе бизнес-процессов, продукта (изделия), производственной и эксплуатационной среды и пр. Возможность совместного использования информации обеспечивается применением компьютерных сетей и стандартизацией форматов данных, обеспечивающей их корректную интерпретацию.

Идеальной основой для решения поставленной задачи является использование единой интегрированной модели продукта и его жизненного цикла, описывающей объект настолько полно, что выступает в роли единого источника информации для любых выполняемых в ходе жизненного цикла процессов.

В отличие от концепции ИАСУ (интегрированная система управления производством) концепция CALS охватывает не только производство, но и все остальные этапы жизненного цикла, но не касается технологии решения прикладных задач (проектирования, планирования и т.д.).

Предметом CALS-технологий является формат представления в электронном виде результатов решения прикладных задач, независимо от источников их происхождения, безопасность этой электронной информации и юридические вопросы ее совместного использования.

Очевидно, что решение указанных проблем возможно только за счет стандартизации способов представления, интерпретации и использования информации. Поэтому вопрос международной и национальной стандартизации форматов моделей и данных, используемых в процессах разработки, комплектации, производства, модернизации, сбыта, эксплуатации, сервисного обслу-

живания и утилизации являются важной составной частью CALS.

Во многих развитых странах CALS рассматривается как стратегия выживания в рыночной среде, позволяющая:

- *расширить области деятельности предприятий (рынков сбыта)* за счет кооперации с другими предприятиями, обеспечиваемой стандартизацией представления информации на разных стадиях и этапах жизненного цикла. Использование современных телекоммуникаций делает не принципиальным географическое положение и национальную принадлежность партнеров. Новые возможности информационного взаимодействия позволяют строить кооперацию в форме «виртуальных» предприятий, действующих в течение хода ЖЦ. Становится возможной кооперация не только на уровне готовых компонентов, но и на уровне отдельных этапов и задач: в процессах проектирования, производства и эксплуатации;
- *повысить эффективности бизнес-процессов*, выполняемых в течение жизненного цикла продукта; за счет информационной интеграции и сокращения затрат на бумажный документооборот, повторный ввод и обработку информации, обеспечить преемственность результатов работы в комплексных проектах и возможность изменения состава участников без потери уже достигнутых результатов;
- *повысить «прозрачность» и управляемость бизнес-процессов путем их реинжиниринга*, на основе интегрированных моделей жизненного цикла и выполняемых бизнес-процессов, сократить затраты в бизнес-процессах за счет лучшей сбалансированности звеньев;
- *повысить привлекательность и конкурентоспособность изделий*, спроектированных и произведенных в интегрированной среде с использованием современных компьютерных технологий и имеющих средства информационной поддержки на этапе эксплуатации;
- *обеспечить заданное качество продукции* в интегрированной системе поддержки жизненного цикла путем электронного документирования всех выполняемых процессов и процедур.

Первым шагом к повышению эффективности организационной структуры, поддерживающей одну или несколько фаз жизненного цикла продукта, является моделирование и анализ ее функционирования. Парадоксальным является тот факт, что, как правило, никто не представляет себе детально как функционирует та или иная организационная система. Специалисты в деталях знают как работает конкретное подразделение, высшее руководство не может вдаваться в подробности, поэтому почти в любой системе есть неиспользуемые резервы повышения эффективности ее работы. Цель бизнес-анализа – выявить существующее взаимодействие между составными частями и оценить его рациональность и эффективность. Для этой цели с использованием CALS-технологий разрабатываются функциональные модели, содержащие детальное описание выполняющихся процессов в их взаимосвязи. Формат описания регламентирован стандартами IDEF/0 и ISO 10303 AP208. Полученная функциональная модель не только является детальным описанием выполняющихся процессов,

но также позволяет решать целый ряд задач связанных с оптимизацией, оценкой величины и распределения затрат, оценкой функциональной производительности, загрузки и сбалансированности составных частей, т.е. вопросов анализа и реинжиниринга бизнес-процессов (Business Process Reengineering – BPR).

Совместное, кооперативное проектирование и производство изделия, может быть эффективным в случае, если оно базируется на основе единой информационной модели изделия. Такая задача актуальна не только для устойчиво существующих производственных структур, но и для структур, временно создаваемых для реализации наукоемких проектов и выполнения крупных заказов, включающих в себя НИИ, КБ, основных подрядчиков, субподрядчиков, поставщиков и т.д., географически удаленных друг от друга, использующих несовместимые компьютерные платформы и программные решения. Длительность жизни такой структуры определяется временем выполнения заказа или жизненного цикла создаваемого продукта (корабля, самолета, космической станции).

В терминах CALS такая структура называется **виртуальным предприятием**. Виртуальное предприятие не является юридическим лицом, но характеризуется общим «информационным пространством», обеспечивающим, при условии соблюдения соответствующих стандартов, совместное использование информации.

Разрабатываемая на данной фазе конструкторско-технологическая информационная модель базируется на использовании стандарта **ISO 10303 STEP**. Созданная однажды, модель изделия используется многократно. В нее вносятся дополнения и изменения, она служит отправной точкой при модернизации изделия. Соблюдение стандарта обеспечивает корректную интерпретацию хранимой информации.

Использование стандартного способа представления конструкторско-технологических данных позволяет решить проблему обмена информацией между различными подразделениями предприятия, а также участниками кооперации, оснащенными разнородными системами проектирования. Стандартизация формата данных обеспечивает возможность оперативной передачи функций одного подрядчика другому, который, в свою очередь, имеет возможность воспользоваться результатами уже проделанной работы. Такая возможность особенно важна для изделий, имеющих длительный жизненный цикл, когда необходимо обеспечить преемственность информационной поддержки продукта, независимо от складывающейся рыночной или политической ситуации.

подавляющее большинство современных систем автоматизированного проектирования (Unigraphics, CADDs, Euclid, ProEngineer и др.) поддерживают работу с данными в формате STEP, кроме того существует целый ряд коммерческих программных продуктов, обеспечивающих преобразование данных из различных форматов данных в формат STEP, что создает объективные предпосылки для построения интегрированных информационных систем.

Традиционное бумажное документирование сложных изделий в виде сотен томов требует огромных затрат



Рисунок 1. Структура взаимодействия между компьютерными системами на различных этапах жизненного цикла изделия

на поддержку архивов, корректировку документации, а также снижает эксплуатационную привлекательность и конкурентоспособность изделия, а сегодня даже уже затрудняет выход на международный рынок. Решение проблемы заключается в переводе эксплуатационной документации на изделие, поставляемой потребителю, в электронный вид. При этом комплект электронной эксплуатационной документации следует рассматривать как составную часть единой интегрированной информационной модели изделия. В целом структуру взаимодействия между компьютерными системами на различных этапах жизненного цикла изделия можно условно представить схемой, приводимой на рисунке

Электронная документация может поставляться на электронных носителях, таких как компакт-диски (CD-ROM) или размещаться в сети Интернет, где она доступна из любой точки мира.

Эксплуатационная документация может содержать в себе информацию различного типа, для представления которых используются соответствующие стандарты CALS: **ISO 8879 (SGML)**, **ISO 10744 (HyTime)** и **MIL-PRF-28001C** – для текстовой и мультимедийной информации, **MIL-PRF-28000A**, **MIL-PRF-28002C**, **MIL-PRF-28003A** – для векторных и растровых графических иллюстраций.

Стандарты **MIL-PRF-87268** и **MIL-PRF-87269** определяют стиль, формат и технологию создания электронных справочников по изделиям. Применение стандартов гарантирует возможность использования такой электронной документации на любых компьютерных платформах.