

# КОНСТРУКТОР

## МАШИНОСТРОИТЕЛЬ

ИНФОРМАЦИОННО - АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ОТ ИДЕИ ДО МОДЕЛИ...**  
За три недели! В России

**КТО ЕСТЬ КТО В МИРЕ  
ПРОТОТИПИРОВАНИЯ?**  
Обзор рынка

**ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ**  
Эффективные методы

**СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ РАЗЪЕМЫ**  
Альтернативный выбор

ДЕКАБРЬ 2005

**Боровков А.И., проф., к.т.н.**  
 зав. лаб. «Вычислительная механика» (CompMechLab)  
 СПбПУ

# PLM-ТЕХНОЛОГИИ, КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ И ГЛОБАЛЬНЫЙ АУТСОРСИНГ

## PLM, CAE and Global Outsourcing

*This is the first article in a series of professor Borovkov (the chief of laboratory «CompMechLab», Saint-Petersburg State Polytechnical University) publications in our magazine. The author consecrates their transactions to actual problems of global outsourcing and Computer-Aided Engineering (CAE) in field of Product Lifecycle Management (PLM).*

### Часть 1. Современное состояние, тенденции и перспективы развития

По прогнозам компании Gartner, в следующем, 2006 году, PLM-технологии (Product Lifecycle Management – управление информацией об изделии на протяжении его жизненного цикла, англ.) станут основой глобальной стратегии развития для 70% промышленных предприятий.

Проблемы организации командной работы над проектами и управления информацией об изделии на протяжении его жизненного цикла стали привлекать к себе внимание, начиная с 80-х годов прошлого столетия. Для их решения предлагались различные подходы: Министерство обороны США, например, выдвигало методику автоматизированной поддержки принятия решений по приобретению изделий и материально-техническому обеспечению (Computer-Aided Acquisition and Logistics Support, CALS), а корпорация IBM сформулировала концепцию компьютерного интегрированного производства (Computer Integrated Manufacturing, CIM). Возможно, эти инициативы и опередили свое время, но в силу ряда причин они не получили широкого распространения и не вызвали особого энтузиазма у пользователей.

Сегодня для разработки разнообразной продукции промышленные предприятия широко используют следующие компьютерные технологии – программные средства автоматизации:

- CAD-системы (Computer-Aided Design, CAD) – системы автоматизированного проектирования (САПР), которые по мере развития САД-технологий прошли путь от простой электронной чертежной доски до систем двухмерного (2D), а затем и трехмерного (3D) параметрического моделирования;
- САМ-системы (Computer-Aided Manufacturing, CAM) – системы технологической подготовки производства, в первую очередь, станков с ЧПУ;
- САЕ-системы (Computer-Aided Engineering, CAE) – системы автоматизации инженерных расчетов, составляющие основу технологий компьютерного инжиниринга – наиболее наукоемкой составляющей PLM-технологий, так как именно эти программные системы предназначены для эффективного решения сложных нестационарных нелинейных пространственных задач, описываемых системами нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных, для решения

которых применяются, как правило, разнообразные варианты метода конечных элементов (МКЭ; Finite Element Analysis, FEA);

- PDM-системы (Product Data Management, PDM) – системы управления данными об изделии, иногда называемые системами для коллективной работы с инженерными данными (Collaborative PDM, cPDM).

Среди многообразия САД/САМ-систем, наиболее широко представленных на рынке, выделим:

- «тяжелые системы» (CATIA, Unigraphics NX, PRO/Engineer), появившиеся в 1980-х гг. и обладающие широкими функциональными возможностями и высокой производительностью; несмотря на то, что «тяжелые» системы являются дорогостоящими программными продуктами, затраты на их приобретение окупаются, особенно если речь идет о сложном производстве, например, о машиностроении, авиационной и аэрокосмической промышленности, судостроении, электро- и энергомашиностроении;
- «средние системы» (SolidWorks, SolidEdge, Inventor Mechanical Desktop, Power Solutions, Cimatron, think3 и др.), в которых, начиная с их возникновения в середине 1990-х гг.,

были объединены возможности 3D-твердотельного моделирования, невысокая по сравнению с «тяжелыми» системами цена и ориентация на платформу Windows. Эти CAD-системы произвели настоящий переворот в мире САПР, позволив многим конструкторским и проектным организациям перейти с двумерного на трехмерное моделирование. Среди отечественных CAD/CAM-систем отметим, в первую очередь, КОМПАС, T-Flex, ADEM;

– «легкие системы», которые являются самыми распространенными продуктами автоматизации проектирования; среди их множества, прежде всего, следует назвать AutoCAD.

Изображения, приведенные ниже, демонстрируют возможности CAD-систем по созданию моделей, используемых в дальнейшем для инженерного анализа. На Рис. 1 представлена 3D CAD-модель 70-метрового радиотелескопа РТ-70, сооруженного в рамках международных соглашений на плато Суффа в Узбекистане. Рис. 2 дает представление о 3D CAD-модели корпусов компрессора, камеры сгорания и турбины газотурбинной установки. Рис. 3 изображает 3D CAD-модель высокоскоростной планетарной мельницы, используемой в медицинской, фармацевтической и пищевой промышленности. На Рис. 4 показана 3D CAD-модель компрессорных установок и обвязывающих трубопроводов – системы «компрессоры-трубопроводы-опоры-сепараторы». На Рис. 5 представлена 3D CAD-модель стального каната (троса) специального назначения.

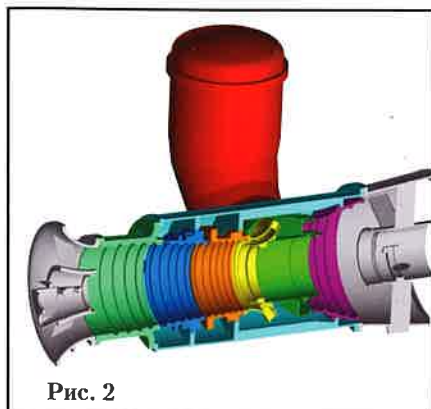


Рис. 2

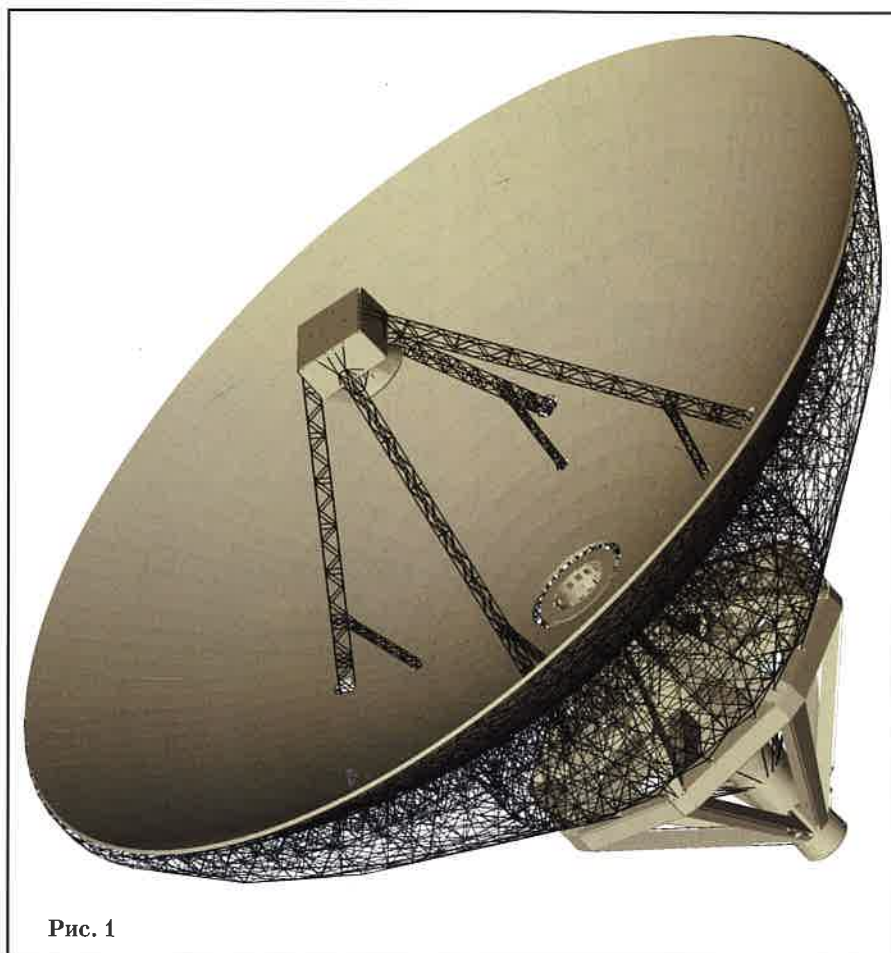


Рис. 1

В области компьютерного инжиниринга и виртуального моделирования проблем механики деформируемого твердого тела и механики конструкций безусловными лидерами являются такие CAE-технологии – программные системы конечно-элементного анализа, как MSC.Software, ANSYS, ABAQUS, LS-DYNA, а для решения задач механики жидкости и газа (Computational Fluid Dynamics, CFD) наиболее широкими возможностями обладают программные системы Fluent, STAR-CD и ANSYS/CFX. Отметим, что все иллюстрации, приведенные в статье, получены сотрудниками лаборатории «Вычислительная механика» (CompMechLab) Санкт-Петербургского государственного политехнического университета в процессе выполнения CAD/CAE-работ по заказам ведущих российских и зарубежных (США, Япония, Германия, Корея, Италия, Канада, Китай и др.) промышленных предприятий.

На Рис. 6 представлена 3D конечно-элементная (КЭ) модель корпусов компрессора, камеры сгорания и турбины газотурбинной установки, предназначенная для исследования 3D-стационарных и нестационарных полей температур и 3D-термонапряженного состояния корпусов компрессора, камеры сгорания и турбины с учетом контактных взаимодействий в горизонтальных и вертикальных фланцевых соединениях. На Рис. 7

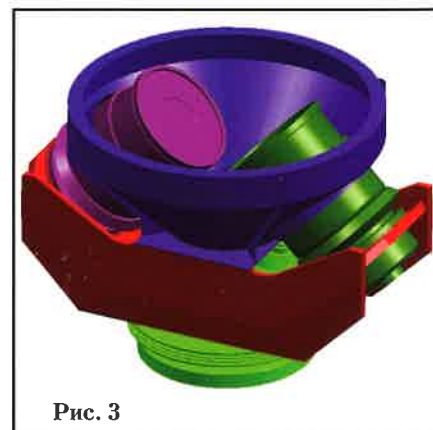


Рис. 3

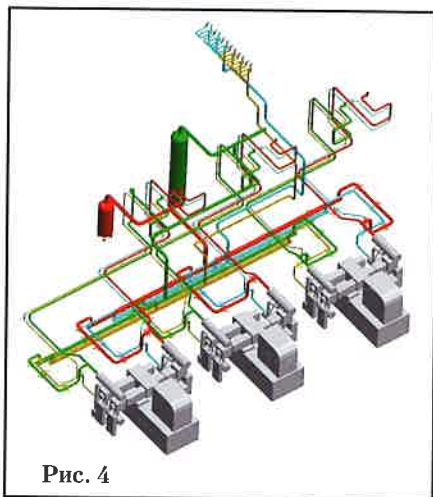


Рис. 4

изображена 3D КЭ модель компрессорных установок и обвязывающих трубопроводов – комплекса «компрессоры-трубопроводы-опоры-сепараторы», применяемая для детального вибрационного анализа сложной механической системы.

Кроме применения CAD/CAM/CAE/PDM-систем, начиная с 90-х годов прошлого века, в промышленности используются ERP-системы (Enterprise Resources Planning, ERP) – системы планирования и управления ресурсами предприятия. В начале нынешнего столетия самое серьезное внимание было обращено на системы управления цепочкой поставок и взаимоотношениями с поставщиками – SCM-системы (Supply Chain Management, SCM) и системы управления взаимоотношениями с заказчиками – CRM-системы (Customer Relationship Management, CRM).

В конце минувшего тысячелетия все та же IBM разработала новую концепцию – PLM, которой повезло значительно больше, чем CALS- и CIM-технологиям, и спрос на PLM-продукты стал расти даже в условиях спада мировой экономики.

Основное назначение PLM-технологий – объединение и эффективное взаимодействие изолированных участков автоматизации, образовавшихся в результате внедрения различных систем (CAD/CAM, CAE, PDM, ERP, SCM и CRM) в рамках единого информационного пространства, а также реализация

сквозного конструкторского, технологического и коммерческого циклов производства продукции – «от зарождения идеи, создания продукта, его эксплуатации и, наконец, до его утилизации».

Принципиально важно понимать, что основу PLM-технологий составляют CAD/CAM-, CAE- и PDM-технологии, благодаря совместному использованию которых традиционный последовательный подход к разработке новых изделий заменен современным интегрированным подходом. Он обеспечивает одновременное компьютерное проектирование изделия с помощью CAD-системы, выполнение многовариантных инженерных CAE-расчетов (компьютерный инжиниринг) и технологическую подготовку производства с помощью CAM-системы на основе совместного использования проектных данных, начиная с самых ранних стадий проектирования и инженерного анализа, одновременно различными группами специалистов с помощью PDM-системы.

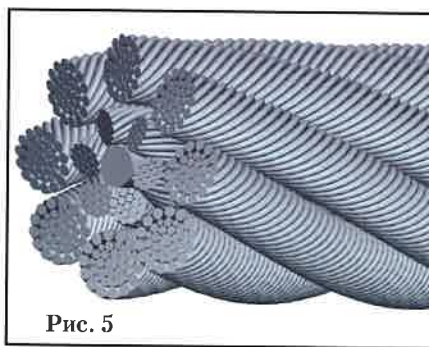


Рис. 5

Отметим, что в рамках единого информационного пространства PLM-технологии объединяют усилия различных специалистов (конструкторов, инженеров-расчетчиков, технологов, менеджеров проектов и др.) для своевременного достижения поставленных целей. PLM-технологии интегрируют процессы, бизнес-системы и разнообразные потоки информации об изделии, что позволяет компаниям более эффективно использовать интеллектуальное богатство, накопленное за годы проектирования и производства

продукции, а также позволяет промышленным предприятиям:

- многократно использовать проектные данные и снизить затраты благодаря полной интеграции инженерного документооборота;
- сократить затраты и значительно ускорить выпуск новой продукции за счет замены большого числа дорогостоящих натуральных экспериментов компьютерным моделированием, т.е. широким и всеобъемлющим применением CAE-систем;
- расширить возможности оптимизации изделий на основе применения CAE-технологий и тем самым повысить качество продукции.

Именно эти достоинства и объясняют популярность PLM-технологий, которые в условиях глобализации и жесточайшей конкуренции уже не просто обеспечивают выгодные преимущества, но и являются необходимым условием для выживания компании.

В настоящее время PLM-технологии формируют информационно-электронный образ наукоемких изделий практически любого уровня сложности (например, космические аппараты и самолёты, корабли и подводные лодки, радиотелескопы, ядерные реакторы, турбины и турбогенераторы, компрессоры, нефтяные и газовые трубопроводы и т.д.) и процессов их производства, причем как для компании в целом, так и для ее отдельных подразделений, а также для партнеров, которые могут быть значительно удалены территориально друг от друга.

Высокий темп в области внедрения PLM-технологий задают мировые лидеры разработки и производства продукции как гражданского, так и военного назначения: BAE Systems, BMW, Boeing, Daimler/Chrysler, EADS, Exxon, Ford Motor Company, General Dynamics, General Electric, General Motors, Hitachi, Honda, LG Electronics, Lockheed Martin, Mitsubishi, NASA, Nissan, Northrop Grumman, Raytheon, Samsung, Schlumberger, Siemens, Shell, Toyota, Volkswagen-Audi и т.д.

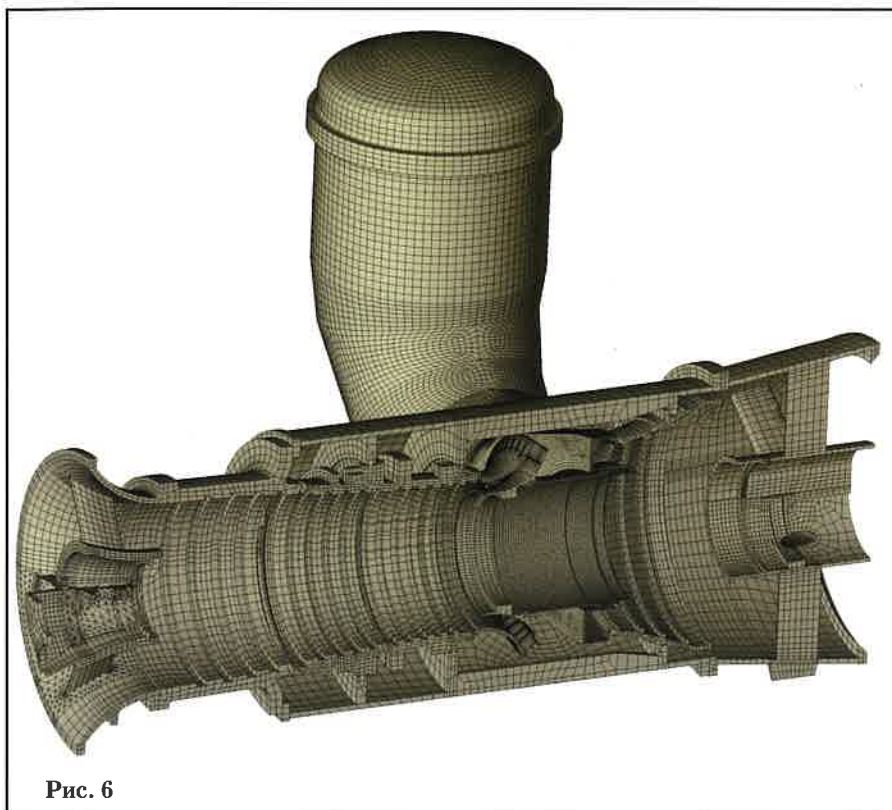


Рис. 6

Приведем некоторые наиболее впечатляющие примеры успешного применения PLM-технологий в автомобильной промышленности, где наиболее высок уровень конкуренции:

- корпорация General Motors сократила время проектирования новой модели автомобиля с 48 до 18 месяцев, т.е. почти в 3 раза;
- концерн BMW ускорил на 80% процесс внесения изменений в конструкцию автомобиля и значительно увеличил объёмы компьютерного моделирования с целью проверки изделий до их запуска в производство;
- Toyota для новой модели Toyota Camry за счет интенсивных многомодельных и многовариантных вычислительных экспериментов сократила сроки разработки до 10 месяцев, при этом уменьшив затраты на 30% и сократив количество опытных образцов на 65%.

Так, по оценкам организации OSAT (Office for the Study of Automotive Transportation), занимающейся исследованиями тенденций развития автомобильной промышленности, применение

PLM-технологий, в первую очередь, компьютерных технологий виртуальной разработки изделий (Virtual Product Development, VPD) на основе разнообразных и взаимодополняющих CAE-систем, разрабатываемых фирмой MSC Software, вместо дорогостоящих натуральных экспериментов, позволит повысить качество новых моделей на 30%, снизить затраты на 20% и сократить цикл разработки на 30%. Тем же целям служат и ANSYS-технологии, разрабатываемые наиболее динамично развивающейся в последние годы фирмой ANSYS Inc.

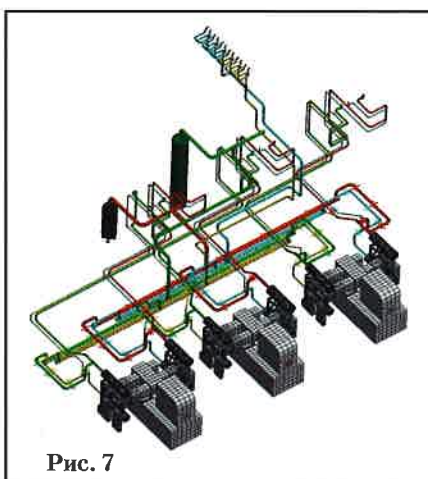


Рис. 7

#### Использованные источники

[1] Боровков А.И., Пальмов В.А., Рудской А.И., Генерация знаний, развитие и коммерциализация наукоемких компьютерных технологий в рамках глобальных тенденций и приоритетных направлений развития науки и техники // Материалы IX Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах», СПб.: Изд. СПбГПУ, 2005, с. 9-18.

[2] Боровков А.И., Пальмов В.А., Высокие интеллектуальные технологии компьютерного инжиниринга в образовании, науке и промышленности // Материалы XI Межд. научно-метод. конф. «Высокие интеллектуальные технологии и качество образования и науки». СПб.: Изд. СПбГПУ, 2004, с. 33-48.

[3] Боровков А.И., Конечно-элементная механика и компьютерный инжиниринг. Опыт применения наукоемких компьютерных технологий в образовании, научных исследованиях и промышленности // Материалы межвуз. конф. «Практика применения научного программного обеспечения в образовании и научных исследованиях», СПб.: Изд. СПбГПУ, 2003, с. 24-33.

[5] Данные аналитической компании Daratech (<http://www.daratech.com>).

[6] Данные аналитической компании AMR Research (<http://www.amrresearch.com>).

[7] Данные аналитической компании CIMdata (<http://www.cimdata.com>).

[8] Данные аналитической компании IDC (<http://www.idc.com>).

[9] Данные аналитической компании Gartner (<http://www.gartner.com>).

[10] Данные аналитической компании Office for the Study of Automotive Transportation (<http://www.osat.umich.edu>).

[10] Данные еженедельника PCWeek (<http://www.pcweek.ru>).

[11] Информация сайта журнала CAD/CAM/CAE Observer (<http://www.cadcamcae.lv>).