Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации
на долгосрочную перспективу

Компьютерный инжиниринг

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки магистров "Прикладная механика"
и направлению подготовки магистров "Инноватика"*

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2012

ББК 32.973я73
К63

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор СПбГПУ *П. И. Романов*

Доктор технических наук, профессор СПбГПУ *О. В. Колосова*

Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор *Ю. Я. Болдырев*

Авторы:

А. И. Боровков, С. Ф. Бурдаков, О. И. Клявин, М. П. Мельникова, А. А. Михайлов, А. С. Немов, В. А. Пальмов, Е. Н. Силина

Компьютерный инжиниринг : учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 93 с.

Учебное пособие раскрывает сущность наукоемких технологий компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE) как одной из центральных и самых наукоемких технологий современной промышленности, обеспечивающих конкурентоспособность продукции нового поколения. Описаны основные тенденции и подходы современного компьютерного ижиниринга, представлены этапы развития ключевых групп технологий и степень их внедрения в промышленность в мире и в России. Впервые в литературе описана эволюция развития основной парадигмы современной промышленности: от общепризнанной концепции “Simulation-Based Design” (“проектирование на основе компьютерного инжиниринга”) до уникальной надотраслевой “технологической цепочки будущего” — SuperComputer (SmartMat*Mech)*(Multi^3) Simulation and Optimization Based Product Development, Digital Mock-Up & Digital Manufacturing (“цифровое производство” как центральная часть “умной производственной среды”). Впервые введены понятия “мультидисциплинарные & многомасштабные & многостадийные исследования” (“MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage”) и “надотраслевые технологии”, являющиеся неотъемлемыми чертами описанной в работе инновационной M^3-концепции “MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage & MultiTechnology (MultiCAD & MultiCAE)” на основе зарегистрированного ноу-хау “M^3-Метод комплексирования и применения мультидисциплинарных, многоуровневых и многостадийных надотраслевых суперкомпьютерных технологий для решения сложных задач промышленности, энергетики, транспорта, строительства и связи”, авторами которого являются авторы учебного пособия — сотрудники ФГБОУ ВПО “СПбГПУ”. При написании учебного пособия широко использован многолетний успешный опыт реализации магистерской программы на кафедре “Механика и процессы управления” физико-механического факультета НИУ СПбГПУ в рамках деятельности учебно-научно-инновационной лаборатории “Вычислительная механика” (CompMechLab®) и учебно-научно-инновационного Центра наукоемких компьютерных технологий (CAD/FEA/CFD/CAE Centre of Excellence).

Издание подготовлено в рамках проекта “Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу”. Инициатор проекта — Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Печатается по решению Совета по издательской деятельности Ученого совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Группа подготовки издания:
Руководитель проекта: В. Н. Княгинин
Руководитель рабочей группы: М. С. Липецкая
Дизайн: Фонд “Центр стратегических разработок “Северо-Запад”
Компьютерная верстка: М. П. Мельникова
Технический редактор, корректор: Е. Н. Силина

ISBN 978-5-7422-3766-2

Оглавление

О проекте

Настоящее издание подготовлено в рамках «Промышленного и технологического форсайта Российской Федерации» – проекта, инициированного Министерством промышленности и торговли Российской Федерации и выполненного экспертной группой под руководством Фонда «Центр стратегических разработок «Северо-Запад».

Основной целью работы стало получение долгосрочных прогнозов развития мирового производственного сектора и технологических рынков в сценарной форме, а также фиксация целевых позиций российских игроков по отношению к выявленным сценариям и составление «дорожных карт» достижения лидерства на приоритетных технологических рынках Российской Федерации.

Осуществление промышленного и технологического форсайта позволило определить перспективные ниши на рынках продуктов и технологий, направления государственной политики по развитию и регулированию технологического роста промышленности, направления научно-технологической политики в промышленности и смежных секторах. Результаты проекта могут стимулировать принятие целого ряда стратегических решений федерального уровня, лечь в основу разработки планов и нормативных документов как Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, так и других ведомств, а также создать базу для координации действий/политик государства и бизнеса, подтолкнуть к запуску новый комплекс проектов развития промышленных технологий.

Важная черта реализованного проекта – вовлечение широкого круга участников, как экспертов, так и практиков управления. В нашей работе приняли участие представители крупнейших производственных компании более чем десяти базовых секторов, ведущих исследовательских институтов, институты развития. Мы получили более двадцати авторских экспертных материалов, более 150 экспертных анкет. Активными участниками публичных мероприятий стали более пятидесяти экспертов проекта.

Начиная исследование, мы исходили из того, большинство секторов, являющихся базой современной индустриальной системы, вышли на «технологическое плато». Считается, что, для компаний и территорий, зоной специализации которых являются зрелые индустрии, существует два способа удержания собственной конкурентоспособности. Первый - достижение эффекта масштаба, оптимизация производственных, управленческих и организационных процессов внутри компаний, консолидация рынков. Второй - принципиальное технологическое обновление, разработка и продвижение инновационных продуктов, «ломающих» традиционные рынки.

В фокус исследования попали три «технологических потока» – групп технологий, оказывающих революционное воздействие на большинство базовых отраслей, рынков и производственных процессов (т.н. системные инновации): 1) современное проектирование включая как концептуальный дизайн, так и самые современные средства инжиниринга и технологии производства; 2) технологии получения и применения новых промышленных материалов; 3) «умные» (автоматизированные, интеллектуальные, автономные) системы и среды. Их комплексное применение позволит многим российским отраслям перейти к «новому качеству» развития и выйти в авангард мировых рынков.

Понятно, что для внедрения передовых технологий потребуется обновление всех компетенций: исследователей-разработчиков, инженеров, технологов, среднетехнических кадров. Невозможно использовать новые разработки и без комплекса управленческих новаций: перехода к концепции управления жизненным циклом продуктов, управления цепочками или сетями создания стоимости, управления сложными системами, управления качеством.

Ситуация для России осложняется тем, что в нашей стране на протяжении более двадцати лет промышленность не вкладывала значимых инвестиций в технологический рост, и по целому ряду направлений мы сейчас движемся в логике «догоняющего» развития: это и глобальные стандарты и практики эффективного проектирования и производства, информационные системы, ряд областей дизайна и инженерии.

Серия дискуссионных докладов - т.н. «зеленых книг» проекта – первая за последние годы попытка российских экспертов поднять в комплексе вопросы системной трансформации производств, вычленить и описать группы технологий, готовые к массовому внедрению, спрогнозировать образование новых рынков, оценить потребность в технологиях для реструктуризации традиционных секторов, оценить последствия для компаний российской индустрии.

Цель публикации «зеленых книг» – пригласить все заинтересованные стороны внести свой вклад в формирование предложений для обновления государственной политики в сфере управления технологическим развитием. По итогам публичных обсуждений докладов будут подготовлены тематические «Белые книги развития технологий российской промышленности», которые будут содержать общее видение технологического развития нашей страны, принципы реализации выбранных стратегий, направления реализации государственной политики.

Создатели данной книги выражают глубокую признательность экспертам, нашедшим возможность дать рецензии, оценки, интервью и принять участие в публичных мероприятиях проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу».

Аннотация

Основная задача современной промышленности – создание глобально конкурентоспособной и востребованной продукции нового поколения в кратчайшие сроки. Для успешного решения этой задачи необходимы постоянная генерация, применение, накопление и трансфер новых знаний, создание и развитие наукоемких технологий с последующим их объединением в технологические цепочки нового поколения, разработка наукоемких инноваций и создание современных "цифровых" / "умных" производств.

Центральной и самой наукоемкой технологией среди всех технологий, обеспечивающих конкурентоспособность продукции нового поколения, является компьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering), для которого характерны такие черты как мультидисциплинарность и надотраслевой характер – инновационная M^3-концепция "MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage & MultiTechnology (MultiCAD & MultiCAE)".

Представлены этапы развития ключевых групп технологий, степень их внедрения в промышленность в мире и в России, а также эволюция развития основной парадигмы современной промышленности: от общепризнанной концепции "Simulation-Based Design" ("проектирование на основе компьютерного инжиниринга)" до "концепции будущего" ("конкурентных преимуществ завтрашнего дня") – SuperComputer (SmartMat*Mech)*(Multi3) Simulation and Optimization Based Product Development, Digital Mock-Up & Digital Manufacturing ("цифровое производство" как центральная часть "умной производственной среды").

Представлены и кратко проанализированы тенденции развития мировых лидеров и основных игроков PLM-рынка и CAE-рынка, их основной продукции – CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-технологий с акцентом на мультидисциплинарные и надотраслевые FEA/CFD/CAE-технологии.

Abstract

The primary aim of modern industry is development of global competitive and solicited production of a new generation in the shortest time possible. For a successful solution of this problem one demands permanent generation, application, build-up and transfer of brand-new knowledge, creation and development of high-end technologies with their further aggregation into technologic chains of a new generation, development of science-based innovations and creating of modern "digital"/"smart" manufactures.

The central one, as well as the most science-based out of all technologies which provide production of a new generation competitive ability, is Computer-Aided Engineering. For this technology such features are distinctive as multi-physics and suprasectoral pattern – innovative M^3-conception "MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage & MultiTechnology (MultiCAD & MultiCAE)".

Stages of key groups of technologies development are represented along with the depth of their introduction into industry, as well as the evolution of the modern industry paradigm development: from the acknowledged conception "Simulation Based Design" to the "conception of the future" ("competitive advantages of tomorrow") – Super Computer (SmartMat*Mech)*(Multi) Simulation and Optimization Based Product Development, Digital Mock-Up & Digital Manufacturing ("digital manufacturing" as a central part of "smart manufacturing environment").

The trends of development of worldwide leaders and main players of PLM-market and CAE-market and their main products – CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-technologies with an emphasis on multi-physics and suprasectoral FEA/CFD/CAE-technologies – are represented.

Описание мировой повестки, основных трендов

Мировая тенденция современного развития – формирование современной инновационной экономики знаний (The Hyper-Competitive, Global, Knowledge-Driven Economy of the 21st Century) в условиях стремительного развития технологий, тотальной компьютеризации и автоматизации, глобализации и гиперконкуренции, постоянно ускоряющихся изменений и кардинальной переоценке роли знаний.

Основная задача современной промышленности – создание глобально конкурентоспособной и востребованной продукции нового поколения в кратчайшие сроки. Для успешного решения этой задачи необходимо, в свою очередь, постоянно и эффективно решать следующие актуальные задачи: генерация, применение, накопление и трансфер новых знаний, создание и развитие наукоемких технологий с последующим объединением их в технологические цепочки, разработка наукоемких инноваций и создание современных наукоемких производств (“цифровых” / “умных” производств).

1.1. Общемировые условия развития инновационной экономики знаний

1. Глобализация рынков и гиперконкуренция. Глобализация рынков, конкуренции, образовательных и промышленных стандартов, финансового капитала, технологий и наукоемких инноваций требует гораздо более быстрых темпов развития, предельно коротких циклов разработки, низких цен и высокого качества продукции. Начинают играть особую роль быстрота профессиональной реакции на вызовы, скорость выполнения НИОКР и оказания высокотехнологичных услуг командами специалистов, обладающих компетенциями, оборудованием и технологиями мирового уровня.

2. Быстрое и интенсивное развитие информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и наукоёмких компьютерных технологий (НКТ), нанотехнологий. Развитие и применение передовых ИКТ, НКТ и нанотехнологий, которые носят принципиально “надотраслевой характер”, способствует кардинальному изменению характера конкуренции и позволяет “перепрыгнуть” десятилетия экономической и технологической эволюции. Ярчайшим примером такого “скачка” являются Бразилия, Китай, Индия и другие страны Юго-Восточной Азии.

3. Сверхсложные и гиперсложные проблемы (“мега-проблемы”). Мировые наука и промышленность сталкиваются со все более сложными комплексными проблемами, которые для своего решения требуют огромных ресурсов, как правило, не могут быть решены на основе традиционных (“узкоспециализированных”) подходов. Вспоминается “правило трех частей”: проблемы делятся на I – легкие, II – трудные и III – очень трудные. Проблемами I за-

ниматься не стоит, они будут решены в ходе развития событий и без вашего участия, проблемы III вряд ли удастся решить в настоящее время или в обозримом будущем, поэтому стоит обратиться к решению проблем II, размышляя над проблемами III, которые часто и определяют "вектор развития".

Как правило, такой сценарий развития приводит к интеграции отдельных научных дисциплин в меж- / мульти- / и транс- дисциплинарные научные направления, развитию и объединению отдельных технологий в технологические цепочки нового поколения, интеграции отдельных модулей и компонентов в иерархические системы более высокого уровня и развитию мега-систем – крупномасштабных комплексных научно-технологических систем, обеспечивающих уровень функциональности, который не достижим для их отдельных компонентов.

4. "Размывание границ", появление и развитие "Coopetition" – сочетание кооперации (Cooperation) и конкуренции (Competition). Происходит все большее размывание отраслевых границ, сближение секторов и отраслей экономики, размывание границ фундаментальной и прикладной науки за счет необходимости решения комплексных научно-технических проблем в кратчайшие сроки, возникновения мега-проблем и мега-систем, активизации и диверсификации деятельности, зачастую на основе современных форм – аутсорсинга, ауттаскинга, аутстаффинга, а также на основе эффективной кооперации компаний и учреждений как в рамках одной отрасли (например, формирование стратегических альянсов, виртуальных предприятий, высокотехнологичных кластеров из научно-образовательных организаций и промышленных фирм, от крупных госкомпаний до малых инновационных предприятий), так и из разных отраслей. Отличительной характеристикой времени является создание с применением современных нанотехнологий новых функциональных и smart-материалов, материалов с заданными физико-механическими и управляемыми свойствами, сплавов, полимеров, керамик, композитов и многоуровневых (MultiScale) композитных структур, которые, с одной стороны, сами фактически являются "материалами-конструкциями", а с другой стороны, являются составной частью или компонентом макро-конструкции (автомобиля, самолета, и т.д.).

1.2. Фундаментальные аналитические исследования

В первое десятилетие XX века коллективами, состоящими из многопрофильных специалистов, выполнены фундаментальные аналитические исследования, которые во многом обобщают результаты деятельности и развития прикладных, инженерных, вычислительных наук и компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE) на предыдущих этапах и, с другой стороны, предопределяют мировую повестку и основные тренды развития вычислительных наук (Computational Science, Computational Mechanics / Computational Structural Mechanics / Computational Fluid Dynamics, Computational Heat Transfer, Computational Material Science и т.д.) и компьютерного инжиниринга, понимаемых как совокупность всех компонентов, предназначенных для эффективного решения сложных научно-технических проблем путем математического и суперкомпьютерного моделирования (Simulation & Analysis, S&A; SuperComputer Simulation).

Среди этих исследований, наименования тем которых говорят сами за себя, в первую очередь, назовем:

- 2004, National Science Foundation. Simulation-Based Engineering Science;
- 2005, President's Information Technology Advisory Committee (PITAC). Computational Science: Ensuring America's Competitiveness;
- 2006, National Science Foundation. Simulation-Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation;
- 2006, Aberdeen Group. Simulation-Driven Design Benchmark Report. Getting It Right the First Time;
- 2006, Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics. Part 1. National Agency for Finite Element Methods and Standards (NAFEMS) Benchmark;
- 2007, The United States National Committee on Theoretical and Applied Mechanics (USNC/TAM). Research Directions in Computational and Composite Mechanics;
- 2007, Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics. Part 2. NAFEMS Benchmark;
- 2009, РАН. Велихов Е.П., Бетелин В.Б., Кушниренко А.Г. Промышленность, инновации, образование и наука в России;
- 2010, Aberdeen Group. Cost Saving Strategies for Engineering: Using Simulation for Make Better Decisions.

1.3. Основные тенденции и подходы современного компьютерного инжиниринга

1. Инновационная M^3-концепция – "MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage & MultiTechnology (MultiCAD & MultiCAE)"-концепция*.

Термины "MultiDisciplinary & MultiScale / MultiStage" олицетворяют собой мультидисциплинарные, многомасштабные (многоуровневые) и многостадийные исследования и инжиниринг на основе меж- / мульти- / и трансдисциплинарных, иногда называемых "мультифизичными" ("MultiPhysics"), знаний и компьютерных технологий, в первую очередь, наукоемких технологий компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering).

В рамках M^3-концепции, в полной мере отвечающей всем передовым современным трендам, для выполнения НИР и НИОКР, как правило, осуществляется переход:

– от отдельных дисциплин, например, теплопроводности и механики, на основе термо-механики, электромагнетизма и вычислительной математики к мультидисциплинарной вычислительной термо-электро-магнито-механике (концепция MultiDisciplinary),

– от одномасштабных моделей к многомасштабным иерархическим нано-микро-мезо-макро моделям (концепция MultiScale), применяемым совместно с CAE-технологиями при создании новых материалов со специальными свойствами, разработке конкурентоспособных систем, конструкций и продуктов нового поколения на всех технологических этапах "формирования и сборки" конструкции (например, литье металла – формовка / штамповка / ковка / … / гибка – сварка и т.д., концепция MultiStage).

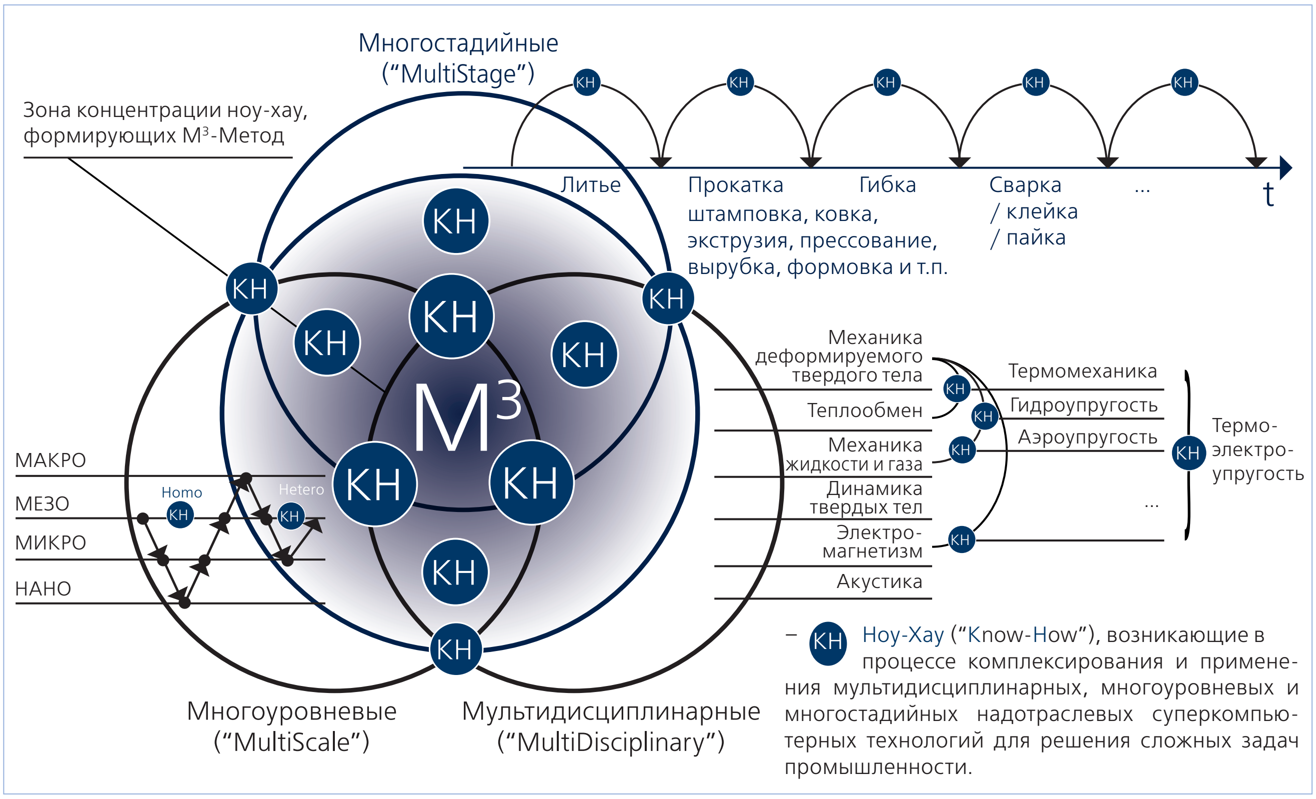


Рисунок 1. Инновационная M³-концепция на основе Ноу-хау «M³-Метод комплексирования и применения мультидисциплинарных, многоуровневых и многостадийных надотраслевых суперкомпьютерных технологий для решения сложных задач промышленности, энергетики, транспорта, строительства и связи».

2. Концепция "Simulation-Based Design" – компьютерное проектирование конкурентоспособной продукции, основанное на эффективном и всестороннем применении CAD-систем (Computer-Aided Design) мирового уровня и конечно-элементного моделирования (Finite Element Simulation, FE Simulation; Simulation & Analysis, S&A) в рамках программных CAE-систем – де-факто основополагающая парадигма современного машиностроения (в самом широком смысле этого термина, включая, например, авиа-, двигателе-, ракето-, автомобиле- строение, электро- / энерго- машиностроение, приборостроение, судостроение и т.д.), которая, и это представляется чрезвычайно важным, с начала XXI века уже применяется всеми промышленными компаниями-лидерами из различных отраслей.

В основе концепции "Simulation-Based Design" лежит современный универсальный и мощный метод конечных элементов (МКЭ; Finite Element Method, FEM) и передовые компьютерные технологии, тотально использующие современные средства визуализации:
– CAD, Computer-Aided Design – компьютерное проектирование (САПР, Система Автоматизированного Проектирования); в настоящее время различают три основных подгруппы CAD: машиностроительные CAD (MCAD – Mechanical CAD), CAD печатных плат (ECAD – Electronic CAD / EDA – Electronic Design Automation) и архитектурно-строительные CAD (CAD/AEC – Architectural, Engineering and Construction), отметим, что наиболее разви-

ИСТОЧНИКИ:

*Ноу-хау «M³-Метод комплексирования и применения мультидисциплинарных, многоуровневых и многостадийных надотраслевых суперкомпьютерных технологий для решения сложных задач промышленности, энергетики, транспорта, строительства и связи». Авторы: А.И. Боровков, О.И. Клявин, А.А. Михайлов. Обладатель исключительного права ФГБОУ ВПО «СПбГПУ», неисключительного права ООО «Политех-Инжиниринг».

тыми являются MCAD-технологии и соответствующий сегмент рынка;
– FEA, Finite Element Analysis – конечно-элементный анализ, в первую очередь, задач механики деформируемого твердого тела, статики, колебаний, устойчивости динамики и прочности машин, конструкций, приборов, аппаратуры, установок и сооружений, т.е. всего спектра продуктов и изделий из различных отраслей промышленности; с помощью различных вариантов МКЭ эффективно решают задачи механики конструкций, теплообмена, электромагнетизма, строительной механики, технологической механики (отметим, в первую очередь, задачи пластической обработки металлов давлением), задачи механики разрушения, задачи механики композитов и композитных структур и т.д.;
– CFD, Computational Fluid Dynamics – вычислительная гидроаэродинамика, где основным методом решения задач механики жидкости и газа выступает метод конечных объемов;
– CAE, Computer-Aided Engineering – наукоемкий компьютерный инжиниринг, основанный на эффективном применении мультидисциплинарных надотраслевых CAE-систем, основанных на FEA- и CFD- технологиях, других современных вычислительных методах. С помощью (в рамках) CAE-систем разрабатывают и применяют рациональные математические модели, обладающие высоким уровнем адекватности реальным объектам и реальным физико-механическим процессам, выполняют эффективное решение многомерных исследовательских и промышленных задач, описываемых, как правило, нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных в пространственных областях сложной формы; часто FEA, CFD и MBD (Multi Body Dynamics) считают взаимодополняющими компонентами компьютерного инжиниринга (CAE), а соответствующими терминами уточняют специализацию, например, MCAE (Mechanical CAE), ECAE (Electrical CAE), AEC (Architecture, Engineering and Construction) и т.д.

Мультидисциплинарные исследования выступают фундаментальной научной основой надотраслевых технологий:
- в первую очередь, наукоемких компьютерных и суперкомпьютерных технологий, основанных на результатах многолетних меж- / мульти- / транс- дисциплинарных исследований, выполняемых десятки лет многотысячными коллективами; эти технологии находят воплощение в мультидисциплинарных надотраслевых CAE-системах, трудоемкость создания которых составляет десятки тысяч человеко-лет;
- нанотехнологий, НБИК-технологий (Нано-Био-Инфо-Когнитивных-технологий; отметим создание НБИК-центра в Национальном исследовательском центре “Курчатовский институт” и НБИК-факультета в НИУ МФТИ; М.В. Ковальчук);
- новых парадигм современной промышленности, среди которых, в первую очередь, отметим SuperComputer (SmartMat*Mech)*(Multi^3) Simulation and Optimization Based Product Development, “цифровое производство”, “умные материалы” и “умные конструкции”, “умные заводы”, “умные среды” и т. д.

Надотраслевые технологии способствуют стремительному распространению и проникновению новых меж- и мульти- дисциплинарных знаний в новые области (“транс- дисциплинарные знания“), межотраслевому трансферу передовых технологий (принцип инвариантности технологий), которые становятся фактически надотраслевыми технологиями.

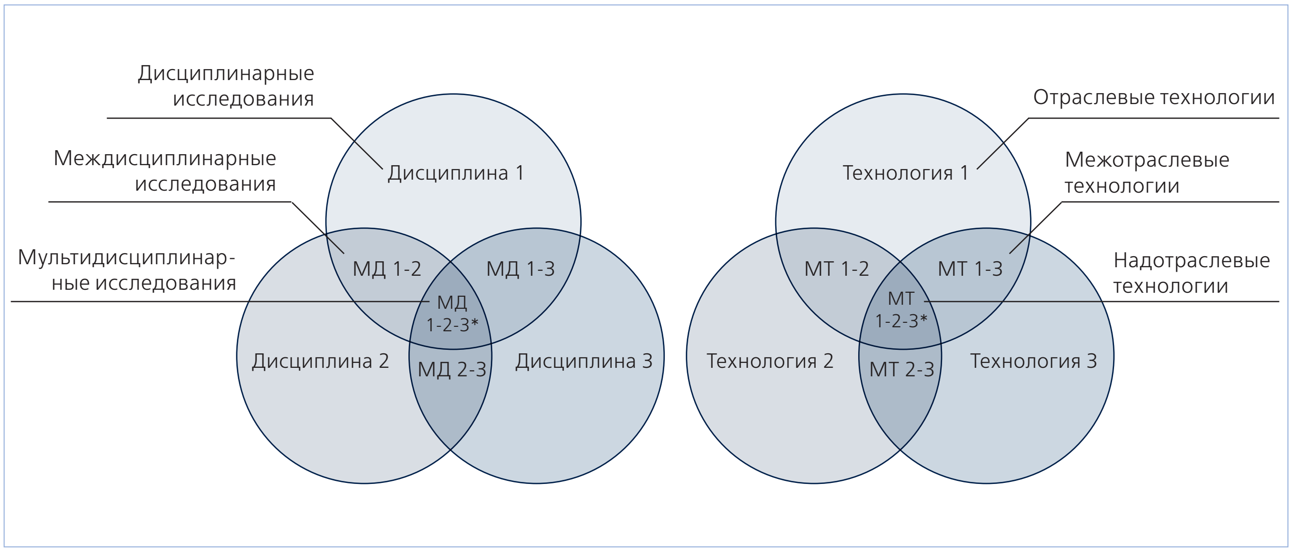


Рисунок 2. Мультидисциплинарные исследования и надотраслевые технологии

Именно поэтому мультидисциплинарные знания и надотраслевые наукоемкие технологии являются “конкурентными преимуществами завтрашнего дня”. Их широкое внедрение позволит, безусловно, обеспечить инновационное развитие высокотехнологичных предприятий национальной экономики.

2. Эволюция концепции “Simulation-Based Design”. В XXI веке основополагающая концепция “Simulation-Based Design” интенсивно развивалась силами ведущих фирм-вендоров CAE-систем и промышленных компаний.

Эволюцию основных подходов, тенденций, концепций и парадигм от базового варианта “Simulation-Based Design” до условно финального варианта – “Digital Manufacturing” (“Цифровое производство”) – можно представить следующим образом (А.И. Боровков, 2011), выделяя на каждом этапе цветом принципиально новый компонент:

– Simulation-Based Design;

– Simulation-Based Design / Engineering (не только “проектирование”, но и “инжиниринг” – компьютерный инжиниринг);

– MultiDisciplinary Simulation-Based Design / Engineering (“мультидисциплинарность” – задачи становятся комплексными, требующими для своего эффективного решения знаний из смежных дисциплин – мультидисциплинарных знаний);

– SuperComputer MultiDisciplinary Simulation-Based Design / Engineering – широкое применение HPC-технологий (High Performance Computing) и высокопроизводительных вычислительных систем (суперкомпьютеров, кластеров и т.д., построенных, как правило на эффективном сочетании CPU- и GPU-процессоров) в рамках иерархических киберинфраструктур (лаборатории, отделы, центры / организации, корпорации / регионы / страны) для выполнения многомодельных и многовариантных расчетов, для решения комплексных и сложных исследовательских, научно-технических и промышленных задач, которые, на современном этапе, как правило, являются мультидисциплинарными задачами. Отметим, что именно выполнение многомодельных и многовариантных расчетов является специфической особенностью процессов решения промышленных задач, связанных с созданием конкурентоспособной продукции нового поколения в кратчайшие сроки, а потому для промышленности более актуальной представляется HP*C-концепция (High Productivity Computing), когда более важной характеристикой выступает не пиковая производительность суперкомпьютера, а эффективная реализация подхода, когда параллельно решаются несколько вариантов задач, или, возможно, разных задач из разных отраслей промышленности, причем все задачи решаются на линейных участках зависимости ”ускорение от распараллеливания как функция от числа используемых ядер суперкомпьютера”, что обеспечивает практически 100% загруженность суперкомпьютера),

– SuperComputer (MultiScale / MultiStage * MultiDisciplinary * MultiTechnology) Simulation-Based Design / Engineering (эффективное применение триады: “многомасштабность” / “многостадийность” * “мультидисциплинарность” * “мультитехнологичность”), причем “MultiTechnology” в рамках компьютерного инжиниринга понимаем, в первую очередь, как MultiCAD & MultiCAE-инфраструктуру;

– SuperComputer (Material Science * Mechanics) * ($Multi^3$) Simulation-Based Design / Engineering (одновременное компьютерное проектирование и инжиниринг материалов и элементов конструкций из них – гармоничное объединение механики материалов и механики конструкций);

– SuperComputer (SmartMat*Mech)*($Multi^3$) Simulation and Optimization Based Design / Engineering (применение smart- / “умных” материалов, применение разных видов оптимизации (параметрической, многомерной, структурной, топологической, многокритериальной и т.д.), рациональной оптимизации технологических процессов и т.д.);

– SuperComputer (SmartMat*Mech)*($Multi^3$) Simulation and Optimization Based Product Development (проектирование, инжиниринг и оптимизацию расширяем до производства продукции и переходим к Virtual Product Development – виртуальной разработке продукции / изделий);

– Digital Mock-Up / Digital Manufacturing (“цифровой прототип” – виртуальная, цифровая 3-D модель изделия и всех его компонентов, позволяющая исключить из процесса разработки изделия создание дорогостоящих натурных моделей-прототипов, позволяющая “измерять” и моделировать любые характеристики объекта в любых условиях эксплуатации / “цифро-вое производство” – как основные компоненты “умных” заводов и фабрик).

Для современного компьютерного инжиниринга, кроме концепций SuperComputer (SmartMat*Mech)*($Multi^3$) Simulation and Optimization Based Product Development, Virtual Product Development и Digital Manufacturing характерными трендами являются следующие подходы и инновационные технологии:

4. CAD/CAM-технологии (Computer-Aided Design / Manufacturing), которые интегрируют CAD- и CAM- системы и обеспечивают интегрированное решение задач конструкторского и технологического проектирования, вклю-

чая средства 3-D параметрического моделирования, выпуска чертежей, а также средства технологической подготовки производства, в первую очередь, с помощью программ для современных станков с ЧПУ и многоосевой обработкой или, в последнее время, с помощью технологий быстрого прототипирования (Rapid Prototyping, RP) или аддитивных технологий (Additive Technologies, AD), когда элемент конструкции "выращивают" на специальных установках, простейшими из которых являются 3-D принтеры;

5. Concurrent Engineering (CE) — "конкурентное" проектирование / параллельное проектирование / совместное проектирование — совместная работа специалистов из различных функциональных подразделений предприятия на как можно более ранней стадии разработки продукта с целью достижения высокого качества, функциональности и технологичности за как можно более короткое время с минимальными затратами. CE является, главным образом, выражением желания увеличить конкурентоспособность продукции за счет сокращения времени разработки и вывода на рынок продукции и изделий, а также повышения качества и снижения цены.

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

7. Research Knowledge Management – менеджмент, генерация, капитализация и тиражирование формализованных и, что принципиально более важно, неформализованных знаний – основного источника конкурентоспособности. Для дополнения мультидисциплинарных надотраслевых CAE-систем с точки зрения управления знаниями (хранение и управление данными (data), результатами (results), методами (methods) и процессами (processes) были разработаны системы:
– управления инженерными знаниями (Engineering Knowledge Management, EKM),
– управления жизненным циклом конечно-элементного (КЭ) моделирования (симуляции) (Simulation Lifecycle Management, SLM);
– управление процессами КЭ моделирования (Simulation Process Management, SPM);
– управления конечно-элементным КЭ моделированием изделия (Product Simulation Management, PSM), наконец,
– управления КЭ моделированием на уровне предприятия (Enterprise Simulation Management, ESM).

8. 3D Visualization & Virtual Reality & Global Visual Collaboration – системы организации глобального сотрудничества между рассредоточенными по всему миру и эффективно взаимодействующими командами на основе компьютерных технологий визуализации, виртуальной реальности и создания "эффекта присутствия";

9. Чрезвычайно важно отметить, что многие из вышеуказанных подходов, технологий и тенденций современного компьютерного инжиниринга представляют собой надотраслевые технологии – "конкурентные преимущества завтрашнего дня" – технологии, применяемые во многих отраслях промышленности, способствующие межотраслевому трансферу передовых "инвариантных" технологий, надотраслевому трансферу мультидисциплинарных компьютерных технологий.

Жизненный цикл ключевых групп технологий и рынков

ИСТОЧНИКИ:

САЕ-ТЕХНОЛОГИИ – КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ / М.П. Федоров, А.И. Боровков, Ю.Я. Болдырев, В.А. Пальмов // Материалы VI Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах». Санкт-Петербург. 2002, Труды СПбГПУ, т.1. СПб. Изд-во СПбГПУ.17-24.[76]

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”. С.-Петербург. Изд. СПбГПУ. 2004. 33 – 48.[43]

Боровков А.И., Пальмов В.А., Рудской А.И. Генерация знаний, развитие и коммерциализация наукоёмких 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”. Санкт-Петербург. – СПб.: Изд. СПбГПУ, 2005. 9 –18.[44]

2.1. CAD/CAM/CAE/PDM (EKM/SLM/SPM/PSM/ESM)/PLM–технологии: вчера, сегодня, завтра

Термин CAD претерпел эволюцию от первоначального “чертежного” варианта Computer-Aided Drafting до современного – Computer-Aided Design (компьютерное проектирование), причем Computer-Aided зачастую приравнивалось Computer-Assisted и всегда понималось как “выполнение работ с помощью компьютера (ранее – ЭВМ), автоматизированное выполнение работ”.

В настоящее время различают три основных подгруппы CAD: машиностроительные CAD (MCAD – Mechanical CAD), CAD печатных плат (ECAD – Electronic CAD / EDA – Electronic Design Automation) и архитектурно- строительные CAD (CAD/AEC – Architectural, Engineering and Construction). Наиболее развитыми являются MCAD-технологии и соответствующий сегмент рынка.

К 1971 году рынок MCAD-систем в основном сложился. Ведущими компаниями в то время были Computervision с пакетом CADDS (в 1998 году была приобретена компанией Parametric Technology Corporation, PTC), Unitied Computing (в 1976 году ставшая подразделением McDonell-Douglas Automation, а затем компанией UniGraphics Solutions, UGS), SDRC (Structural Dynamics Research Corp., в 2001 году приобретенная UGS, ныне, в свою очередь, ставшей Siemens PLM Software). В то время CAD-системы повторяли те подходы, что применял конструктор (зачастую просто чертежник) в своей традиционной деятельности – достаточно вспомнить популярное определение 2-D CAD-систем как “электронного кульмана”.

Среди событий 1970-х годов следует отметить покупку авиационной французской компанией Avion Marcel Dassault у американского авиастроителя Lockheed компьютерной программы CADAM (Computer Augmented Drafting And Manufacturing) и последующий выход системы CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application), последние версии которой в наши дни широко применяются на многих промышленных предприятиях.

Отметим, что все эти события на CAD-рынке развивались параллельно с победоносным шествием “закона Мура”. Еще в 1965 году Гордон Мур (G. Moore, Chairman Emeritus of Intel Corp.), рисуя для очередного выступления график роста производительности микросхем, заметил поразительную закономерность: на каждом новом кристалле размещалось примерно вдвое больше транзисторов, чем на предшествующем, причем новые микросхемы появлялись примерно через равные промежутки времени – спустя полтора-два года. Следствием “закона Мура” является то, что вплоть до последнего времени производительность процессоров каждые два года практически удваивалась, причем их цена оставалась приблизительно одной и той же. Отметим, что за 30 лет, истекшие с момента появления микропроцессора Intel 4004 в 1971 году и вплоть до выпуска процессора Intel Itanium II в 2002 году, количество транзисторов выросло почти в 100 000 раз: с 2 250 до 220 миллионов транзисторов; затем наступила эра многоядерных процессоров, победоносное шествие которых мы сейчас и наблюдаем...

К 1980 году объем ранка MCAD-систем превысил 1 млрд. долл., т.е. за 10 лет он вырос более, чем в 40 раз (с 25 млн. долл.)!

В 1980-х годах проявились новые тенденции, затронувшие рынок MCAD-систем:

• появление в 1981 году первого персонального компьютера IBM PC и дальнейшее стремительное развитие персональных компьютеров в соответствии с "законом Мура";

• переход от простейших двумерных (2-D) задач черчения к пространственному (3-D) моделированию на основе B-сплайнов Безье и сплайнов NURBS (Non-Uniform Rational Basis Spline), распараллеливание процессов разработки (концепция "параллельного проектирования", "concurrent engineering", CE).

В 1982 году, вслед за началом применения персональных компьютеров, состоялся выход на MCAD-сцену компании Autodesk, которая уже в 1983 году выпустила первый серьезный CAD-пакет для IBM PC – AutoCAD – под очень привлекательным лозунгом, иллюстрирующим известный принцип Парето – принцип "80/20" – "20% цены предоставляют 80% функциональных возможностей мейнфреймовской программы". Вскоре AutoCAD завоевал мир 2-D проектирования, став значительной вехой в развитии CAD-систем.

3-D задачи требовали более мощных компьютеров и на рынок MCAD- систем, наряду с известными IBM, HP, DEC, стремительно ворвались новые разработчики персональных рабочих станций, в первую очередь, Sun и Silicon Graphics.

В 1987 году компания Parametric Technology Corp. выпустила свой революционный пакет Pro/ENGINEER, на основе объединения простоты использования, дружественного пользователю интерфейса, "твердотельной геометрии" и эффективной технологии параметрического моделирования. Pro/ENGINEER позволил PTC практически полностью завоевать нарождающийся рынок 3-D MCAD-систем.

В начале 1990-х годов сформировались явные лидеры корпоративных MCAD-систем: альянс Dassault Systèmes / IBM, Unigraphics, SDRC, PTC – здесь уместно вспомнить тезис об "искусстве быть вторым", который иллюстрирует многочисленные факты о том, почему "открыватели рынков" часто не становятся безусловными лидерами. Важно заметить, что в то время все лидеры предлагали CAD-решения на основе UNIX-систем.

В 1995 году блестящее воплощение принципа Парето "80/20" продемонстрировала начинающая компания SolidWorks, выпустив пакет SolidWorks-95 под лозунгом "80% функционала Pro/ENGINEER за 20% цены" и заложив основы массового применения 3-D подходов в машиностроении, вовлекая в этот процесс компании среднего и малого бизнеса. В 1997 году компания SolidWorks Corp. была приобретена Dassault Systèmes (DS)..., а в мае 2009 года DS SolidWorks Corp. уже продала миллионную лицензию...

ИСТОЧНИКИ:

Боровков А.И. PLM-технологии, компьютерный инжиниринг, глобальный аутсорсинг. Часть 1. Современное состояние, тенденции и перспективы развития // Конструктор-машиностроитель. Информационно-аналитический журнал. Декабрь, 2005. 4 – 7. [37]

Боровков А.И. PLM-технологии, компьютерный инжиниринг, глобальный аутсорсинг. Часть 2. Глобализация и компьютерный инжиниринг как основные ускорители развития PLM-технологий // Конструктор-машиностроитель. Информационно-аналитический журнал. Март, 2006. 06 – 13. [38]

Рудской А.И., Боровков А.И., Романов С.В. Форсайт-структура. Принципы построения и развития. Опыт реализации // Материалы XI Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы "Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах". СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2007. 12 - 28. [75]

Боровков А.И. PLM-технологии: вчера, сегодня, завтра. Каталог САПР. Программы и производители 2011-2012. - М.: Солон-Пресс. 2011.[40]

В результате многочисленных слияний и поглощений произошло формирование отрасли вокруг четырех основных игроков – Autodesk, Dassault Systèmes, PTC и UGS (ныне Siemens PLM Software).

Итогом широкого внедрения CAD-систем в различные сферы инженерной деятельности явилось то, что около 40 лет назад Национальный научный фонд (National Science Foundation, NSF) США назвал появление CAD-систем самым выдающимся событием с точки зрения повышения производительности труда со времен изобретения электричества.

Проблемы организации командной работы над проектами и управления информацией об изделии на протяжении его жизненного цикла привлекли к себе внимание с 1980-х годов прошлого столетия. Для решения этих проблем предлагались различные подходы, например, Министерство обороны США предложило методику автоматизированной поддержки принятия решений по приобретению изделий и материально-техническому обеспечению (Computer-aided Acquisition and Logistics Support, CALS), а корпорация IBM выдвинула концепцию компьютерного интегрированного производства (Computer Integrated Manufacturing, CIM). Возможно, эти инициативы опередили свое время, но в силу ряда причин они не получили широкого распространения и не вызвали особого энтузиазма у пользователей.

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

• CAD/CAM-системы (Computer-Aided Design / Manufacturing), которые обеспечивают интегрированное решение задач конструкторского и технологического проектирования. Среди всего многообразия CAD/CAM-систем, наиболее широко представленных на рынке, выделим:

– "тяжелые системы" ("3-D high-end"), появившиеся в 1980-х годах и обладающие широкими функциональными возможностями и высокой производительностью: CATIA от Dassault Systèmes (которая в октябре 2009 года за 600 млн. долларов выкупила PLM-бизнес у IBM), NX (интеграция Unigraphics и SDRC-решения I-DEAS под эгидой Siemens PLM Software, разработка платформы High Definition PLM / HD-PLM, которая улучшает информационную поддержку, повышает эффективность и достоверность процесса принятия решений на всех этапах жизненного цикла изделия) и Creo Elements (ребрэндинг-интеграция в конце 2010 г. Pro/ENGINEER и CoCreate на основе общей модели данных и пользовательского интерфейса);

– "средние системы" ("3-D middle range") – в первую очередь отметим SolidWorks, Solid Edge, Autodesk Inventor, в которых при их возникновении в середине 1990-х годов были объединены возможности 3-D твердотельного моделирования, невысокая по сравнению с "тяжелыми" системами цена и ориентацию на платформу Windows. Среди отечественных CAD/CAM-систем этого уровня отметим, в первую очередь, КОМПАС и T-Flex;

– "легкие системы" (2-D системы), которые являются самыми распространенными продуктами автоматизации проектирования, среди множества которых, прежде всего, следует назвать AutoCAD.

• CAE-системы (Computer-Aided Engineering, CAE) – системы автоматизации инженерных расчетов, самые передовые из которых представляют собой мультидисциплинарные надотраслевые CAE-системы. С помощью (в рамках) CAE-систем разрабатывают и применяют рациональные математические модели, обладающие высоким уровнем адекватности реальным объектам и реальным физико-механическим процессам, выполняют эффективное решение многомерных исследовательских и промышленных задач, описываемых нестационарными нелинейными дифференциальными уравнениями в частных производных в пространственных областях сложной формы; для эффективного решения этих задач применяются, как правило, разнообразные варианты современного и наиболее мощного и универсального численного метода – метода конечных элементов (МКЭ; Finite Element Analysis, FEA).

FEA (конечно-элементный анализ; КЭ анализ), в первую очередь, применим для эффективного решения задач механики деформируемого твердого тела, статики, колебаний, устойчивости, динамики и прочности машин, конструкций, приборов, аппаратуры, установок и сооружений, т.е. всего спектра продуктов и изделий, выпускаемых различными отраслями промышленности; с помощью различных вариантов МКЭ эффективно решают задачи механики конструкций, теплообмена, электромагнетизма и акустики, строительной механики, технологической механики (в первую очередь, назовем задачи пластической обработки металлов, задачи сварки и термообработки, литья металлов, литья пластмасс под давлением), задачи механики контактного взаимодействия и разрушения, задачи механики композитов и композитных структур.

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 ANSYS, SIMULIA/Abaqus (разработчика этой CAE-системы – Abaqus, Inc. – в 2005 году купила Dassault Systèmes), MSC Software, Altair Engineering, ESI Group, LMS Int., LS-DYNA и NX CAE (Siemens PLM Software).

Для решения задач механики жидкости и газа (Computational Fluid Dynamics, CFD), где основным методом решения задач механики жидкости и газа выступает метод конечных объемов, наиболее широкими возможностями обладают программные системы Fluent, STAR-CD (разработчик CD-adapco) и ANSYS CFX. В области CFD-анализа необходимо обратить внимание на приобретения ANSYS, Inc., которая в 2003 году купила CFX подразделение компании AEA Technology, выпускавшее CFD-систему CFX (в то время # 3 в CFD-сегменте), а в 2006 году за 565 млн. долл. компанию Fluent, Inc. – разработчика CFD-системы # 1 – Fluent. Эти приобретения позволили ANSYS Inc. по итогам 2006 года впервые в CAE-истории захватывающего противоборства с MSC Software выйти на первое место по финансовым показателям, а в последующие годы значительно упрочить свое лидерство.

Как правило, конечно-элементные модели сверхсложных конструкций и механических систем содержат 10^5 – $25*10^6$ степеней свободы, что соответствует порядку системы дифференциальных или алгебраических уравнений, которую необходимо решить.

Обратимся к рекордам. Например, для CFD-задач в нсатощее время рекорд составляет 10^9 ячеек (компьютерное моделирование гидро- и аэродинамики океанской яхты с использованием CAE-системы ANSYS, август 2008 года), для FEA-задач – $5*10^8$ уравнений (конечно-элементное моделирование в турбомашиностроении с применением CAE-системы NX Nastran от Siemens PLM Software, декабрь 2008 года), предыдущий рекорд для FEA-задач – $2*10^8$ уравнений также принадлежал Siemens PLM Software и был установлен в феврале 2006 года.

Отметим, что часто FEA, CFD и MBD (Multi Body Dynamics) считают взаимодополняющими компонентами компьютерного инжиниринга (CAE), а соответствующими терминами уточняют специализацию, например, MCAE (Mechanical CAE), ECAE (Electrical CAE), AEC и т.д.

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

Для дополнения мультидисциплинарных надотраслевых CAE-систем с точки зрения управления знаниями – хранение и управление данными (data), результатами (results), методами (methods) и процессами (processes) фирмами-разработчиками CAE-систем были разработаны специализированные PDM-системы: управления инженерными знаниями (Engineering Knowledge Management, EKM), управления жизненным циклом конечно-элементного (КЭ) моделирования (симуляции) (Simulation Lifecycle Management, SLM); управление процессами КЭ моделирования (Simulation Process Management, SPM); управления конечно-элементным КЭ моделированием изделия (Product Simulation Management, PSM), наконец, управления КЭ моделированием на уровне предприятия (Enterprise Simulation Management, ESM).

• Кроме применения CAD/CAM/CAE/PDM-систем, начиная с 1990-х годов в промышленности применяют ERP-системы (Enterprise Resources Planning, ERP) – системы планирования и управления ресурсами предприятия, а в начале нынешнего столетия самое серьезное внимание было обращено на MES-системы (Manufacturing Enterprise Solutions, MES) – корпоративные системы управления производством на уровне цеха, SCM-системы (Supply Chain Management, SCM) – системы управления цепочкой поставок и взаимоотношениями с поставщиками –), CRM- системы (Customer Relationship Management, CRM) – системы управления взаимоотношениями с заказчиками.

• В конце минувшего тысячелетия IBM разработала новую концепцию – PLM (Product Lifecycle Management), которой повезло значительно больше, чем CALS- и CIM-технологиям, и спрос на PLM-продукты стал расти, невзирая на спады и кризисы мировой экономики.

Основное назначение PLM-технологий – объединение и эффективное взаимодействие изолированных участков автоматизации, образовавшихся в результате внедрения различных систем – CAD / CAM / CAE / PDM (EKM/SLM/SPM/PSM/ESM) / PLM и ERP, MES, SCM и CRM – в рамках единого информационного пространства, а также для реализации сквозного конструкторского, технологического и коммерческого циклов производства продукции – "от зарождения идеи, создания конкурентоспособного 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. Этот подход 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.

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.

Высокие темпы в области применения CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-технологий задают мировые лидеры разработки и производства продукции как гражданского, так и военного назначения: BAE Systems, BMW, Boeing, Daimler / Mercedes, EADS, Exxon, Ford Motor Company, General Dynamics, General Electric, General Motors, Hitachi, Honda, Hyundai Group, LG Electronics, Lockheed Martin, Mitsubishi Group, NASA, Nissan Group, Northrop Grumman, Samsung Group, Schlumberger, Siemens, Shell, Toyota Group, Volkswagen Group, Weatherford и многие другие.

Актуальность применения PLM-технологий наиболее красочно иллюстрирует оценка стоимости исправления одной-единственной ошибки на различных стадиях подготовки производства, выполненная аналитической компанией Gartner Group около двадцати лет назад:
$1 – концептуальное проектирование;
$10 – конструкторская проработка изделия;
$100 – изготовление макета изделия;
$1 000 – проектирование технологической оснастки;
$10 000 – изготовление оснастки;
$100 000 – выпуск опытной серии;
$1 000 000 – серийное производство.

Напомним, что CIMdata разделяет весь PLM-рынок на два основных сегмента:

– создание и анализ изделия (Tools, компьютерное проектирование изделий и моделирование процессов производства, инженерный анализ и др.);

– совместное управление данными по изделиям cPDM (взаимодействие и управление данными об изделии, включающее такие технологии, как визуализация, обмен данными, управление качеством, стратегическое планирование, контроль за выполнением проектов и др.).

Исторически сложилось так, что инвестиции в сегмент Tools, как правило, превышают инвестиции в сегмент cPDM, однако для последнего характерны несколько более высокие темпы роста.

В рамках Tools-сегмента PLM-рынка наиболее высокие темпы роста у CAE-технологий. Увеличение спроса на CAE-системы объясняется повышением доступности средств инженерного анализа и снижением стоимости высокопроизводительных компьютеров, появлением в 2006 году Windows-машин на базе 64-разрядных многоядерных процессоров и в сентябре 2008 года – появлением персональных суперкомпьютеров, отметим прежде всего выход на рынок персональных суперкомпьютеров легендарной фирмы CRAY Research с моделью CRAY CX1.

Эти события оказали огромное влияние на развитие сегмента CAE-технологий, в результате которого квалифицированные инженеры получили возможности решать еще более сложные задачи, например, полномасштабные (многоуровневые, MultiScale; многостадийные, MultiStage; многошаговые, MultiStep) 3-D нестационарные нелинейные мультидисциплинарные (MultiDisciplinary, MultiPhysics) задачи, включая задачи многокритериальной оптимизации.

Отметим главные причины возросшего интереса к CAE-системам:

– стремительное и регулярное увеличение вычислительной мощности компьютеров за последние 30 лет. Если раньше для полномасштабного моделирования требовались суперкомпьютеры-мэйнфреймы, то сегодня для тех же расчетов достаточно кластера из рабочих станций или персонального суперкомпьютера, "стоимость покупки и владения" которого значительно меньше стоимости больших массивно-параллельных высокопроизводительных вычислительных систем, объединяющих в себе тысячи многоядерных процессоров. В связи с этим чрезвычайно перспективным представляется вариант специально организованных проблемно-ориентированных сред распределенных высокопроизводительных вычислений (Distributed High Performance Computing, DHPC или Distributed High Productivity Computing, DHP*C) на базе персональных суперкомпьютеров, которые позволяют минимизировать финансовые затраты, особенно, в части "стоимость владения и обновления" и позволяют решать сложные задачи наиболее эффективным образом, находясь на линейных участках семейства кривых – зависимостей "ускорение от распараллеливания как функция от числа используемых ядер суперкомпьютера"; понятно, что эти функциии существенно зависят от класса и типа решаемой задачи, а также от применяемого HPC-варианта той или иной CAE-системы;

– значительное расширение спектра функциональных возможностей CAE-систем, позволяющих на основе рациональных математических / механических / конечно-элементных моделей, обладающих высоким уровнем адекватности реальным объектам и физико-механическим процессам, чрезвычайно быстро выполнять компьютерное моделирование и получать достоверные результаты – об этом раньше приходилось только мечтать;

– признание ведущей роли наукоемкого компьютерного инжиниринга для ускорения выпуска новой конкурентоспособной продукции, повышения качества продукции и снижения финансовых и временных затрат на разработку новых образцов, понимая, что во всех отраслях промышленности основной является задача – "создание глобально конкурентоспособной и востребованной на рынке продукции нового поколения в кратчайшие сроки".

В последние годы специалисты ведущих мировых и отечественных промышленных компаний приобрели разнообразный положительный опыт реализации сложных проектов, обязанных своим успехом, в первую очередь, применению именно CAE-технологий.

Кроме того, CAE-системы с каждым годом становятся удобнее и нагляднее в применении, обладая при этом широким спектром возможностей визуализации результатов численных расчетов, достаточно упомянуть компьютерные анимации сложных нестационарных нелинейных процессов с множественными контактными взаимодействиями, накоплением повреждений, прогрессивным разрушением и т.д.

Компьютерное моделирование в настоящее время можно и весьма желательно использовать совместно с натурными экспериментами, как для валидации получаемых численных результатов, так и для идентификации параметров математических моделей, "тонкой" настройки математических / механических / компьютерных моделей с целью повышения уровня адекватности разработанных моделей реальным объектам и/или физико-механическим процессам, что ведет к повышению точности результатов компьютерного моделирования.

Здесь следует особо отметить глобальный процесс чрезвычайно важности – V&V-процесс (Verification & Validation) – процесс тотальной верификации CAE-систем, вычислительных методов, КЭ моделей и валидации результатов КЭ решений путем сопоставления КЭ результатов с результатами экспериментальных исследований. Этот V&V-процесс был начат в 1999 году по инициативе Американской ассоциации вычислительной механики (US Association for Computational Mechanics, USACM), позднее к нему подключились Американское общество инженеров-механиков (American Society of Mechanical Engineers, ASME), Американский институт нацициональных стандартов (American National Standards Institute, ANSI) и Национальное агентство конечно-элементных методов и стандартов (National Agency of Finite Element Methods and Standards, NAFEMS, Великобритания), играющее роль Всемирной Ассоциации компьютерного инжиниринга (FEA, CFD, CAE), региональные отделения Международной Ассоциации вычислительной механики (International Association for Computational Mechanics, IACM) и NAFEMS.

Так как развитие компьютерного моделирования и непрерывное совершенствование функционального наполнения CAE-систем происходит на благоприятном фоне снижения стоимости и повышения доступности высокопроизводительных вычислительных систем (суперкомпьютеров, кластеров и т.д.) и мощных компьютеров, то эти взаимовлияющие процессы неминуемо сопровождаются все более широким и интенсивным внедрением CAE-систем в практику инженерных расчетов. Более того, расчеты, длительность которых ранее составляла несколько дней или недель, теперь выполняются за несколько часов. Это означает, что ежегодно, с каждой новой версией CAE-систем мирового уровня, возможности экспертов и инженеров по решению сложных задач механики конструкций, особенно нестационарных нелинейных пространственных задач, задач механики жидкости и газа (CFD-задач), мультидисциплинарных и связанных задач механики деформируемого твердого тела (MultiDisciplinary / Multiphysics Problems) возрастают и расширяются, т.е. "те задачи, о решении которых всего пару лет назад инженеры лишь мечтали, сейчас можно формулировать и решать, более того, получать численные решения с высокой степенью точности".

Аналитическая компания Daratech еще в 2006 году на конференции DaratechSUMMIT 2006 выдвинула предположение, что главной движущей силой PLM-рынка в ближайшее десятилетие, т.е. в 2007-2016 гг., будет CAE-сегмент, т.к. именно эффективное внедрение и применение CAE-технологий – центрального и наиболее наукоемкого компонента PLM-технологий – будет определять долгосрочные конкурентные преимущества ведущих промышленных фирм. Мы являемся свидетелями того, что этот прогноз практически полностью сбылся, несмотря на произошедший глобальный кризис в рамках этого временного интервала.

В заключение еще раз отметим условные этапы эволюционного изменения и развития PLM-технологий:
• до 1970 года – ручное черчение;
• с 1970 года – 2-D проектирование;
• с 1985 года – 3-D проектирование;
• с 1995 года – полная цифровая 3-D модель изделия;
• с 2005 года – еще более тесная интеграция CAD- и CAE-систем, управление цифровыми данными и жизненным циклом изделия (PLM-технологии), применение суперкомпьютерных технологий, развитие концепции "цифровое производство";

и кратко "набросаем" основные черты наступившего периода развития (с 2010 г. и далее):

– развитие концепции прямого моделирования как в CAD-, так и в CAE-системах;

– широкое применение мультидисциплинарных надотраслевых CAE-систем как основного инструмента разработки наукоемкой продукции нового поколения, которая должна отвечать требованиям глобальной конкурентоспособности и востребованности на рынке;

– применение современных парадигм – "открытые инновации" (Open Innovations), "обратный инжиниринг" (Reverse Engineering), "Simulation-Based Design" и вышеописанная эволюция этой базовой концепции, реализация концепций о "самообучающейся организации" и "компания – создатель знания", развитие кайдзен-технологий непрерывного совершенствования;

– развитие и более широкое применение суперкомпьютерных технологий, особенно, в рамках HP*C-концепции;

	1 этап	2 этап	3 этап	4 этап	5 этап
Software / CAD	Черчение на кульмане	2-D CAD-системы, сплайны	2-D CAD-системы (AutoCAD, ...); 3-D CAD-системы (Pro/Engineer, ...);	"легкие" 2-D CAD-системы (AutoCAD, ...); "тяжелые" 3-D CAD-системы (Pro/Engineer, CATIA, I-deas, Unigrapics / NX, ...); "средние" 3-D CAD-системы на персональных компьютерах под Windows (SolidWorks, ...);	Лидеры: Dassault Systèmes (CATIA, SolidWorks, ...), Siemens PLM Software (NX, Solid Edge, ...), PTC (Creo, ...), Autodesk (AutoCAD, Inventor, ...), ..., АСКОН (КОМПАС-3D, ...), Топ-Системы (T-FLEX), ..., SpaceClaim, ...; 3D, 4D, 5D, 6D, ...; PLM-технологии = CAD/CAM/CAE/cPDM/...; "PDM is First"; Cloud Computing, SaaS, SoD, Mobility (Android, ...), Sustainability..., социальные сети, ... ; Прямое редактирование, синхронные технологии, аддитивные технологии, интеллектуализация, ... ; Тотальная разработка компонентов CAD-системы заново; упрощение решений, ...; Digital Manufacturing ("Цифровое производство"), умные заводы, умные среды, ...; Слияние и поглощения на CAD-рынке, ...
Software / CAE	Аналитические расчеты на логарифмической линейке и арифмометре, Метод Конечных Разностей (МКР), программы, численные расчеты на ЭВМ	Метод Конечных Элементов (МКЭ, FEA), Пакеты Прикладных Программ (ППП); in-house FEA-software	in-house FEA-software (ППП); CAE-системы (ANSYS, COSMOS, NASTRAN, ...) – 2-D и 3-D линейные статические, стационарные и спектральные задачи, 2-D нелинейные и нестационарные задачи механики деформируемого твердого тела (МДТТ)	FEA/CAE-системы (ANSYS, Abaqus, MSC Software, HyperWorks, LMS, ESI Group, LS-DYNA, ...) – 3-D нелинейные статические, нестационарные и спектральные задачи, новые классы задач (разрушение, композиты, теплопроводность, электромагнетизм, ...); CFD-системы (Fluent, STAR-CD, CFX, ...) – задачи механики жидкости и газа (МЖГ);	Эра "Мульти-": мультидисциплинарность (3-D нелинейные нестационарные задачи механики деформируемого твердого тела, механики композитов и композитных структур, механики жидкости и газа, электромагнетизма, тепломассообмена, акустики и др.) многовариантность, многомодельность, многоуровневость, мнококомпонентность, многокритериальность, ..., MultiScale / MultiStage * MultiDisciplinary * MultiTechnology (MultiCAD, MultiCAE, ...); Мультидисциплинарные надотраслевые FEA/CAE/CFD-системы (ANSYS, SIMULIA/Abaqus, MSC Software, HyperWorks, LMS, ESI Group, LS-DYNA, ...) для решения 3-D нелинейных нестационарных задач МДТТ, МЖГ, электромагнетизма, тепломассообмена, акустики и др. в различных отраслях (авиастроение, автомобилестроение, судостроение, машиностроение, атомная энергетика, нефтегазовая отрасль, транспорт, строительство и т.д.); Слияния и поглощения, например, ANSYS (CFX, Autodyne, Fluent, Ansoft, ...); Развитие HPC-вариантов CAE-систем; Прямое конечно-элементное моделирование, суперкомпьютерный инжиниринг, ...; Развитие "технологических" CAE систем (литье металлов и пластмасс, изготовление композитов, пластическая обработка металлов, сварка, ...); Research Knowledge Management, ...; Cloud Computing, SaaS, SoD, Mobility (Android, ...), Sustainability..., социальные сети, ... ; Концепция "SuperComputer (Smart Mat*Mech)*(Multi3) Simulation and Optimization Based Product Development"; Digital Mock-Up, Digital Manufacturing ("Цифровое производство"), умные заводы, умные среды, ...; "Надотраслевой" трансфер CAE-технологий и компетенций; Слияния и поглощения на CAE-рынке, ...
Hardware	Кульман / логарифмическая линейка, арифмометр; ЭВМ первых поколений, в частности, ламповые ("Урал", М-220, ...);	ЭВМ (IBM; БЭСМ, ЕС ЭВМ), магнитные ленты, терминалы (дисплеи), АЦПУ, графопостроители	Супер-ЭВМ, большие (IBM; БЭСМ, ЕС ЭВМ), магнитные диски; Мини-ЭВМ (PDP, СМ ЭВМ; DEC, ...); Рабочие станции (IBM, HP, Sun, ...); первые персональные компьютеры (PC, ПК); цветные мониторы; цветные струйные и лазерные принтеры	Суперкомпьютеры, широкое распространение Windows-персональных компьютеров; мощные персональные Windows-рабочие станции; локальные сети	Суперкомпьютеры, кластеры, HPC, HP*C-концепция, персональные суперкомпьютеры; широкое распространение мощных персональных Windows-рабочих станций; гетерогенные локальные сети; Концепция "SuperComputer (Smart Mat*Mech)*(Multi3) Simulation and Optimization Based Product Development"; Cloud Computing, SaaS, SoD, Mobility (Android, ...), Sustainability..., социальные сети, ... ;
Brainware	Аналитические оценки и расчеты, написание программ, выполнение численных расчетов	Аналитические оценки и расчеты; разработка ППП, выполнение многовариантных расчетов	Аналитические оценки и расчеты; разработка ППП, выполнение многовариантных расчетов с помощью in-house ППП или CAE-систем	Аналитические оценки и расчеты; разработка ППП, выполнение многовариантных расчетов с помощью CAE-систем; Компьютерный инжиниринг	Эра "Мульти-": мультидисциплинарность (3-D нелинейные нестационарные задачи механики деформируемого твердого тела, механики композитов и композитных структур, механики жидкости и газа, электромагнетизма, тепломассообмена, акустики и др.) многовариантность, многомодельность, многоуровневость, мнококомпонентность, многокритериальность, ..., MultiScale / MultiStage * MultiDisciplinary * MultiTechnology (MultiCAD, MultiCAE, ...); Суперкомпьютерный инжиниринг, ...; Наукоемкие компьютерные технологии и компьютерный инжиниринг как основа для мультидисциплинарных научных исследований = "мультидисциплинарный суперкомпьютерный инжиниринг"; "Надотраслевой" трансфер CAE-технологий и компетенций; Открытые инновации, тотальный реинжиниринг, кайдзен, преемственность поколений, подготовка "Инженерно-Технологического Спецназа", ... Создание интеллектуальных сред нового поколения - Форсайт-структур, обеспечивающих глобальную конкурентоспособность продуктов и изделий и представляющих собой распределенную сеть Инжиниринговых и Технологических центров: Centre of Excellence (Центр превосходства), Центры компетенций, Центры консалтинга, трансфера технологий, повышения уровня компетенций и профессиональной переподготовки, ...

Таблица 1. Таймлайн: этапность развития ключевых групп технологий и рынков.

ИСТОЧНИКИ:

Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010. [11]

Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть I. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 1, 64 – 69. [58]

Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть II. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 2, 58 – 63. [59]

Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть III. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 4, 64 – 75. [60]

– развитие и реализация концепции “цифрового производства” (Digital Manufacturing);

– развитие и применение сервисов: “программное обеспечение как услуга” (SaaS, Software as a Service) и “программное обеспечение по требованию” (SoD, Software on Demand);

– “облачные вычисления” (Cloud Computing), которые, несмотря на некоторые явные преимущества, порождают ряд вопросов: что будет, если связь с Интернетом оборвется? насколько безопасным является хранение данных на общедоступном сервере? и многие другие;

– использование социальных сетей, “социальная разработка изделий” (поддержка таких сервисов как вики, блоги, видеоклипы, Twitter и Facebook, запуск информационно-коммуникационных порталов с надеждой и целью расширения взаимодействия между разработчиками, привлечение их к участию в проекте на самой ранней стадии, улучшение обратной связи с вендорами и укрепление контактов с потребителями);

– создание и реализация Программ инновационного развития госкомпаний, создание и функционирование Технологических Платформ, что отражает российскую современную проблематику, формирование Сообществ Практик, создание и развитие динамичных Форсайт-структур, а также многое другое...

2.2. К вопросу о классификации MCAE–систем

В июле 2008 года известная американская консалтинговая компания Cyon Research Corporation опубликовала аналитический материал под названием “Классификация MCAE-систем проливает свет на структуру рынка”(“Classes of MCAE software: clarifying the market”).

Во-первых, отметим, что классификация программных систем компьютерного инжиниринга (CAE-систем) или программных систем конечно-элементного анализа / инженерного анализа для машиностроения (Mechanical Computer-Aided Engineering, MCAE) предлагается впервые.

Во-вторых, выработка общеупотребительной классификации MCAE-систем является делом не одного года.

В-третьих, всегда существует соблазн применять различного рода классификации в качестве маркетинговых инструментов для продвижения программных продуктов. Отметим, что развитие MCAE-систем разного уровня соответствует общемировому тренду – размывание границ” или “стирание граней” между системами классов mid-range и high-end.

Компания Cyon Research предложила следующие важные признаки классификации MCAE-систем:

– сложность (difficulty) решаемых задач, которые лежат в диапазоне от простых и понятных (straightforward) до чрезвычайно (ужасно) сложных (“hairy”, в переводе с английского означает “жуткий“, “такой трудный, что волосы дыбом встают“);

Рисунок 3. Классификация решаемых задач, лежащая в основе “карты” рыночного сегмента MCAE-систем.

– масштаб задачи (scale) – количественная характеристика, то есть характерный размер отдельных элементов модели или всей модели в целом; пользуясь этим признаком, можно выделить, например, крупные (big) задачи;

– последовательность операций (workflow); так, например, в ряде случаев необходимо проведение итераций в ручном или полуавтоматическом режиме, соответственно, возникает еще один признак – возможность автоматизировать процесс решения задачи с помощью шаблонов (automatable problems).

Таким образом, решаемые с помощью MCAE-систем задачи могут отличаться сложностью, масштабом и возможностью (или невозможностью) автоматизировать процесс решения задачи.

Более того, если сложность или степень интеграции (complexity) задач возрастает, то становится всё труднее отслеживать сами решаемые задачи и используемые последовательности операций. Для управления данными и выполняемым с помощью MCAE-системы вычислительным процессом появились системы управления конечно-элементным моделированием изделия, представленного в цифровой форме (Digital Product Simulation Management, PSM), хотя более логичным и понятным является термин “система SPDM” (Simulation and Process Data Management, SPDM – система управления данными и процессами симуляции).

Отметим, что прямой перевод термина “Simulation” на русский язык как “симуляция” является чрезвычайно неудачным. Cyon Research отмечает, что классификация MCAE-систем “естественным образом” сложилась в ходе дискуссий специалистов компании с поставщиками и заказчиками MCAE-решений. Она стала основой для построения графической "карты" отрасли MCAE, которая была апробирована в общении с пользователями, поставщиками и аналитиками CAE-отрасли.

Как отмечают специалисты Cyon Research, изначально MCAE-системы представляли собой инструменты для инженеров, занимающихся прочностными расчетами в аэрокосмической промышленности. Со временем сфера применения MCAE-систем значительно расширилась и в настоящее время охватывает практически все отрасли промышленности. Как поставщики, так и заказчики признают высокую значимость всестороннего (комплексного) расчетного (как правило, конечно-элементного) исследования проектируемого изделия. Основной целью инженерного анализа является желание получить "изделие в цифровой форме" и применить к цифровой модели все возможные виды компьютерного моделирования (виртуального тестирования), которые, в случае использования реальной модели (физического прототипа), оказались бы слишком дорогостоящими и трудоемкими.

Функциональные возможности MCAE-систем стремительно развиваются. Новые алгоритмы решения всё более сложных промышленных задач максимально используют возрастающую мощь персональных компьютеров, рабочих станций и высокопроизводительных вычислительных систем (суперкомпьютеров и кластеров). Непрерывно совершенствуются алгоритмы автоматизированного построения пространственных конечно-элементных сеток, упрощается пользовательский интерфейс, расширяются средства учета различных видов нелинейностей решаемых задач (геометрических, физических и "контактных" нелинейностей, "генетических" / "наследственных", связанных с передачей полей, возникающих на одном технологическом этапе, на последующий этап; нелинейностей, связанных с учетом прогрессивного повреждения и разрушения материалов и т.д.); возможности моделирования становятся всё более универсальными, развиваются и многие другие функциональные возможности MCAE-систем.

В настоящее время, предлагаются сотни MCAE-систем, предназначенных для решения широкого круга задач. Однако, подчеркнем, что примерно две трети доходов глобального рынка MCAE-систем приходится на долю таких компаний, как Altair Engineering, ANSYS, Inc., Dassault Systèmes, MSC Software и Siemens PLM Software (указаны в алфавитном порядке).

Однако ясного представления о структуре рынка у заказчиков нет. Существует некоторое разделение рынка на сегменты по ценам, но какой-либо четкой взаимосвязи между стоимостью продукта и его функциональными возможностями не наблюдается. Отсутствует также очевидная для пользователя корреляция между стоимостью и удобством; на практике часто возникают ситуации, когда дорогими программами зачастую сложнее пользоваться, чем более дешёвыми.

В процессе анализа рынка машиностроительных CAD-систем (Mechanical Computer-Aided Design, MCAD) аналитики Cyon Research разработали методологию, позволяющую определить характерные особенности этого рынка, которую, в первом приближении, можно попробовать применить к анализу рынка MCAE-систем.

В результате анализа MCAD-систем были выделены два сегмента рынка, различающиеся ценами на продукты, моделью дистрибьюции и принципиальными отличиями потребностей пользователей MCAD-систем. Эти сегменты рынков были названы как “Mainstream” (“массовый”, прежде известный как “mid-range”) и “Specialized” (“специализированный”, для которого ранее использовали термин “high-end”). При этом к классу “Mainstream” относились бы недорогие системы, ориентированные на использование инженерами-конструкторами, а к классу “Specialized” – дорогостоящие инструменты, и, как правило, ориентированные на инженеров-расчетчиков, специалистов и экспертов в области компьютерного инжиниринга. Однако, отмечают специалисты Cyon Research, разделение рынка MCAE-систем на сегменты оказалось не столь простым, как в случае с MCAD-системами.

ИСТОЧНИКИ:

Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть III. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 4, 64 – 75.

2.3. Сложность MCAE–систем

Инженерный анализ (зачастую, мультидисциплинарный анализ) конструкций, машин, систем, устройств и сооружений, по мнению Cyon Research, является областью колоссальной сложности. Так, чтобы разработать математический аппарат для моделирования физико-механического поведения реальных объектов с приемлемой для практического использования точностью, понадобились столетия и интеллект лучших ученых. Создание современных конструкций в авиастроении и в космической технике, в автомобилестроении и судостроении, создание объектов машиностроения, нефтегазоваой отрасли и атомной энергетики, наконец, товаров массового спроса – продолжает ставить сложные научно-технические проблемы, которые заставляют постоянно развивать и совершенствовать методы математического и компьютерного моделирования.

Укажем некоторые аспекты, которые специалисты Cyon Research считают необходимым учитывать при решении задач инженерного анализа с помощью MCAE-систем:

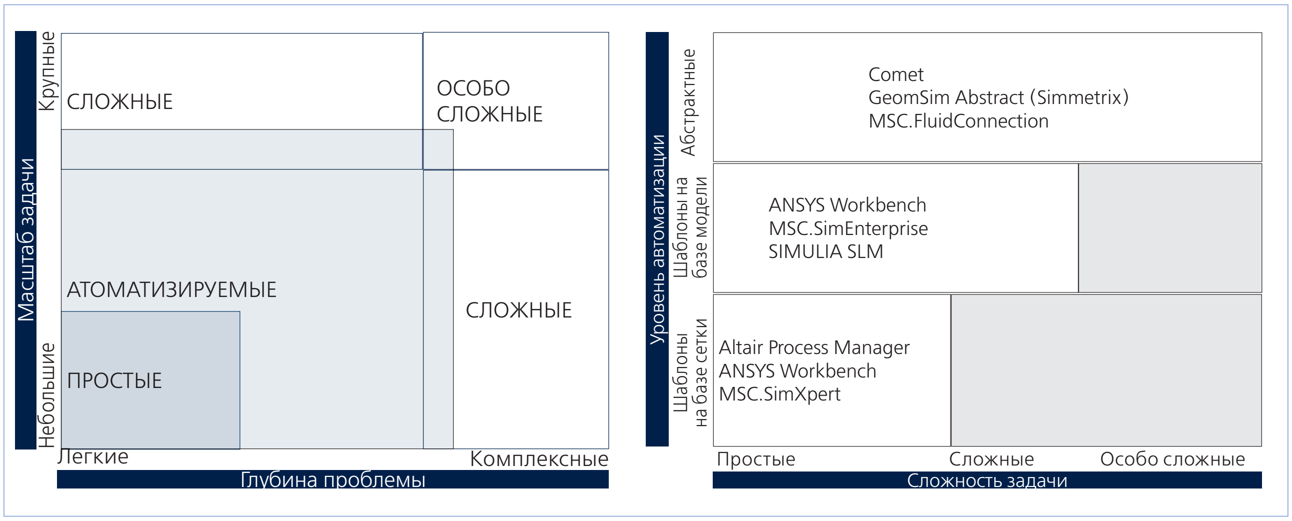


Рисунок 4а. Классификация задач по сложности и область автоматизируемых задач.
Рисунок 4б. Степень автоматизации.

– характер решаемой задачи (линейная / нелинейная; статика / колебания / устойчивость / динамика и т.п.);
– сущность вопросов, на которые необходимо получить ответ;
– степень неопределенности постановки задачи, особенно, в свойствах материалов и граничных условиях;
– геометрия и топология исследуемого объекта;
– условия нагружения;
– связи и узлы;
– свойства материалов;
– взаимосвязь и взаимозависимость физических процессов;
– чувствительность численных результатов к выбору расчетной сетки;
– требуемая точность численного решения;
– нелинейные и нестационарные задачи, наконец, мультидисциплинарные задачи.

Понятно, что MCAE-системы и соответствующие им сегменты рынка являются отражением уровня сложности исследуемых объектов.

2.4. Рынок MCAE–систем

По мнению аналитиков Cyon Research, прибыль крупных и малых компаний увеличивается в зависимости от степени использования функциональных возможностей MCAE-систем в процессе проектирования конкурентоспособных изделий и продуктов. MCAE-системы позволяют отказаться от наиболее дорогостоящих и трудоемких этапов натурных исследований, связанных с изготовлением опытных образцов (Physical Prototyping), и перейти к более оперативному, дешёвому, безопасному и надежному способу проверки конструктивных решений с применением цифровых макетов-прототипов (Digital Mock-Up, Digital Prototyping). Подчеркивается, что вВсе компании, вне зависимости от их размера, получают значительную прибыль в результате сокращения сроков вывода на рынок конкурентоспособных изделий.

Вследствие этого, по мнению Cyon Research, развитие рынка MCAE-систем подошло к той точке, когда сложившиеся ранее представления о его сегментации уже не описывают ситуацию достаточно хорошо. Соответственно, фирмы-вендоры пересматривают свой взгляд на различные целевые сегменты рынка, модифицируют свои MCAE-продукты и разрабатывают новые. Это мнение основывается на быстром росте (в процентном выражении) объема продаж таких массовых (mainstream) MCAD-систем, в комплектацию которых входит и MCAE-инструментарий, например, пакеты SolidWorks Office Premium, Solid Edge с Femap Express, а также Autodesk Inventor Professional (или Autodesk Inventor Simulation Suite).

Уровень интеграции CAE	Простые	Сложные	Особо сложные
Полная интеграция	- CATIA Analysis - Femap Express - Inventor Professional - NX CAE - SolidWorks	- SolidWorks Simulation (COSMOSWorks Advanced Professional)	
Интегрируемая система	- ALGOR Professional Static/LM - Femap с NX Nastran	- ALGOR Professional MES - ANSYS Workbench - Femap с NX Nastran - MSC.Nastran, MSC.SimDesigner - NX CAE	
Автономная система	- ALGOR Professional Designer - COMSOL	- ANSYS Workbench - COMSOL - Altair HyperMesh/HyperWorks - MSC.Nastran/MSC.SimXpert/ SimManager - NX Nastran - SIMULIA/Abaqus - Star-CD	AMPS ANSYS Workbench LS-DYNA MOLDEX-3D MOLDFLOW NX CAE PAM-CRASH ProCAST RADIOSS SIMULIA/Abaqus SYSWELD

Сложность задачи

Рисунок 5. Сопоставление степени интеграции MCAE-систем в процесс разработки изделия и сложности задач, решаемых с применением МКЭ.

Уровень интеграции CAE	Простые	Сложные	Особо сложные
Полная интеграция	- SolidWorks Flow Simulation - Star-CAD Series		
Интегрируемая система	- ALGOR Professional CFD - CFdesign - FloWizard	- ANSYS CFD (CFX, FLUENT) - MSC.FluidConnection - NX Flow - Star-CCM+	
Автономная система	- COMSOL	- ANSYS CFD (CFX, FLUENT) - Star CCM+	- Altair AcuSolve - AMPS - ANSYS CFD (CFX, FLUENT) - CFD ACE+ - CRADLE CFD - NUMECA - Star-CD - XFlow

Сложность задачи

Рисунок 6. Сопоставление степени интеграции MCAE-систем в процесс разработки изделия и сложности задач, решаемых с применением МКЭ.

Основные стейкхолдеры темы

3.1. Основные группы стейкхолдеров CAE– и PLM– систем

Среди основных групп стейкхолдеров компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE) и PLM-технологий (Product Lifecycle Management, PLM) выделим группы:

– фирмы-разработчики (фирмы-вендоры) CAE- и PLM- систем,

– CAE-эксперты (специалисты в области применения CAE-систем, обладающие компетенциями мирового уровня, – “инженерный спецназ” – термин, введенный на рубеже XX–XXI веков проф. А.И. Боровковым), а также специалисты с разным уровнем квалификации и компетенций, например, инженеры-конструкторы, инженеры-расчетчики, инженеры-технологи, другие “пользователи” CAE-систем, в частности, в университетах: студенты, аспиранты, научные сотрудники, инженеры и преподаватели университетов;

– промышленные фирмы: государственные и частные корпорации, концерны, холдинги, НПО, НИИ, КБ, фирмы малого и среднего бизнеса, малые инновационные предприятия и т.д., которые разрабатывают высокотехнологичную и, как правило, наукоемкую продукцию и, конечно же, выступают в роли “работодателей” для CAE-специалистов; в эту группу включим IT- и HPC-специалистов, в частности, системных администраторов ВЦ, локальных и корпоративных сетей, специалистов по высокопроизводительным вычислительным системам (кластерам, суперкомпьютерам и т.д.), а также других специалистов, обеспечивающих эффективное использование CAE-систем;

– профессиональные Ассоциации, Сообщества Практик, включая неформальные Internet-сообщества и т.д.

Прежде всего отметим, что часто и широко применяемый термин “пользователь” CAE-системы выглядит достаточно абсурдно и принципиально не корректно. Это станет предельно понятно, если вспомнить, что CAE-системы, как правило:

– представляют собой мультидисциплинарные надотраслевые программные системы конечно-элементного анализа, т.е. наукоемкие программные системы, трудозатраты на разработку которых оцениваются в тысячи и десятки тысяч человеко-лет (например, трудозатраты на разработку CAE-системы ANSYS, которая является лидером CAE-рынка, оцениваются в 35 000 человеко-лет);

– предназначены для эффективного решения нестационарных нелинейных пространственных задач, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных; часто, даже, чтобы понять о чем идет речь, не говоря уже о постановке задачи, эффективном ее решении, верификации и валидации, анализе и интерпретации результатов численного моделирования, нужно получить элитарное физико-математическое и инженерное образование, как правило, мультидисциплинарное образование.

"Пользователь CAE-системы" звучит примерно так же, как если бы мы начали употреблять словосочетания типа "пользователь болида Formula 1", "пользователь самолета Boeing", "пользователь космического корабля" и т. д. Нужно понимать, что количество CAE-экспертов какой-либо узкоспециализированной наукоемкой CAE-системы может быть значительно меньше, чем, например, количество космонавтов в России.

3.2. Основные стейкхолдеры CAE– и PLM– систем

Основные стейкхолдеры в области компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE) и PLM-технологий:

– Президент РФ, Правительство РФ, Президентский Совет по модернизации экономики и инновационному развитию РФ, Экспертный и Координационный Советы по технологическому и промышленному форсайту (на базе ЦСР «Северо-Запад»), Министерства (Министерства промышленности и торговли, Министерство образования и науки, Министерство экономического развития и др., а также Агентство стратегических инициатив), которые уделяют особое внимание развитию высокотехнологичной промышленности и подготовке конкурентоспособных кадров, а потому косвенно являются стейкхолдерами, в частности, с учетом и в рамках реализации разработанных Стратегии инновационного развития РФ до 2020 года и Отраслевых стратегических документов:
– Стратегия развития авиационной промышленности на период до 2015 года;
– Стратегия развития автомобильной промышленности на период до 2020 года;
– Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2020 года и на дальнейшую перспективу;
– Стратегия развития металлургической промышленности на период до 2020 года;
– Стратегия развития энергомашиностроения на 2010–2020 годы и на перспективу до 2030 года;
– Стратегия развития транспортного машиностроения в 2007–2010 годах и на период до 2015 года;
– Стратегия развития тяжелого машиностроения на период до 2020 года;
– Стратегия развития химической и нефтехимической промышленности на период до 2015 года;
– Стратегия развития электронной промышленности на период до 2025 года;
а также в рамках реализации следующих Программ:
– Программ инновационного развития государственных корпораций и компаний с государственным участием,
– Программ развития ведущих государственных университетов (национальных, федеральных (ФУ)и национальных исследовательских (НИУ)), в первую очередь, технических университетов;
– Ведомственной целевой программы "Повышение эффективности отраслевых систем подготовки кадров и повышения квалификации руководящих сотрудников и специалистов в высокотехнологичных секторах промышленности";
и других Программ, направленных на разработку и создание глобально конкурентоспособных и востребованных продукции и услуг нового поколения, а также конкурентоспособных кадров, обладающих компетенциями

William Morgan, английская компании Morgan Design Analysis Ltd., которая специализируется на проектировании и инженерном анализе:

"Для проведения анализа необходимы специалисты. Очень немногие способны одновременно справляться с CAD и FEA. Это можно считать или не считать изъяном, но вариант упрощения инженерного анализа до абсурда (dumbing down) рассматривать не стоит".

мирового уровня – следует особого упоминания разрабатываемая под эгидой Агентства стратегических инициатив Национальная система квалификаций и компетенций (НСКК).

В условиях глобализации, гиперконкуренции и постоянно ускоряющихся изменений круг стейкхолдеров CAE-систем постоянно расширяется и включает в себя достаточно узкий круг CAE-экспертов (CAE-профессионалов), широкий спектр CAE-специалистов с разным уровнем квалификации и компетенций (инженеров-конструкторов, инженеров-расчетчиков, инженеров-технологов, студентов, аспирантов, научных сотрудников, инженеров и преподавателей университетов) из следующих организаций:

– технические университеты, математико-механические и физико-математические факультеты классических университетов;
– 40 членов Ассоциации ведущих университетов России, включающей 2 национальных университета, 29 НИУ и 9 ФУ;
– 57 вузов, реализовавших Инновационные образовательные программы (ИОП) в рамках Приоритетного национального проекта "Образование" в 2006–2008 гг.;
– 55 вузов-победителей конкурса поддержки Программ стратегического развития университетов;
а также около половины университетов, реализующих Постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 (77 вузов), 219 (56 вузов), 220 (26 вузов) и 132 члена Ассоциации технических университетов России;

– национальные научно-исследовательские организации и научные фонды (например, National Science Foundation, National Research Funding and Technology Research Organizations и др.), в том числе институты Российской Академии наук (РАН), Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ), Некоммерческая организация Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий (Фонд "Сколково"), Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и др.);

– промышленность (The industry):
– отечественные компании, представляющие наукоемкий и высокотехнологичный сектор реальной экономики: промышленные и научно-внедренческие, консалтинговые и инжиниринговые фирмы, т.е. потенциальные заказчики работ, услуг и инженерных сервисов в рамках Outsourcing/Outstaffing-проектов и потребители выпускников, владеющих компьютерными технологиями мирового уровня, обладающих высокой квалификацией и ключевыми компетенциями:
– 47 Госкомпаний (акционерных обществ с государственным участием, государственных корпораций, федеральных государственных унитарных предприятий), разрабатывающих и реализующих программы инновационного развития (ПИР) в соответствии с перечнем, утвержденным Решением Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 3 августа 2010 г., протокол № 4 (по данным Информационно-коммуникационной площадки Минобрнауки России по состоянию на 31.12.2011 г. участниками ПИР госкомпаний является 241 вуз), а также ОАО "РОСНАНО" и ОАО "Российская венчурная компания";
– предприятия, входящие в состав 27 технологических платформ, перечень которых утвержден Решением Правительственной комиссии по

высоким технологиям и инновациям от 1 апреля 2011 г., протокол № 2 (по данным Информационно-коммуникационной площадки Минобрнауки России по состоянию на 31.12.2011 г. участниками технологических платформ является 41 вуз);

– Государственные научные центры (ГНЦ), Центральные и Специальные КБ (ЦКБ, СКБ), Центральные НИИ (ЦНИИ), НИИ, Научно-производственные объединения (НПО), ФГУП, Холдинги, Концерны и Корпорации;

– лидеры мировой промышленности (The World Industry Top, см., в первую очередь, Fortune Top500 Global List);

– ведущие мировые Hi-Tech-компании-вендоры

– разработчики передового Hardware-оборудования и высокопроизводительных вычислительных систем (IBM, CRAY, HP, Intel, AMD, Т-платформы и др.);

– наукоемкого Software, в первую очередь, CAD/FEA/CFD/CAE-мультидисциплинарных надотраслевых технологий и PLM-технологий, а также смежных компьютерных технологий и программных систем (по алфавиту): Altair Engineering, ANSYS, Autodesk, Bentley System, Cimatron, Cadence Design Systems, CD-adapco, CNC Software, Componeering, CoreTech Systems, Dassault Systèmes, Delcam, e-Xstream Engineering, ESI Group, Intergraph, KISSsoft, Livermore Software Technology Corporation, LMS International, Mentor Graphics, MSC Software, National Instruments, NEi Software, PTC, Siemens PLM Software, ADEM, АСКОН, ГеММа, ЛЕДАС, Топ-Системы и др.;

– профессиональные сообщества и объединения, а также другие сообщества-стейкхолдеры, в том числе:

– International Association of Computational Mechanics (IACM), а также региональные Ассоциации (по странам);

– National Agency of Finite Element Methods and Standards (NAFEMS);

– American Society of Mechanical Engineers (ASME), Американское общество инженеров-механиков;

– American Society of Civil Engineers (ASCE), Американское общество инженеров-строителей;

– The Aerospace Industries Association (AIA), Ассоциация авиакосмической промышленности;

– American Society for Testing and Materials (ASTM), Американское общество по испытанию материалов;

– American Welding Society (AWS), Американское общество по сварке;

– Society of Automotive Engineers International (SAE), Сообщество автомобильных инженеров;

– The Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge, Лондонское королевское общество по развитию знаний о природе;

– Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), Институт инженеров по электротехнике и электронике;

– Российский союз промышленников и предпринимателей (РСПП);

– Союз Машиностроителей России;

– Российский союз нефтегазостроителей;

– Российская инженерная академия (РИА);

– Ассоциация инженерного образования России (АИОР);

– Съезд инженеров России;

– Российский союз научных и инженерных общественных организаций;

– выпускники технических университетов и инженерных вузов;

	Технологии внедряются точечно фирмами-лидерами (фирмами-инноваторами)	Формирование рынка технологий (расширение круга ведущих фирм, «догоняющие» фирмы на основе принципа «искусство выхода вторым на рынок»)	Рост рынка технологий («фирмы – ранние последователи»)	Массовое внедрение технологий	Отстающие фирмы (не «догоняющие», а именно «отстающие», т.к. в большинстве случаев догнать уже невозможно)
компании	Boeing , EADS (Airbus), Lockheed Martin, BAE Systems / NASA, Air Force Lab., ... / National Labs. (Livermore, Los-Alamos, Sandia, ...) / General Electric , Siemens, ... / BMW, Daimler, General Motors, Toyota, ...;	General Dynamics, Raytheon, ... / British Petroleum, Shell, Schlumberger, Statoil, Weatherford, ... / Hyundai Heavy Industries, Samsung Heavy Industries, ... / Universities / ВНИИЭФ, ВНИИТФ, ГК Росатом, “Атомэнергопром”, ЦАГИ, “Сухой”, “МиГ”, “Туполев”, “Ильюшин”, ЦИАМ, Авиадвигатель, СНТК “Кузнецов”, МПП “Салют”, НПО “Сатурн”, “Климов”, “Вертолеты России”, РКК “Энергия” им. С.П. Королева, ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”, ИСС им. М.Ф. Решетнева, ГРЦ им. В.П. Макеева, НПО им. С.А. Лавочкина, “Силовые машины”, АВТОВАЗ, КАМАЗ, ..., ЦКБ МТ “Рубин”, ЦКБ “Малахит”, ...	LG Electronics, Panasonic, Samsung Electronics, Whirlpool, ... / Нефтегазовая отрасль (магистральные трубопроводы) Газпром, Роснефть, ... / Строительство, высотные сооружения / Университеты, Институты РАН	Гидроэнергетика (РусГидро) / Металлургия (Северсталь, металлургические заводы) / Бытовая техника / Инновационные и высокотехнологичные компании среднего и малого бизнеса, не имеющие специализированных подразделений (КБ, расчетные отделы, ...)	Сетевые компании (ФСК, МРСК, ...) / Компании и фирмы, применяющие CAE-системы от случая к случаю или не применяющие совсем
группы компаний и отраслей	Boeing , EADS (Airbus, ...), Lockheed Martin, BAE Systems / NASA, Air Force Lab., ... / National Labs. (Livermore, Los-Alamos, Sandia, ...) / General Electric , Siemens, ... / BMW, Daimler, General Motors, Toyota, ...; Военно-промышленный комплекс Авиастроение Авиадвигателестроение Автомобилестроение Энергомашиностроение Атомная энергетика	General Dynamics, Raytheon, ... / BP, Shell, Statoil / Hyundai и Samsung Heavy Industries, ... Военно-промышленный и оборонно-промышленный комплекс Нефтегазовая отрасль (добыча, переработка) Судостроение	Электроника, бытовая техника (LG Electronics, Panasonic, Samsung Electronics, Whirlpool, ...) / Нефтегазовая отрасль (магистральные трубопроводы) Газпром, Роснефть, ... / Строительство, высотные сооружения / Университеты, Институты РАН	Гидроэнергетика (РусГидро) / Металлургия (Северсталь, металлургические заводы) / Бытовая техника / Инновационные и высокотехнологичные компании среднего и малого бизнеса, не имеющие специализированных подразделений (КБ, расчетные отделы, ...)	Сетевые компании (ФСК, МРСК, ...) / Компании и фирмы, применяющие CAE-системы от случая к случаю или не применяющие совсем
отрасли и регионы мира	Авиастроение (США, страны ЕС) Автомобилестроение (США, страны ЕС, Япония) ...	Авиастроение (США, страны ЕС, Россия); Автомобилестроение (США, страны ЕС, Япония, Россия); Нефтегазовая отрасль (добыча, переработка) (США, страны ЕС) Судостроение (Корея, страны ЕС, Россия)	Практически все отрасли / Практически все регионы и страны, где есть машиностроительные предприятия	Практически все отрасли / Практически все регионы и страны, где есть предприятия реального сектора экономики	Сетевые компании (ФСК, МРСК, ...) / Компании и фирмы, применяющие CAE-системы от случая к случаю или не применяющие совсем

Таблица 2. Степень проникновения ключевых технологий в промышленность (степень их внедрения в мире и России).

– Национальные и мировые масс-медиа (The media, Mediaholders), газета ПОИСК, журналы “CAD/CAM/CAE Observer“, “САПР и графика“, “Вычислительная механика сплошных сред”, “Инженерное образование”, “Конструктор-машиностроитель”, ANSYS Advantage, ANSYS Solutions, Benchmark (NAFEMS), CAD Engineer, Computers & Structures, Concept to Reality (Altair Engineering), Contact Mag (Dassault Systèmes), Engineering Computations, FEA Information, Finite Elements and Design, PLM News (Siemens PLM Software), Simulating Reality Magazine (MSC Software), справочник “Каталог САПР. Программы и производители”, “Энциклопедия PLM” и многие другие издания.

3.3. Cyon Research: Анализ CAD/CAE–сегмента [11]

В 2010 году аналитическая компания Cyon Research провела опрос специалистов из CAD/CAE-сегмента. Среди опрошенных CAD/CAE-специалистов 56% составили инженеры, 18% - генеральные директора и топ-менеджеры фирм, применяющих в своей деятельности CAD/CAE-системы, 11% - конструкторы, 8% - руководители среднего звена, 7% - другие категории (Рис. 7).

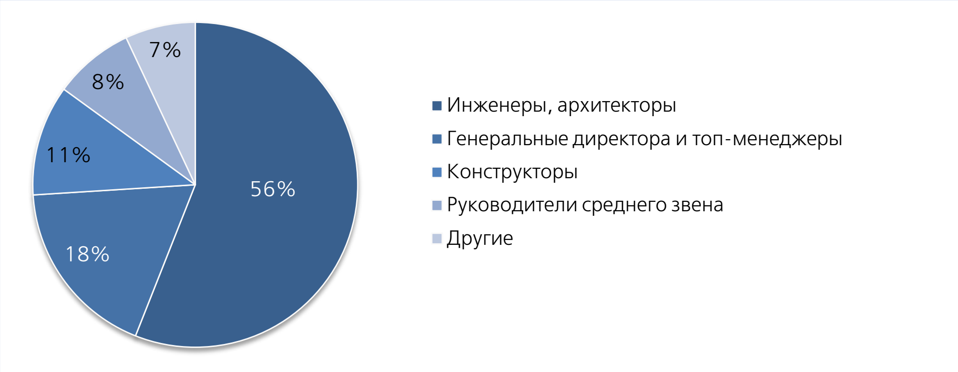


Рисунок 7. Респонденты по сфере занятости (Respondents by role).
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Рис. 8 характеризует отраслевую принадлежность респондентов в аналитическом исследовании Cyon Research. Среди общего числа респондентов более всего – 24% разработчиков промышленного оборудования, далее идут специалисты аэрокосмической и оборонной промышленности (19%), электронной промышленности (17%), автомобильной промышленности и производства потребительских товаров (по 16%), разработчиков медицинских приборов и техники (14%), других отраслей (32% суммарно).

Рисунок 8. Респонденты по отраслям. Многие респонденты заняты более, чем в одной отрасли. (Respondents by industry sector. Many respondents’ firms participate in more than one sector.
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Больше всего респондентов используют следующие CAD-системы:
- 47% Autodesk AutoCAD ("электронный кульман" для выпуска 2-D чертежей по-прежнему является одной из самых популярных CAD-систем в мире);
- 34% DS SolidWorks;
- 24% PTC Pro/Enginner;
- 20% Autodesk Inventor;
- 13% Siemens PLM Software NX;
- 10% DS CATIA V5;
- 9% Siemens PLMSoftware Solid Edge.

Больше всего респондентов используют следующие CAE-системы:
- 57% ANSYS (15% - ANSYS Workbench, 11% - ANSYS Mechanics, по 9% - ANSYS Multiphysics и Fluent, 6% - ANSYS CFX, лишь 3% - ANSYS EKM, 4% - ANSYS (другое));
- 47% Dassault Systèmes (15% - SolidWorks Premium, 12% - SolidWorks Simulation Pro, 9% - Abaqus, ...);
- 26% MSC Software (10% - Nastran, 7% - Patran, 6% - ADAMS, 3% - Marc);
- 17% Siemens PLM Software (6% - NX Nastran, 6% - NX CAE, 5% - FEMAP);
- 16% Autodesk (7% - Algor Simulation, 4% - Moldflow)
- 13% PTC Pro/Mechanica;
- 10% Altair (6% - HyperMesh, 4% - HyperWorks);
- 4% COMSOL Multiphysics;
- 4% NEi Software.

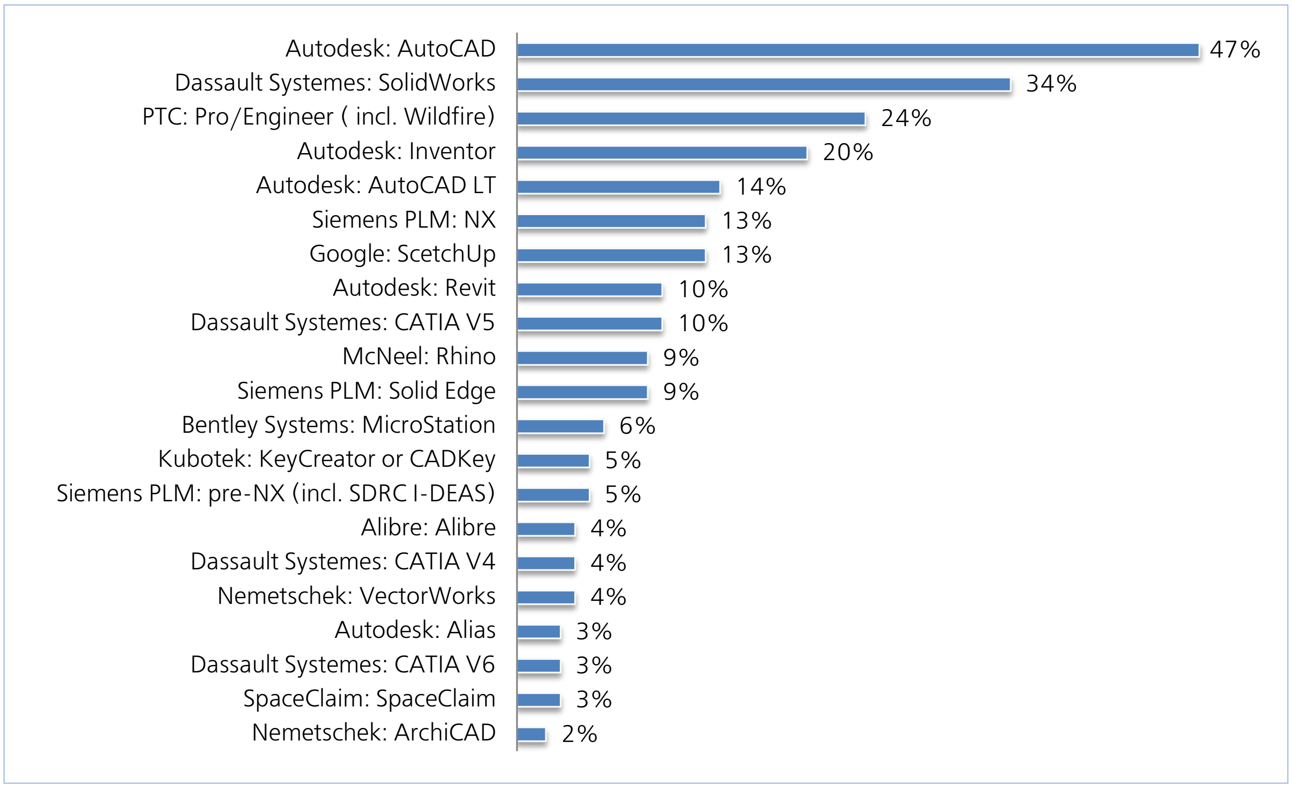


Рисунок 9. Респонденты, использующие CAD-технологии.
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Согласно опросам Cyon Research менее всего склонны к смене CAD-системы разработчики медицинских приборов и потребительских товаров, конструкторы, работающие в производственном секторе "сырье и материалы для промышленного производства" (около 65%).

Менее других довольны используемой CAD-системой (соответственно, не исключают возможного перехода на новую CAD-систему) судостроители (40%) и разработчики строительных конструкций (46%).

К "золотой середине" относятся разработчики промышленного оборудования (53,5%), представители аэрокосмической и оборонной промышленности (54,5%), электронной (58%) и автомобильной промышленности (60%).

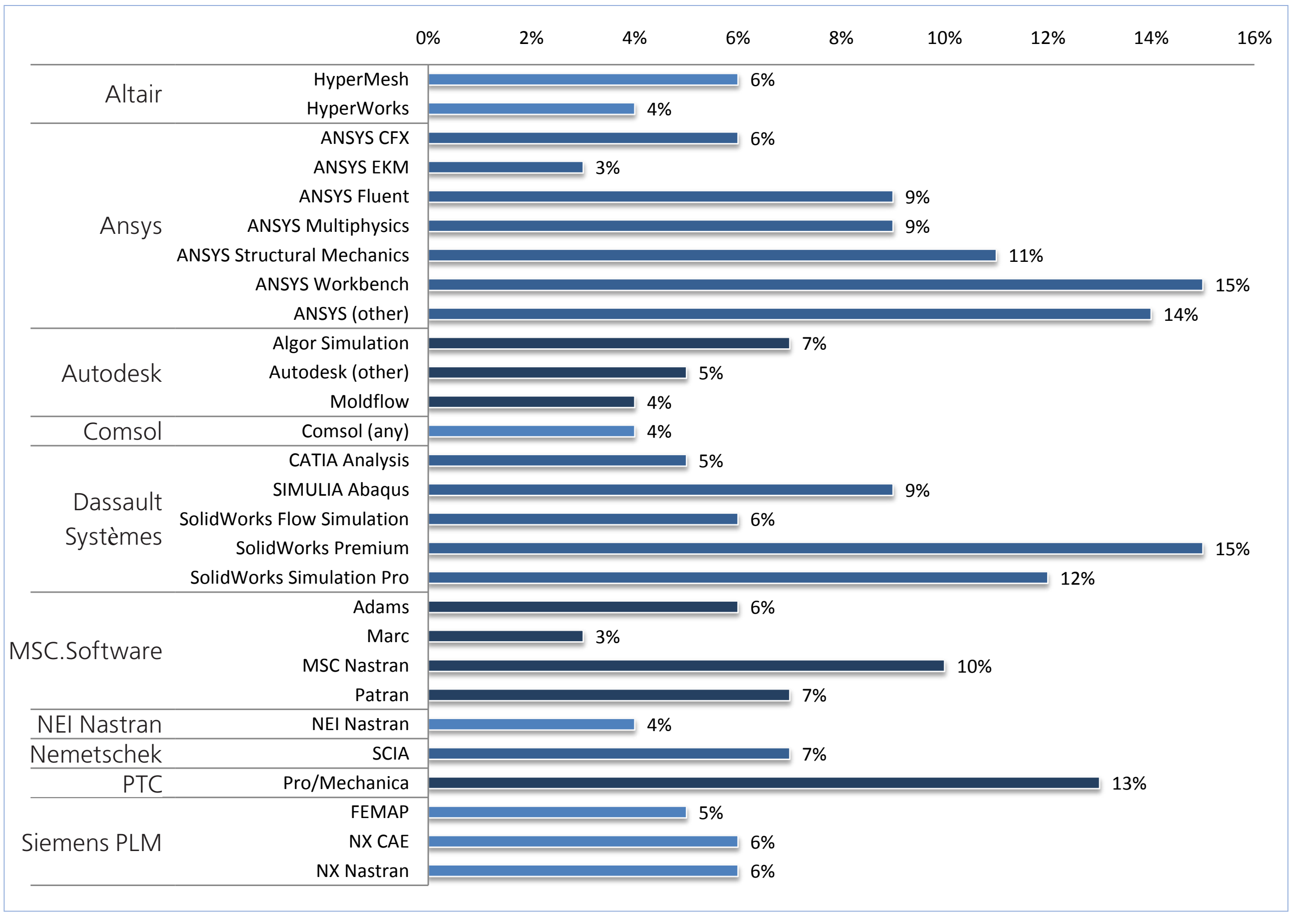


Рисунок 10. Респонденты, использующие CAE-технологии.
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

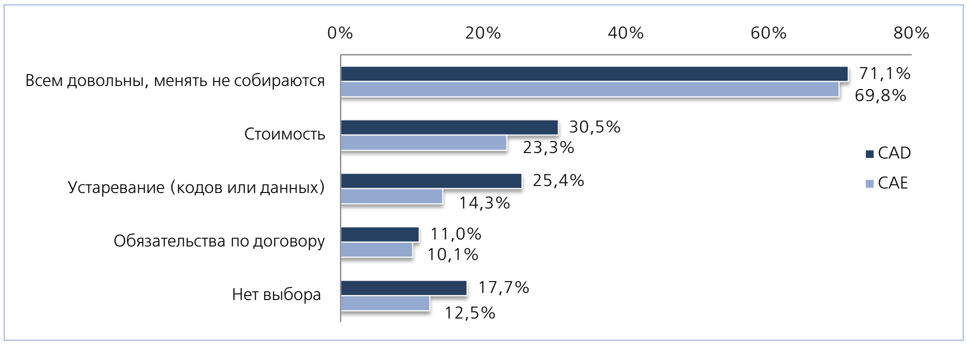


Рисунок 11. Что удерживает респондентов от перехода на другие CAD/CAE-технологии?
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Из опубликованного отчета аналитической компании Cyon Research следует, что (рис. 11):
- 71,1% (69,8%) респондентов довольны используемой CAD (CAE) -системой и не предполагают ее менять;
- 30,5% (23,3%) респондентов от смены CAD (CAE) -системы удерживает высокая стоимость CAD (CAE) -систем (например, "стоимость покупки-установки-обучения и т.д." значительно больше стоимости "технического сопровождения имеющейся CAD-(CAE) системы", а новая CAD (CAE) -система не гарантирует значительных преимуществ по сравнению с используемой).

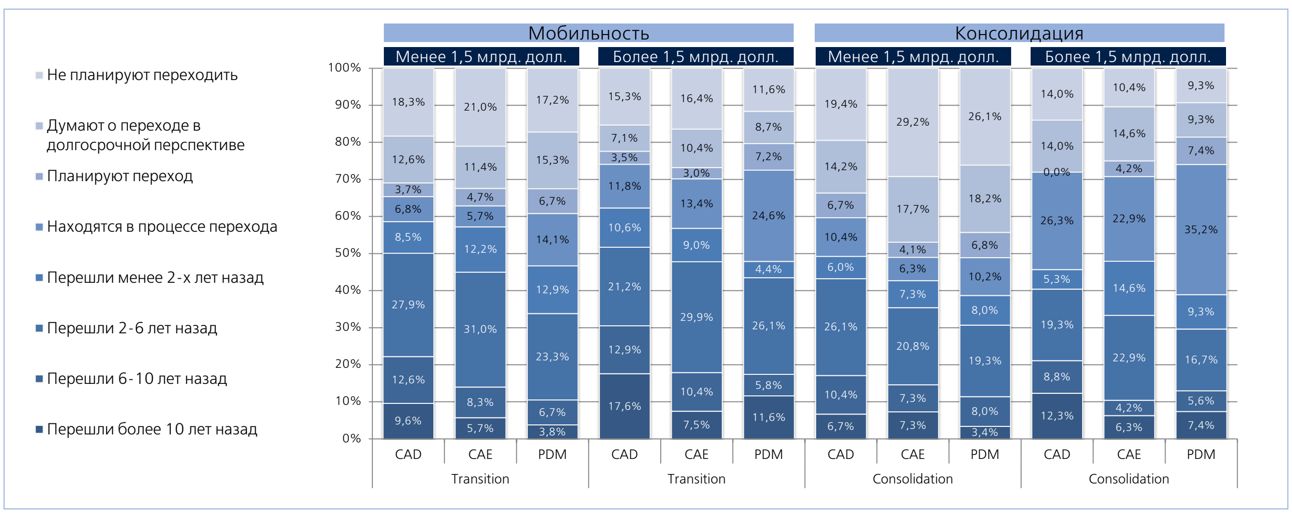


Рисунок 12. Переходы респондентов на другие CAD-, CAE-, PDM-технологии, распределенные по компаниям с годовым доходом более или менее 1.5 млрд. долларов.
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Рис. 12 дает детальную информацию о распределении респондентов (по вертикали, в процентах) по вариантам:

- "переходили на новую CAD/CAE/PDM-систему"
    - o "более 10 лет назад" (9,6% / 5,7% / около 4%);
    - o "6 - 10 лет назад" (12,6% / 8,3% / 6,7 %);
    - o "2 - 6 лет назад" (27,9% / 31,0% / 23,3 %);
    - o "менее 2 лет назад" (8,5% / 12,2% / 12,9 %);

- "переходим или планируем в ближайшее время перейти на новую CAD/CAE/PDM-систему" (23,1% / 21,8% / 35,9 %);

- "никогда не перейдем на новую CAD/CAE/PDM-систему" (18,3% / 21,0% / 17,2 %).

Из представленных данных можно сделать выводы:

- наиболее "мобильным" является PDM-сегмент (35,9% респондентом предполагают перейти на новую PDM-систему в ближайшее время);

- наиболее трудоемким является переход на новую CAE-систему (точнее, "освоение" новой CAE-системы, связанное с переподготовкой CAE-специалистов) – 21% респондентов "никогда не будут переходить на новую CAE-систему".

Отметим, что данные опросов представлены как для компаний с годовым доходом менее 1,5 млрд. долларов (A1-фирмы), так для фирм с годовым доходом более 1,5 млрд. долларов (A2-фирмы). Видно, что более A1-фирмы являются и более "мобильными", что напрямую связано с бюджетами фирм, например, 11,8% / 13,4% / 24,6% респондентов из A1-фирм находятся на этапе смены CAD/CAE/PDM-системы, в то время как лишь 6,8% / 5,7% / 14,1% респондентов из A2-фирм подтвердили смену CAD/CAE/PDM-системы в настоящее время.

На рис. 12 для A1- и A2-фирм представлены также данные по "консолидации" (укреплению и объединению) CAD/CAE/PDM-систем. Обращает на себя внимание, что бюджеты A1- и A2- фирм и в этом случае играют ключевую роль: консолидацию CAD/CAE/PDM-систем в настоящее время подтвердили 26,3% / 22,9% / 35,2% респондентов из A1-фирм, в то время как респонденты из A2-фирм об "укреплении" CAD/CAE/PDM-систем ответили так: 10,4% / 6,3% / 10,2%.

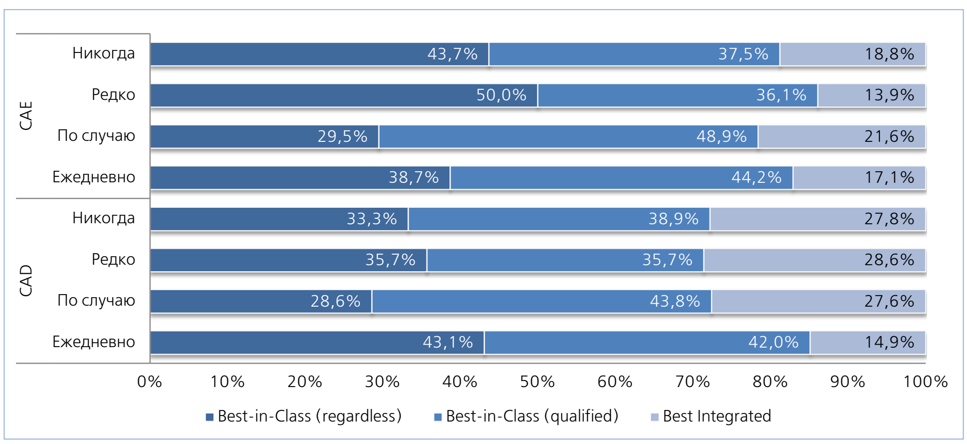


Рисунок 13. Лучшие в своем классе по сравнению с лучшими по интеграции: CAD, CAE. Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Из рис. 13 следует, что большинство респондентов-профессионалов предпочитают ежедневно использовать "Best-in-Class" (передовые, лучшие) CAD/CAE-системы (85,1% / 83%), чем "Best Integrated" ("встроенные") CAD/CAE-системы (14,9% / 17%). Отметим, что примерно также распределились и респонденты, которые реже (не каждый день) используют CAD/CAE-системы, т.е. можно утверждать, что "Best-in-Class" есть "Best-in-Class".

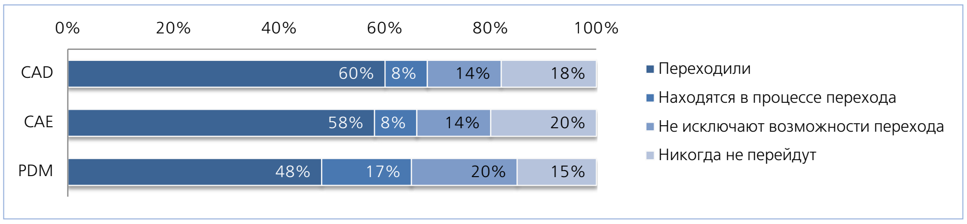


Рисунок 14. Переходы респондентов на другие CAD-, CAE-, PDM-технологии.
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Из рис. 14 следует, что уже осуществляли переход на новую CAD/CAE/PDM систему 60% / 58% / 49% респондентов, а 18% / 19% / 15% респондентов никогда не будут переходить на новую CAD/CAE/PDM систему.

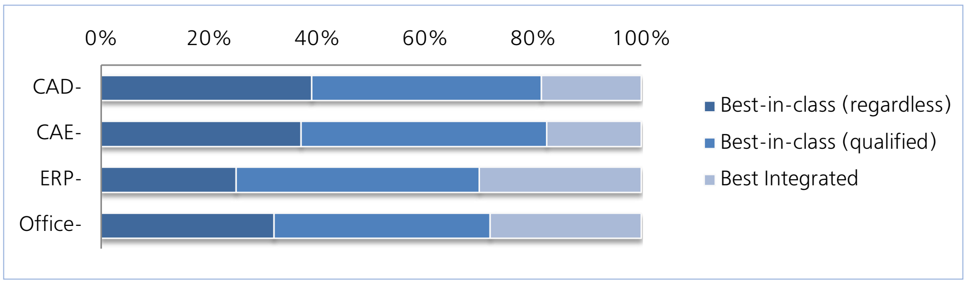


Рисунок 15. Лучшие в своем классе по сравнению с лучшими по интеграции (Best-in-class versus Best Integrated).
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Из рис. 15 следует, что более 80% CAD/CAE-специалистов-респондентов предпочитают “Best-in-Class” CAD/CAE-системы, в то время как среди пользователей Office/ERP-систем таких респондентов около 70%, соответственно, около 30% респондентов предпочитают “хорошо интегрированные” (“Best Integrated”) Office/ERP-системы, что, вообще говоря, ожидаемо.

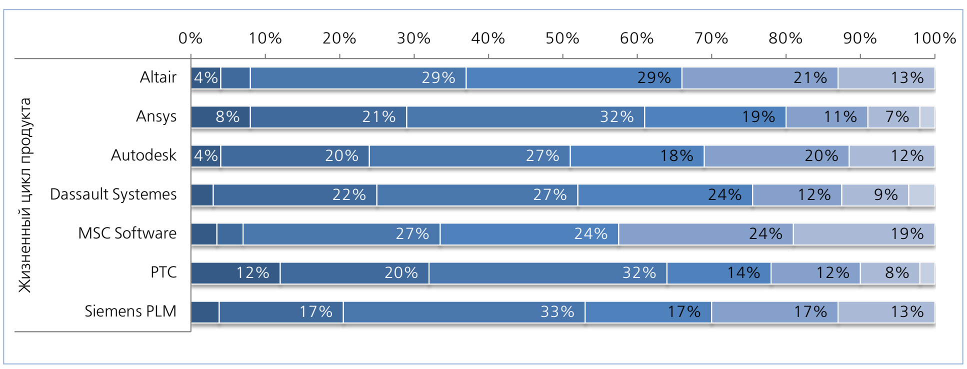


Рисунок 16. “Ожидания улучшений” от основных CAE-систем (Altair, ANSYS, Autodesk Algor, DS SIMULIA/Abaqus, MSC Software, PTC, Siemens PLM Software).
Источник: Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010.

Рис. 16 иллюстрирует "ожидания улучшений" от основных CAE-систем (Altair, ANSYS, Autodesk Algor, DS SIMULIA/Abaqus, MSC Software, PTC, Siemens PLM Software). Из рис. 9с следует, что 67% респондентов ожидают улучшений MSC Software (это понятно, т.к. MSC Software в последние годы заметно сдает позиции), 64% респондентов ожидают улучшений от HyperWorks-CAE-системы от Altair Engineering, но совсем по другой причине – HyperWorks-CAE-система в последние годы стремительно развивается. Менее всего ждут значительных улучшений от ANSYS (37%) и PTC (35%) – опять-таки по совершенно разным причинам. ANSYS – лидер CAE-рынка, причем ANSYS – полноценная программная система для проведения мультидисциплинарных исследований и компьютерного инжиниринга практически во всех отраслях промышленности, что позволяет отнести ее к классу "надотраслевых" CAE-систем. PTC, наоборот, не имеет полноценной CAE-системы (специалистам понятно, что Pro/Mechanica в современном ее состоянии и MathCAD не могут составить конкуренции CAE-системам-лидерам). Отметим, что 12% / 8% респондентов ожидают, что с PTC / ANSYS в дальнейшем "будет только хуже". Если относительно PTC это еще как-то можно понять, то относительно ANSYS это нужно понимать так, что "ANSYS уже сейчас настолько хорош, что значительных улучшений в ближайшее время ожидать затруднительно".

Финансовый анализ рынка CAD-, CAE- и PLM-технологий

ИСТОЧНИКИ:

Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2010 г. Часть I. / Доходы "королей" на выходе из экономического кризиса // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 2, 10 – 20. [77]

Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2010 г. Часть II. / Географический аспект извлечения доходов в период выхода из мирового кризиса // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 3, 9 – 18. [78]

Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2011 г. Часть I. / Обзор доходов "королей" // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 3, 10 – 25.[79]

На прошедшем в конце марта 2012 года North American PLM Market & Industry Forum авторитетная аналитическая компания CIMdata опубликовала уточненную оценку объемов мирового рынка PLM – в 2011 году глобальный рынок PLM увеличился на 15,2%, достигнув объема в 29,98 миллиардов долларов США.

Напомним, что CIMdata рассматривает PLM-технологии как бизнес-подход к управлению жизненным циклом изделий (ЖЦИ) на всех его этапах, который делит на два сегмента:

– Comprehensive PLM – всеобъемлющий, или полный PLM, соответственно, Comprehensive PLM Market (рынок полного PLM);

– Mainstream PLM – мейнстримовский, или массовый PLM, соответственно, Mainstream PLM Market (рынок массового PLM).

Рынок мейнстримовского или массового PLM состоит из машиностроительных CAD-систем класса high-end (MultiDiscipline MCAD, MCAD-MD) и машиностроительных CAD-систем класса mid-range (Design Focused MCAD, MCAD-DF); CAM-систем для технологической подготовки производства, как включенных в состав CAD-систем, так и автономных; программных систем мультидисциплинарных исследований и инженерного анализа – программных систем компьютерного инжиниринга (CAE-систем или S&A-систем, Simulation & Analysis); систем обеспечения цифрового производства (DM-систем, Digital Manufacturing); всеобъемлющих коллаборативных систем управления процессами создания данных об изделии (Comprehensive cPDM), которые часто именуют PLM-системами, что представляется не корректным сужением значения термина PLM; программного обеспечния системных интеграторов (System Integrator, SI) и ресселеров (Value Added Resellers, VAR).

Рынок всеобъемлющего или полного PLM включает в себя, естественного, весь рынок массового PLM, а также секторы систем проектирования электротехнических и электронных изделий (Electronic Design Automation, EDA), систем архитектурно-строительного проектирования (Architecture Engineering Construction, AEC) и других специализированных приложений.

На рисунках представлены структуры рынков всеобъемлющего и массового PLM. Рынки полного и массового PLM в 2011 г. выросли на 14,2% каждый и их объемы оцениваются в 29,7 и 18,7 млрд. долларов., соответственно.

На картосхеме представлены фирмы-лидеры мирового рынка CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-технологий и AEC/BIM (Building Information Modeling)- технологий, их доходы в 2011 г. (в млн. долларов), а также темпы роста (в %).

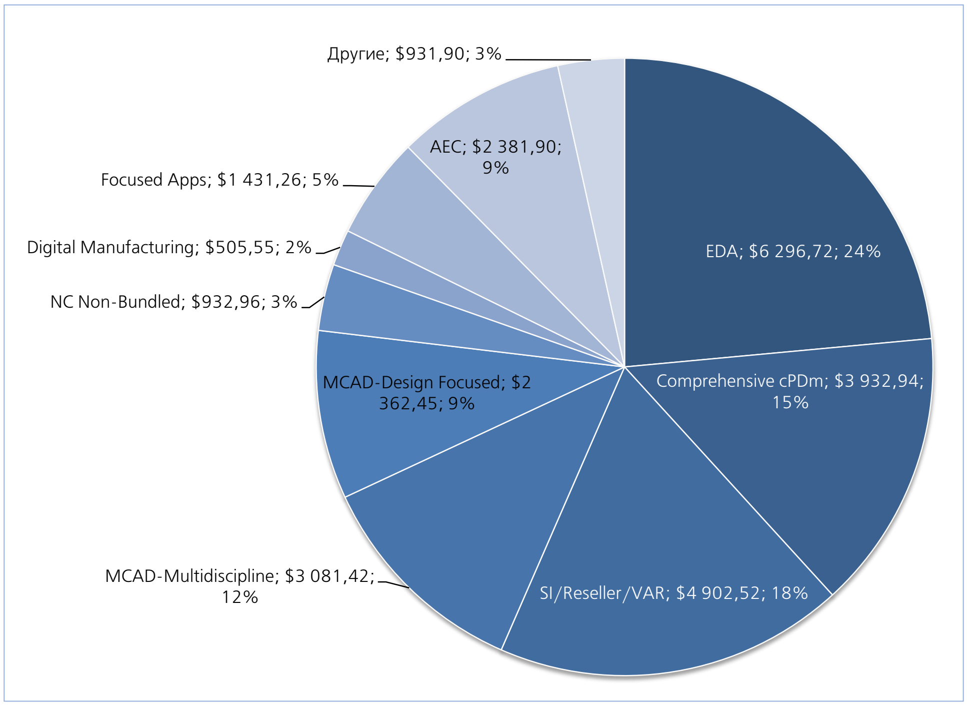


Рисунок 17. Структура рынка “всеобъемлющего” PLM в 2011 г.
Источник: Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2011 г. Часть I. / Обзор доходов “королей” // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 3, 10 – 25.

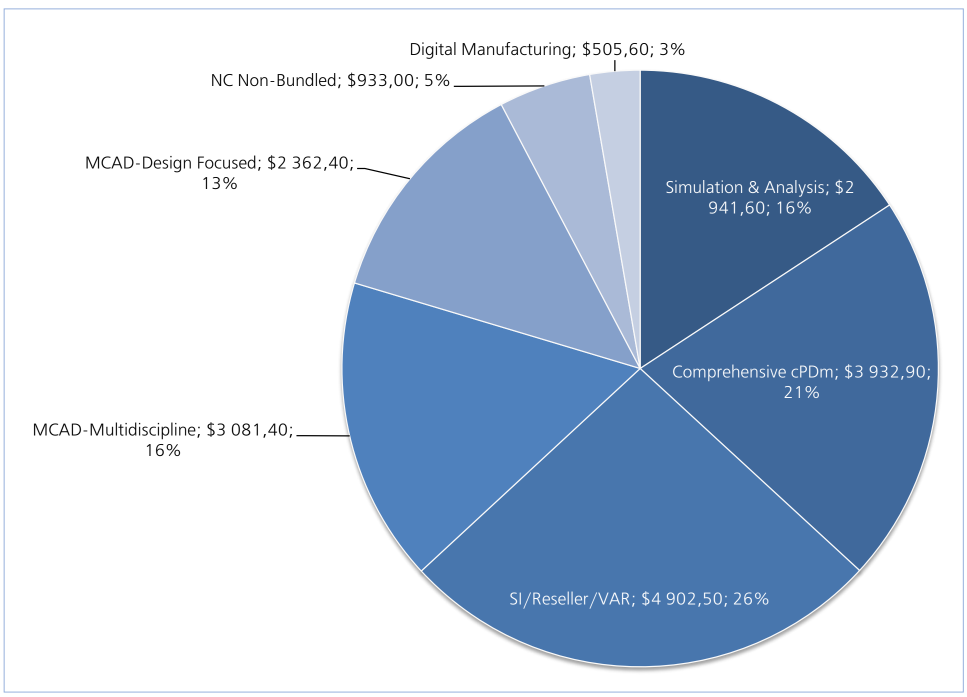


Рисунок 18. Структура рынка “массового” PLM в 2011 г.
Источник: Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2011 г. Часть I. / Обзор доходов “королей” // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 3, 10 – 25.

4.1. Объем рынка CAE–технологий

Суммарные доходы за 2011 год всех компаний из Top-11 составляют примерно 2.655 млрд. долларов, что составляет 90.3% от всего объема рынка CAE, достигающего, по версии CIMdata, 2.942 млрд. долларов. В 2010 году этот показатель составлял 84.2% от 2.324 млрд, в 2009 году – 82.9% от 2.130 млрд. долларов, а в 2008 году – 76.6% от 2.275 млрд.; заметим, что в предыдущие годы число рассматриваемых компаний было равно десяти (за исключением MathWorks).

Еще раз отметим, что регулярно публикуют свои финансовые отчеты только три публичные компании; доходы четырех компаний получены оценочным путем, а остальные компании сообщили свои оценки или прогнозы в отношении годовых доходов.

4.2. Структура доходов ведущих поставщиков PLM–технологий

Как и в предыдущем обзоре, кратко остановимся на оценках доли CAE-технологий в годовом доходе ведущих поставщиков PLM-систем.

Поскольку CIMdata признала Autodesk как поставщика PLM, то в 2010 и 2011 гг. на диаграмме присутствуют все четыре "короля" – Dassault Systèmes, Autodesk, Siemens PLM Software и PTC. Обращаем внимание читателей на то, что Autodesk – единственная компания, у которой имеются доходы от продажи архитектурно-строительных систем (AEC).

Данные CIMdata представлены на круговых диаграммах (рис. 17-18).

Подход, связанный с управлением жизненным циклом изделия (Product Lifecycle Management – PLM), компанией CIMdata рассматривается в двух вариантах:
comprehensive PLM – полный, или всеобъемлющий PLM;
mainstream PLM – массовый, или мейнстримовский PLM.

Объем сегмента массового PLM в денежном выражении складывается из поставок пользователям следующего набора программных инструментов:

• системы машиностроительного проектирования (Mechanical Computer-Aided Design, MCAD) классов high-end (MultiDiscipline) или mid-range (Design Focused);

• системы для подготовки производства (Computer-Aided Manufacturing, CAM); при этом CIMdata отдельно рассматривает автономные CAM-системы (non-bundled Numerical Control), которые не включены в интегрированные пакеты вместе с MCAD-системами;

• средства моделирования физических процессов и инженерного анализа изделий (Computer-Aided Engineering, CAE или Simulation & Analysis, S&A);

• всеобъемлющие коллаборативные системы управления процессом создания данных об изделии (comprehensive cPDm – collaborative Product Definition management);

• системы для цифрового производства (Digital Manufacturing – DM);

• различные разработки системных интеграторов (System Integrators – SI) и реселлеров (Value Added Resellers – VAR), расширяющие возможности PLM-продуктов.

Когда речь идет о полном, или всеобъемлющем, PLM, то приведенный выше перечень программных продуктов дополняется:

• системами для электротехнического и электронного проектирования (Electronic Design Automation, EDA);

• системами для архитектурного и строительного проектирования (Architecture Engineering Construction, AEC);

• специализированными (focused) и другими инструментами.

Если известна структура рынка массового PLM и доля каждого из его сегментов, то показатели рассчитываются еще в двух срезах:

• классические PLM-системы в ценах вендоров; под классической PLM-системой понимается сочетание CAD-, CAM-, CAE- и PDM-инструментов, а разработки SI+VAR не учитываются;

• массовые PLM-системы в ценах вендоров; в этом случае доходы от продаж классических PLM-систем рассматриваются вместе с доходами от продаж DM-систем.

4.3. Структура рынка PLM–технологий и доля CAE–технологий

Объем рынка массового PLM в 2010 году вырос на 7.7% (с 14.025 до 16.3 млрд. долларов) в сравнении с кризисным 2009 годом, а в 2011 году – на 14.5% (с 16.3 до 18.659 млрд.) в сравнении с 2010 годом (табл. 5-7).

Объем рынка полного PLM в 2010 году вырос на 16.2% (с 23.956 до 25.8 млрд. долларов) в сравнении с кризисным 2009 годом, а в 2011 году – на 9.6% (с 25.8 до 28.270 млрд.) в сравнении с 2010 годом.

В 2011 году наблюдается рост объемов всех сегментов рынка массового PLM в сравнении с докризисным 2008 годом, за исключением сегмента цифрового производства.

Объем рынка CAE-технологий по расчетам компании CIMdata, в 2011 году составил 2.942 млрд. долларов, а его рост – 29.3% в сравнении с докризисным 2008 годом. По темпам роста сегмент CAE-технологий уступает только сегменту PDM. Вообще говоря, самые высокие темпы роста показывают CAM-системы, но сравнивать с ними некорректно, поскольку в 2011 году CIMdata изменила методику оценки объема этого сегмента.

Знание структуры рынка массового PLM позволяет оценить, как меняется по годам доля сегмента CAE-технологий. По данным CIMdata, в 2011 году эта доля выросла как в сравнении с кризисным 2009 годом, так и в сравнении с докризисным 2008-м (рис. 17-18, табл. 5, 7). В зависимости от принятого определения PLM, доля CAE-сегмента составила:
• в случае классического PLM в ценах вендоров – 22.2%;
• в случае массового PLM в ценах вендоров – 21.4%;
• в случае массового PLM – 15.8%;
• в случае всеобъемлющего PLM – 10.4%.

Marc Halpern, директор по исследованиям в области проектирования и производства изделий, американская консалтинговая компания Gartner:

"В случае применения стандартных методологий проектирования некоторые конструкторы могут проводить инженерный анализ. Поэтому в тех компаниях, которые используют MCAE-технологии постоянно, пользователи-специалисты должны передавать рутинную работу конструкторам. Однако специалисты при этом должны нести ответственность за применение этими конструкторами лучших практик. Тем компаниям, где необходимость в MCAE возникает лишь время от времени, а опыт сотрудников в этом деле незначителен, имеет смысл обращаться к консультантам в области MCAE-технологий, а не держать в штате обученную MCAE-команду".

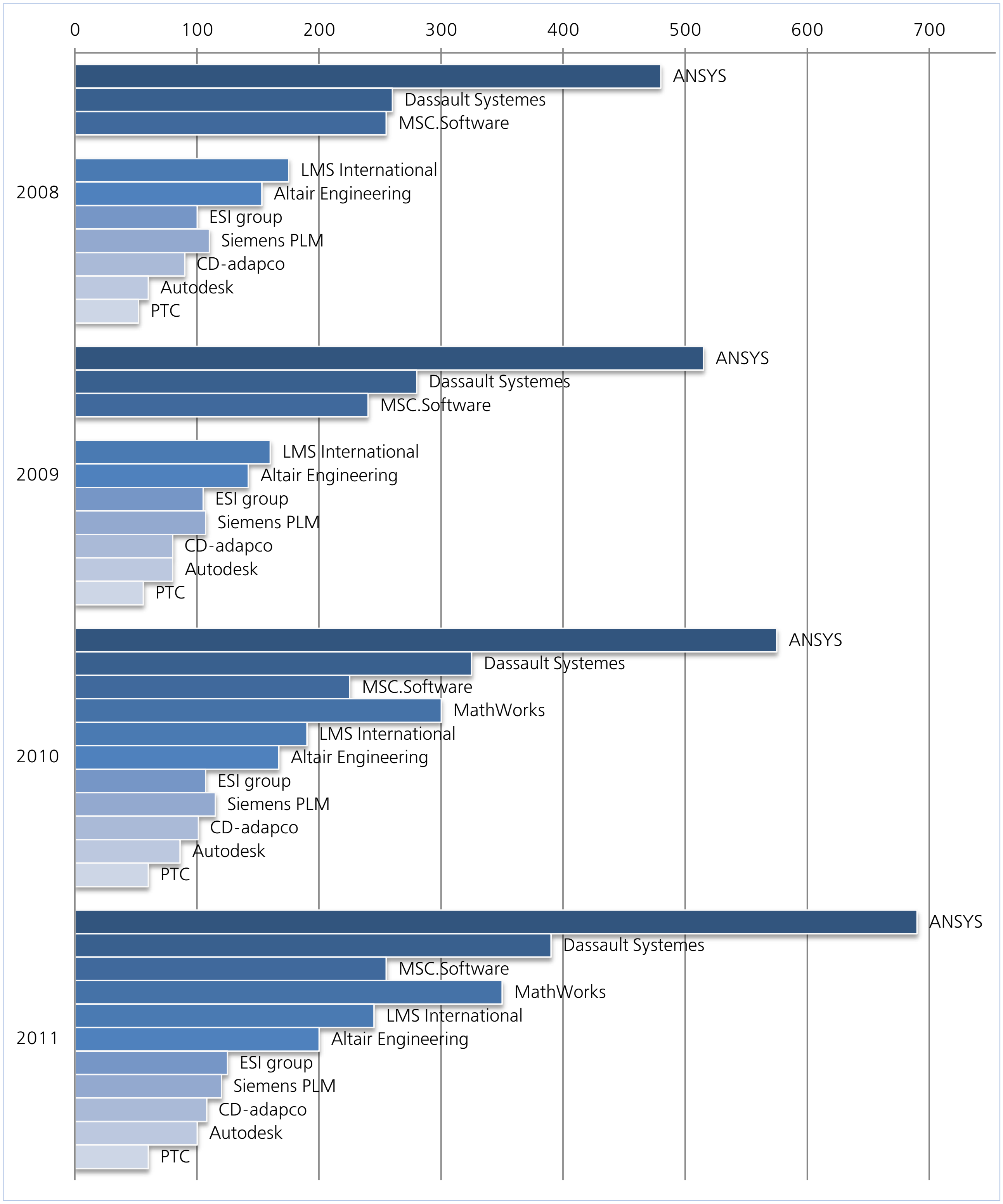


Рисунок 19. Лидеры мирового рынка CAD/CAM/CAE/PDM/PLM и AEC/BIM: основные фирмы-вендоры, их доход в 2008-2011 г. (млн. долл.).
Источник: Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2011 г. Часть I. / Обзор доходов “королей” // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 3, 10 – 25.

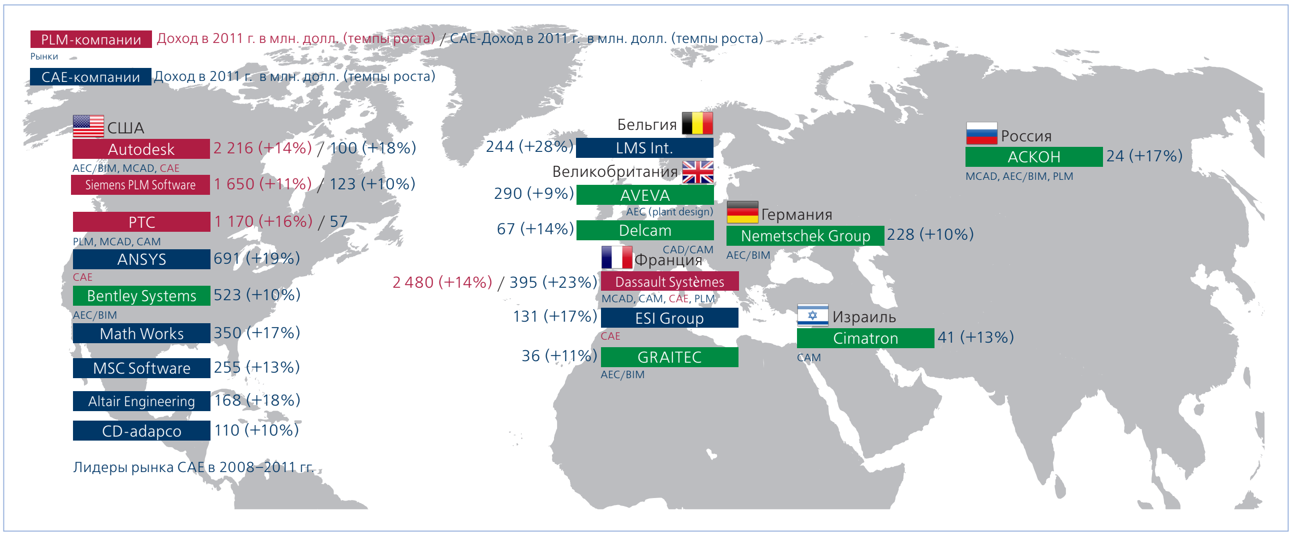


Рисунок 20. Лидеры мирового рынка CAD/CAM/CAE/PDM/PLM и AEC/BIM:
основные фирмы-вендоры, их доход в 2011 г. (млн. долл.), а также темпы роста (+%)

На рис. 21 представлена динамика совокупных доходов “королей“ классического “производственного“ PLM: Autodesk (индекс NASDAQ: ADSK), Dassault Systèmes (NASDAQ: DASTY), Parametric Technology Corporation (PTC), и Siemens PLM Software (SPLM). В таблице представлены годовые совокупные доходы “королей“ PLM-технологий в 2010–2011 гг. Совокупные доходы (Total Revenue) – важный показатель, по которому компанию оценивают банки, конкуренты, партнеры, инвесторы, чиновники, аналитики и журналисты. Суммарно за 2011 год “короли“ продали программного обеспечения и услуг на сумму 7,564 млрд. долларов (рост в сравнении с посткризисным 2010 годом составил 15,9% или 1,037 млрд. долларов), что позволили превзойти достижения предкризисного 2008 года, лучшего в истории “королей“.

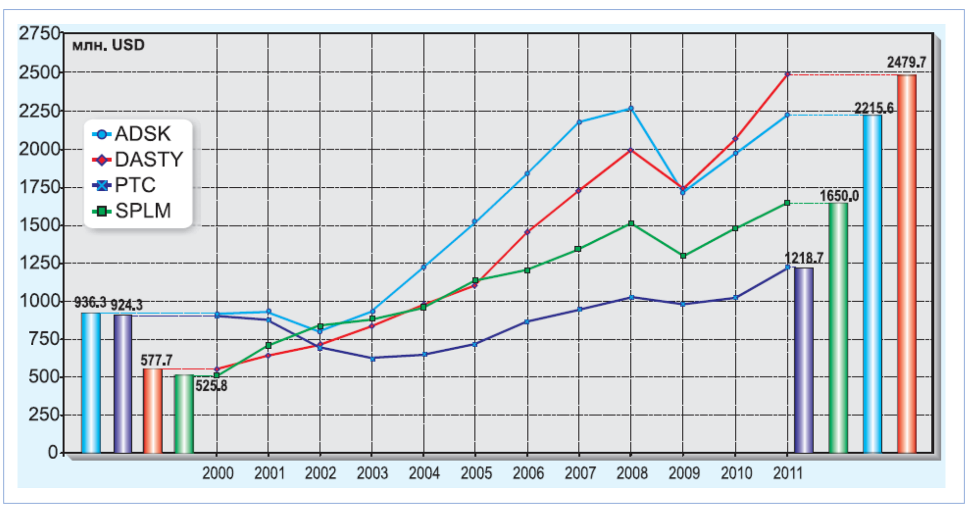


Рисунок 21. Динамика совокупных доходов “королей” за 2000–2011 гг.
Источник: Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2011 г. Часть I. / Обзор доходов “королей” // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 3, 10 – 25.

	ADSK	DASTY	PTC	SPLM	Вместе
2000 г.	936.3	577.7	924.3	525.8	2964.1
2001 г.	947.5	667.9	898.3	732.6	3246.3
2002 г.	824.9	733.7	725.9	860.5	3145.0
2003 г.	951.6	857.6	656.8	897.1	3363.1
2004 г.	1233.8	993.4	672.4	978.0	3877.6
2005 г.	1523.2	1117.5	744.0	1154.6	4539.3
2006 г.	1839.6	1457.9	884.1	1218.7	5400.3
2007 г.	2172.0	1730.4	960.9	1352.8	6216.1
2008 г.	2315.2	1955.0	1069.5	1512.0	6851.7
2009 г.	1714.0	1746.0	956.2	1278.0	5694.2
2010 г.	1952.0	2074.0	1018.2	1482.5	6526.7
2011 г.	2215.6	2479.7	1218.7	1650.0	7564.0
За 12лет	18625.7	16390.8	10729.3	13 642.6	59388.4

Таблица 3. Годовые доходы "королей" САПР/PLM (млн. USD).

В 2011 году замечательных результатов добилась Dassault Systèmes (NASDAQ: DASTY) – совокупные доходы этой французской компании составили 1 783 млн. евро или в пересчете в USD, 2 479.7 млн. долларов. Такой высокий уровень дохода на рынке PLM-технологий достигнут впервые. DASTY становится лидером PLM-рынка уже третий год подряд.

Показатели	2011 г.
Общий доход, в том числе: • от продажи новых лицензий • от продажи временных лицензий (аренда), maintenance и разработок на заказ • от оказания услуг	1783.0 465.0 1151.9 166.1
Распределение общего дохода без учета доходов от оказания услуг по категориям или брендам: • PLM • CATIA • ENOVIA • DELMIA, SIMULIA • Mainstream 3D (SW, COSMOS, 3DVIA)	1616.9 1275.9 762.4 229.9 283.6 341.0
Распределение общего дохода по основным географическим регионам: • обе Америки • Европа • Азиатско-Тихоокеанский	1783.0 488.8 827.1 467.1
Количество проданных 3D-мест всего, в том числе: • CATIA • SolidWorks	? 47905
Усредненная розничная цена SolidWorks	5 386
Расходы на НИР и разработку	329.3
Расходы на маркетинг, организацию продаж и содержание администрации	682.9
Чистая прибыль	289.2
На банковских счетах и в краткосрочных ценных бумагах	1154.3
Численность персонала, чел.	9556

Таблица 4. Основные отчетные данные Dassault Systèmes за 2011 г. (млн. EUR).

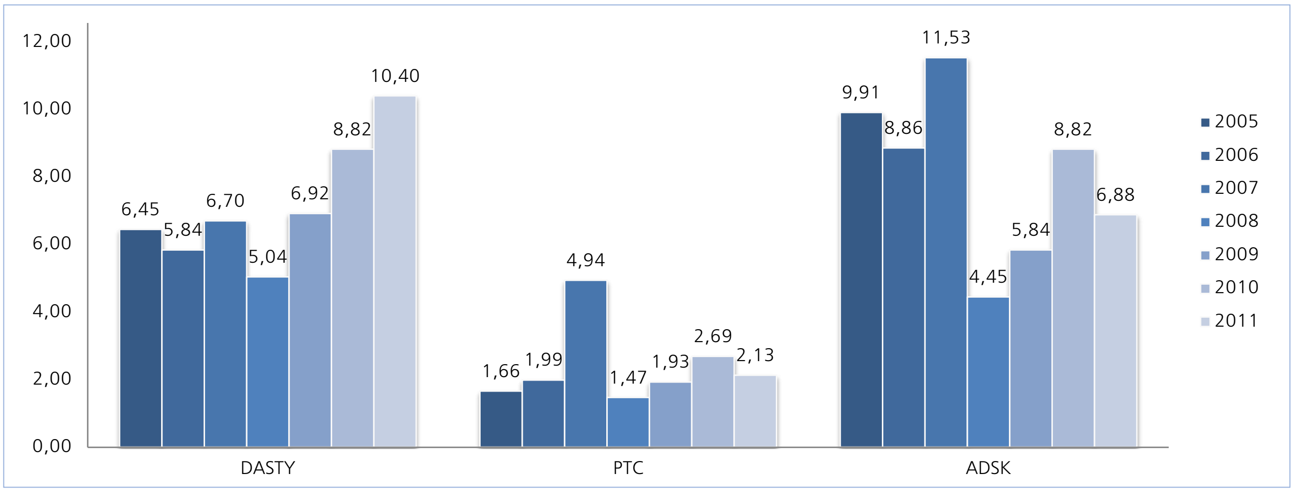
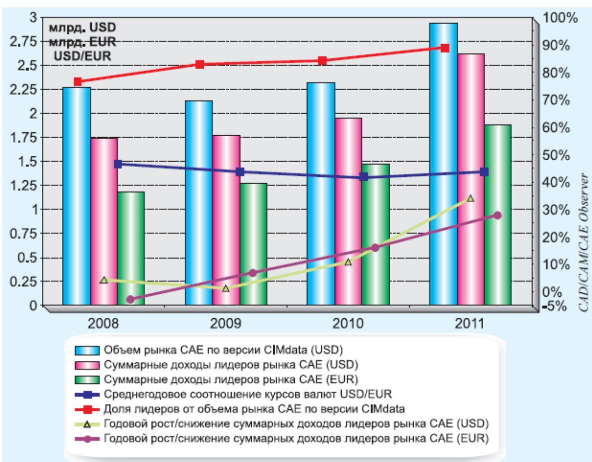


Рисунок 22. Динамика рыночной капитализации “королей” за период 2005–2011 гг. (млрд. долл.).



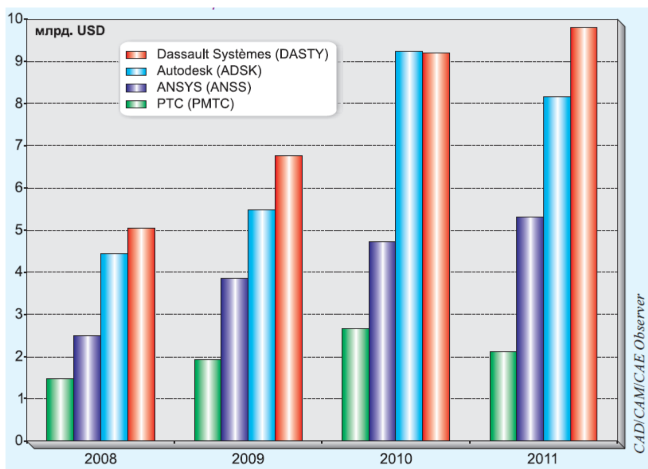


Рисунок 23а. Объем (долл. и евро) и темпы роста/снижения (%) объема рынка CAE в 2008–2011 гг.
Рисунок 23б. Рыночная капитализация на конец финансового (ANSYS, Autodesk, Dassault Systèmes) или календарного (PTC) года в 2008–2011 (ANSYS, Dassault Systèmes, PTC) или 2009–2012 (Autodesk) годах.
Источник: Павлов С.И. CAE-технологии в 2009 году: обзор достижений и анализ рынка // CAD/CAM/CAE Observer, 2010, № 4, 77 – 85.

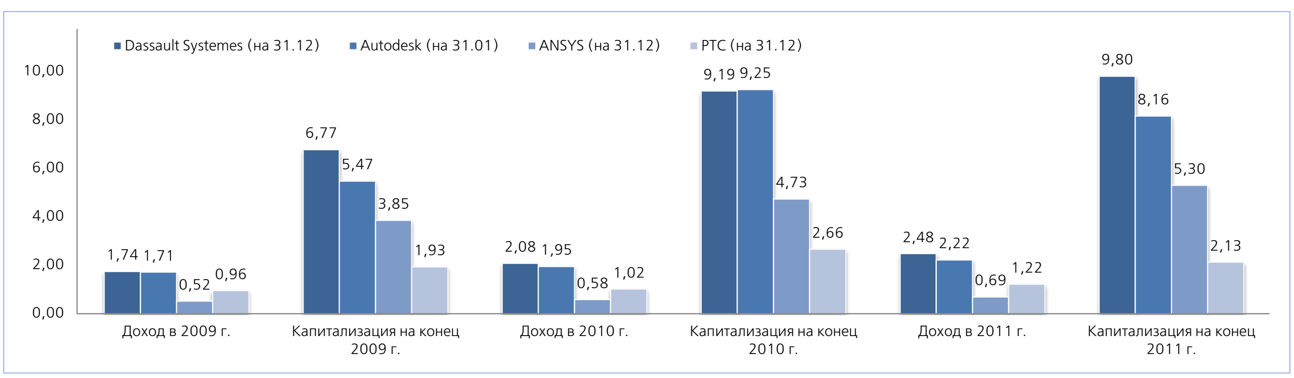


Рисунок 24. Годовой доход и рыночная капитализация на конец финансового (ANSYS, Autodesk,Dassault Systèmes) или календарного (PTC) года в 2009–2011 (ANSYS, Dassault Systèmes, PTC) или 2010–2012 (Autodesk) годах, млрд. долларов.

	2008 г.		2009 г.		2010 г.	2011 г.	
	Объем сегмента (млрд. USD)	Доля сегмента (%)	Объем сегмента (млрд. USD)	Доля сегмента (%)	Объем сегмента (млрд. USD)	Объем сегмента (млрд. USD)	Доля сегмента (%)
MCAD (high-end)	2.940	18.4%	2.575	18.4%	–	3.081	16.5%
MCAD (mid-range)	2.282	14.3%	1.825	13.0%	–	2.362	12.7%
CAM	0.587	3.7%	0.475	3.4%	–	0.933	5.0%
CAE	2.275	14.3%	2.130	15.2%	–	2.942	15.8%
PDM	3.032	19.0%	2.700	19.3%	–	3.933	21.1%
DM	0.510	3.2%	0.445	3.2%	–	0.506	2.7%
Реселлеры и системные интеграторы	4.334	27.2%	3.875	27.6%	–	4.903	26.3%
Объем рынка массового PLM	15.960	100.0%	14.025	100.0%	16.300	18.659	100.0%

Таблица 5. Структура рынка массового PLM в 2008–2011 гг.

	2008 г. в сравнении с 2007 г. (%)	2009 г. в сравнении с 2008 г. (%)	2010 г. в сравнении с 2009 г. (%)	2011 г. в сравнении с 2009 г. (%)	2011 г. в сравнении с 2008 г. (%)
MCAD (high-end)	2.4%	-12.4%	–	19.7%	4.8%
MCAD (mid-range)	11.6%	-20.0%	–	29.4%	3.5%
CAM	-5.0%	-19.1%	–	96.4%	58.9%
CAE	4.9%	-6.4%	–	38.1%	29.3%
PDM	10.9%	-10.9%	–	45.7%	29.7%
DM	8.5%	-12.7%	–	13.6%	-0.9%
Реселлеры и системные интеграторы	4.9%	-10.6%	–	26.5%	13.1%
Объем рынка массового PLM	6.1%	-12.1%	16.2%	33.0%	16.9%

Таблица 6. Рост/снижение (%) объема сегментов в 2008–2011 гг. в сравнении с предыдущими годами.

	2008 г.		2009 г.		2010 г.	2011 г.	
	Объем рынка (млрд. USD)	Доля CAE (%)	Объем рынка (млрд. USD)	Доля CAE (%)	Объем рынка (млрд. USD)	Объем рынка (млрд. USD)	Доля CAE (%)
Полный PLM	26.500	8.6%	23.956	8.9%	25.800	28.270	10.4%
Массовый PLM	15.960	14.3%	14.025	15.2%	16.300	18.659	15.8%
Массовый PLM в ценах вендоров	11.626	19.6%	10.150	21.0%	–	13.757	21.4%
Классический PLM в ценах вендоров	11.116	20.5%	9.705	21.9%	–	13.251	22.2%

Таблица 7. Объемы рынка PLM для различных его определений и соответствующая доля CAE в 2008–2011 гг.

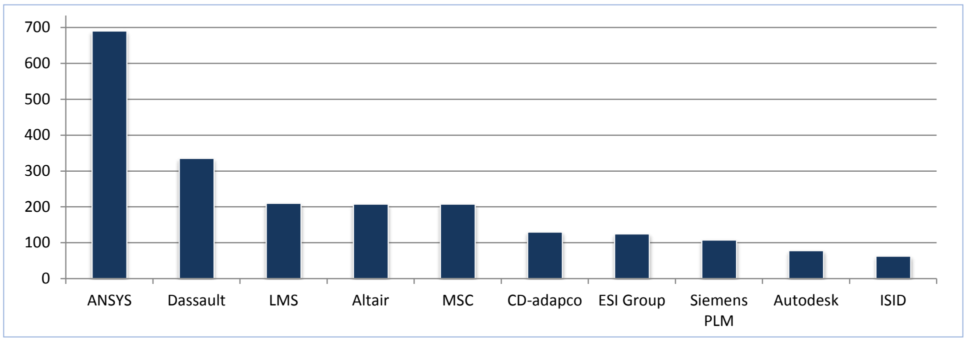


Рисунок 25. Десятка лидеров рынка CAE по размерам соответствующих доходов, млн. долл.

В конце марта 2010 года аналитики компании Infinity Research сделали оценку, что рынок CAE будет расти в 2011–2015 гг. со среднегодовым темпом 11,4%, т.е. за пять лет вырастет более, чем на 70%.

Одним из ключевых факторов, влияющих на ожидаемый рост, является улучшение эффективности цикла разработки конкурентоспособной продукции. Рынок CAE также будет расти за счет возможности аренды CAE- и S&A-систем, однако, недостаток технической поддержки может стать вызовом для роста рынка. Ключевыми игроками на этих рынках остаются компании ANSYS, Inc (CAE-система ANSYS), Dassault Systèmes (SIMULIA/Abaqus), MSC Software и LMS International, а также Altair Engineering (Altair HyperWorks) и ESI Group.

Сегодня инженерный анализ входит в повседневную практику разработки изделий, а CAE-системы постепенно становится инструментом инженера-конструктора, которого разработчики вооружают лучшими практиками решения типовых расчетных задач.

CAE-рынок постоянно трансформируется и консолидируется, следуя общим трендам развития Hardware и Software. Фирмы-разработчики оперативно отзываются на потребности пользователей, возникающие в ходе разработки инновационных изделий, осваивают новые области приложения методов инженерного анализа и предлагают всё более продвинутые решения.

Многие тренды, еще только набиравшие силу пять лет назад, за эти годы стали полнокровными направлениями развития CAE-рынка: например, высокопроизводительные вычисления (High Performance Computing, HPC), управление CAE-процессами и CAE-данными (Simulation Process & Data Management, SPDM), новые сервисы и облачные вычисления (Software as a Service, SaaS, Software on Demand, SoD или Cloud Computing),

Применение многопроцессорных систем способствует распространению расчетов параметров изделий с использованием методов механики композиционных материалов и вычислительной гидроаэродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD). Осваиваются новые области применения мультидисциплинарных расчетов (MultiDisciplinary или MultiPhysics) – в том числе с привлечением методов электродинамики (ElectroMagnetics), включая, например, расчеты электромеханических систем (Mechtronics) и металлургических магнито-гидродинамических (MagnetoHydroDynamics) систем.

Сформируем Top компаний-лидеров рынка CAE по итогам 2011 года. Будем считать, что “проходным баллом” для включения в Top будет размер годовых доходов CAE-компании не менее 50 млн. долларов – такому требованию удовлетворяют 11 компаний, из которых и составим Top-11.

Top-11 рынка CAE – “проходным баллом” для включения в рейтинг служит размер годовых доходов CAE-компании – не менее 50 млн. долларов.

Joe Walsh, вице-президент по развитию бизнеса Simmetrix, Inc. :

“Когда-то CAE-системы использовали только специалисты в области анализа. Разделение систем на категории происходило только по цене. Сейчас рынок определяется соревнованием продуктов, созданных для специалистов и неспециалистов”.

4.4. Top–11 рынка CAE [61–63, 66–71]

4.4.1. ANSYS

ANSYS (биржевой индекс ANSS) основана в 1970 году. В компании работает 2200 профессионалов, штаб-квартира располагается в городе Canonsburg (Пенсильвания, США).

Ведущую позицию на рынке CAE-технологий компания ANSYS заняла в 2006 году, опередив тогдашнего лидера – MSC Software. Таким образом, уже шестой год подряд ANSYS является единоличным лидером рынка CAE, успешно соревнуясь со своими собственными показателями. В 2011 году компания заработала 691.5 млн. долларов, что на 19.2% (рис. 2) больше, чем в 2010-м (580.2 млн.). С 2006 года её доход вырос с 263.6 млн. долларов более чем в 2.5 раза.

Итак, мы наблюдаем двухзначный (double-digit – так принято говорить в кругу CEO компаний-лидеров) показатель среднегодового роста годового дохода: 23% в период с 2000 по 2011 гг., или же 29.4% – с 2006 по 2011 гг.

Показатели	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Общий доход, в том числе:	74.5	84.8	91.0	113.5	134.5	158.0	263.6	385.3	478.3	516.9	580.2	691.5
• от продажи ПО (software licenses)	43.5	45.3	48.2	58.4	71.3	85.7	156.9	253.3	318.1	315.6	351.0	425.9
• от оказания услуг (mainte-nance and service)	31.0	39.5	42.8	55.1	63.2	72.3	106.7	132.0	160.2	201.3	229.2	265.6
Распределение общего дохода по странам и регионам:												
США и Канада:	36.1	40.4	41.4	42.9	50.9	56.9	98.5	138.6	159.7	180.3	198.5	228.0
• США	34.3	38.7	39.6	37.3	46.7	52.5	94.3	131.8	151.7	172.3	188.6	215.9
• Канада	1.8	1.7	1.8	5.6	4.2	4.4	4.2	4.8	8.0	8.0	9.9	12.1
Европа:	23.4	25.5	29.9	43.8	54.3	65.0	104.8	160.0	195.6	190.5	198.6	238.9
• Германия	8.6	10.4	8.7	15.2	20.2	23.4	34.6	51.0	68.4	55.6	60.4	72.3
• Великобритания	н/д	н/д	н/д	10.6	11.9	11.8	19.4	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
• другие европейские страны	14.8	15.1	21.2	18.0	22.2	29.8	50.8	109.0	127.2	134.9	138.2	166.6
Другие регионы:	15.0	19.0	19.7	26.8	29.3	36.1	60.3	88.8	123.0	146.0	183.2	224.6
• Япония	8.8	11.0	10.4	15.9	17.0	19.9	35.4	50.9	67.0	75.2	95.5	112.2
• другие страны мира	6.2	8.0	9.3	10.9	12.3	16.2	24.9	37.9	56.0	70.8	87.7	112.4
Расходы на НИР и разработку	14.5	16.9	19.6	23.8	26.9	30.7	49.4	56.5	71.6	79.9	89.0	108.5
Расходы на маркетинг, организацию продаж и содержание администрации	18.0	19.7	20.1	24.8	39.8	43.3	86.9	115.1	134.9	137.3	155.1	180.4
Денежные средства и приравненные к ним высоколиквидные инвестиционные инструменты	6.3	28.5	46.2	78.0	83.5	176.2	104.3	171.9	233.9	343.8	472.9	471.8
Чистая прибыль	16.3	13.7	19.0	21.3	34.6	43.9	14.2	82.4	111.7	116.4	153.1	180.7

Таблица 8. Основные отчетные данные ANSYS за 2000–2011 гг. (млн. USD).
Источник: Павлов С.И. CAE-технологии в 2011 году: достижения и анализ рынка // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 4, 26 – 37.

Источником такого быстрого роста является гармоничное сочетание двух подходов: разработка новых технологий своими силами и покупка их у других. На новые разработки у компании уходит в среднем 15.8% годового дохода, а суммарные расходы на НИОКР (или R&D – research & development) в период с 2006 по 2011 гг. достигли 454.9 млн. долларов – это один из самых лучших показателей среди всех компаний-разработчиков CAE-систем.

Рисунок 26. Преимущества ANSYS.
Источник: www.ansys.com.

Инновационный вектор развития подтверждается и структурой доходов – значительную часть заработанного (425.9 млн., или 61.6%) составляют доходы от продажи новых лицензий. На долю доходов от оказания услуг приходится 265.6 млн. долларов, или 38.4% (табл. 8).

Преимуществами корпоративной стратегии развития и CAE-системы ANSYS являются:

– независимость (Independence), прочность позиций (Company Strength) и четкое видение (Vision) развития CAE-отрасли;

– адаптивная архитектура (Adaptive Architecture) программной системы, одна из лучших (Best-in-Class) реализация мультидисциплинарного подхода (фирменное название – MultiPhysics; Comprehensive MultiPhysics), масштабируемость инженерных решений, отличающихся широтой охвата и глубиной проработки решений, предлагаемых рынку;

– глобальная техническая поддержка (Global Support), разветвленная сеть дистрибьюторов и реселлеров, разработка ориентированных на запросы промышленности решений (Customization, Industry-Oriented Solutions).

Рисунок 27. Видение и стратегия развития ANSYS.
Источник: www.ansys.com.

Видение и стратегия Компании в своем развитии содержат несколько ключевых этапов: передовые технологии (Advanced Technologies), виртуальное прототипирование (Virtual Prototyping), сокращение длительности разработки и вывода на рынок (Process Compression) конкурентоспособных продуктов и изделий, формирование распределенных динамично настраиваемых и взаимодействующих между собой структур (Dynamic CAE Collaboration).

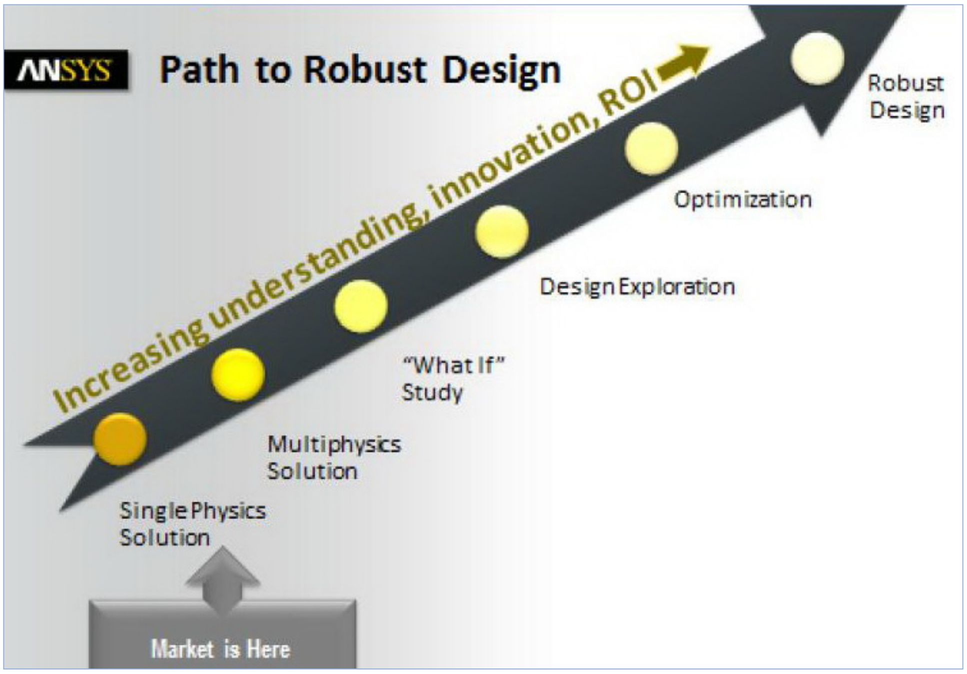


Рисунок 28. ANSYS: Вычислительная техника: робастное проектирование.
Источник: www.ansys.com.

Компания развивает программную систему ANSYS по двум важным направлениям:

– лучшие в классе "решатели" и "пре-пост-процессоры" в (Best-in-Class Solvers and Pre-Post), оптимизация, автоматизация и кастомизация (Optimization, Automation and Customization), управление знаниями (Knowledge Management), современная архитектура решений: облачные вычисления, суперкомпьютинг и мобильные решения (Moder Architecture: Cloud, HPC, Mobile);

– узкоспециализированные дисциплинарные решения (Single Physics), связанные задачи и мультидисциплинарные решения (Coupled MultiPhysics), многомасштабный анализ структур и конструкций (MultiScale: from Parts to Full Assembly), содержащих разные типы элементов конструкций (MultiFidelity: from 0-D to 3-D).

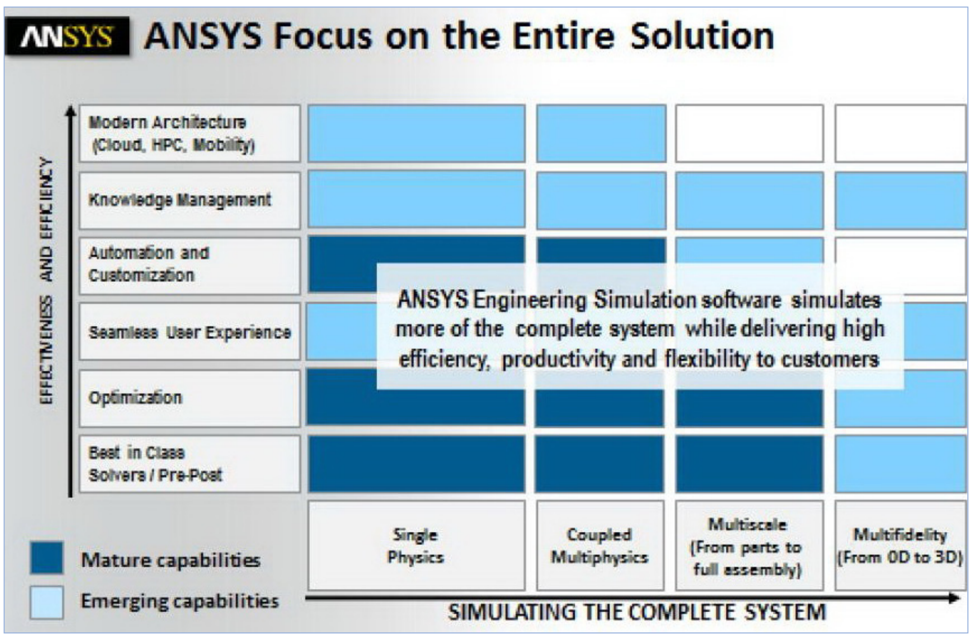


Рисунок 29. ANSYS: Акцент на комплексных решениях.
Источник: www.ansys.com.

Расширению портфеля предлагаемых продуктов под брендом ANSYS способствует удачно выбранная стратегия приобретений компаний-разработчиков передовых технологий инженерного анализа и моделирования (они перечислены в краткой хронологии, подготовленной к 40-летию ANSYS).

В частности, ANSYS, Inc. смогла возглавить CFD-сегмент CAE-рынка с продуктами CFX и Fluent. Помимо этого, будучи лидером рынка MCAE, она смогла стать еще и участником EDA-рынка – с развитым набором продуктов от компании Ansoft для инженерного анализа изделий, функционирование которых связано с высокочастотными электромагнитными полями. В 2011 году ANSYS расширила свое присутствие на EDA-рынке, купив за 310 млн. долларов американскую компанию Apache Design Solutions, которая специализируется на разработке систем электронного проектирования.

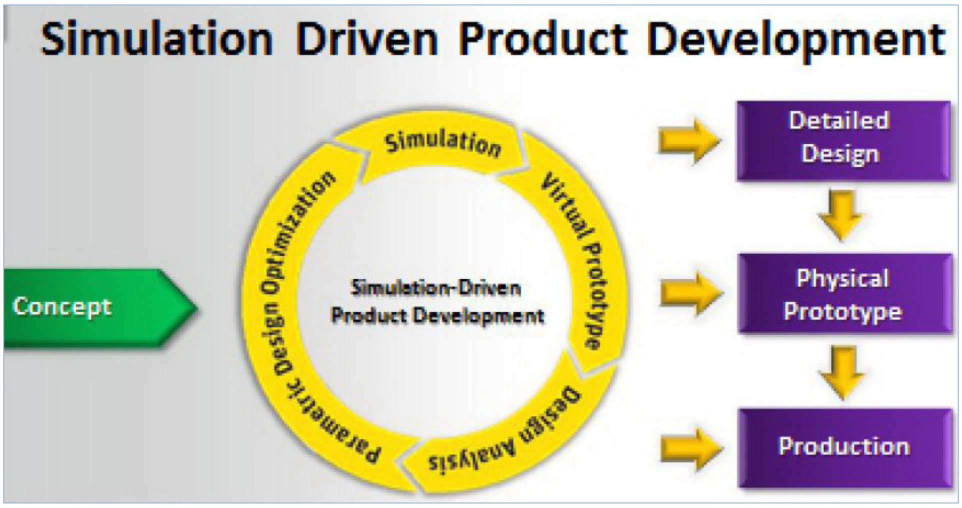


Рисунок 30. Инновационная ANSYS-концепция разработки конкурентоспособной продукции на основе компьютерного инжиниринга.
Источник: www.ansys.com.

Необходимо подчеркнуть, что всё развитие компании ANSYS – особенно на протяжении последних 12-ти лет, с момента, как её возглавил Jim Cashman – является иллюстрацией эффективности интеграции мультидисциплинарных надотраслевых технологий инженерного анализа, которые можно отнести сразу к нескольким сегментам рынка PLM (в интерпретации CIMdata). На рис. 31 представлена динамика котировок акций ANSYS, Inc. на бирже за десятилетний период – виден их устойчивый рост за исключение кризисного периода в 2008 году.

В заключение отметим, что ANSYS, Inc. является многолетним мировым лидером в разработке и развитии мультидисциплинарных надотраслевых CAE-технологий, которые необходимы при создании инновационных продуктов и изделий широкого спектра, разрабатываемых в практически во всех отраслях промышленности.

Рисунок 31. Динамика котировок акций ANSYS, Inc. - мирового лидера CAE-рынка.

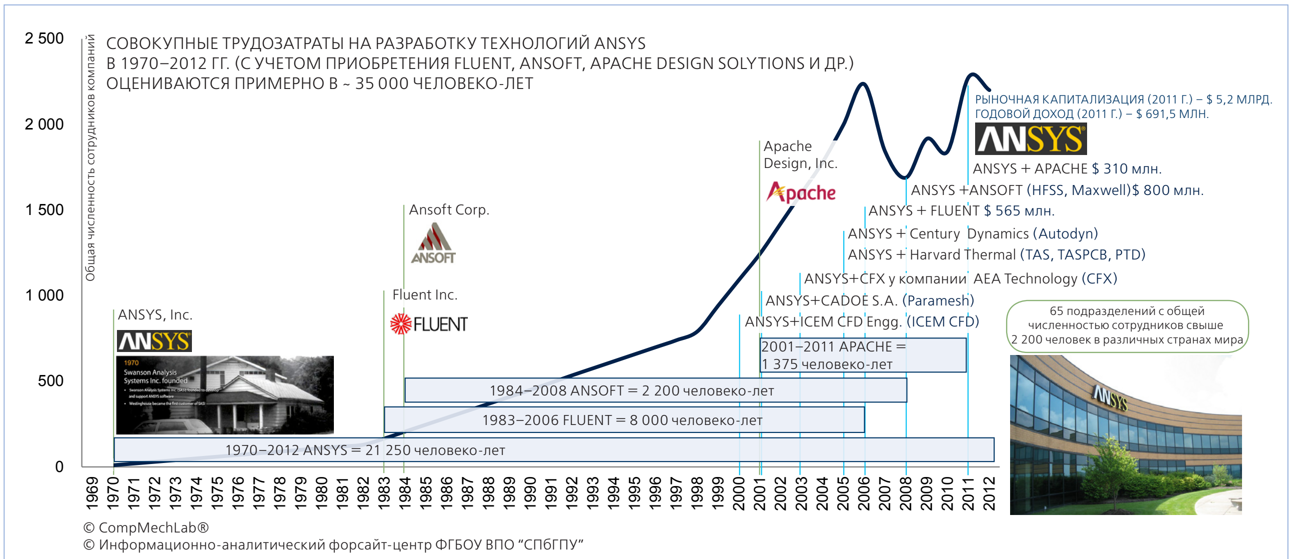


Рисунок 32. Оценка полных трудозатрат создания ANSYS-технологий в 1970-2012 гг. (ANSYS-трудоемкость).
Источник: Информационно-аналитический форсайт-центр ФГБОУ ВПО "СПбГПУ".

Важной характеристикой любой CAE-системы мирового уровня являются трудозатраты на ее создание, которые, соответственно, зависят от количества лет, на протяжении которых ведется разработка (ANSYS – с 1969 г.), количества сотрудников, работающих в фирме (в настоящее время в ANSYS работают 2200 специалистов), от слияний и поглощений других фирм, зачастую лидером определенного сегмента CAE-рынка (достаточно привести примеры CFD-систем CFX и Fluent, а также Ansoft). Оценка трудозатрат разработки программной системы ASNSYS, выполненная сотрудниками CompMechLab® (один из лидеров CAE-рынка научных исследований, консалтинга и экспертизы в России) и Информационно-аналитического Форсайт-центра НИУ СПбГПУ, составляет 35 000 человеко-лет.

4.4.2. Dassault Systѐmes

Dassault Systѐmes (биржевой индекс DASTY), с 2009 года возглавляющая рейтинг "королей" PLM, в Top-11 рынка CAE занимает 2-е место. Работы в области CAE-технологий ведутся под брендом SIMULIA, который появился после приобретения в 2005 году компании ABAQUS. Инструменты для инженерного анализа содержатся также в пакетах CATIA и SolidWorks.

Предлагаемые компанией CAE-продукты разделены на следующие группы: SIMULIA для платформ V5 и V6; Abaqus; Isight & SIMULIA Execution Engine; Simulation Lifecycle Management.

Портфель CAE-инструментов постоянно расширяется. В мае 2010 года DS обзавелась собственным CFD-решением, интегрированным с другими мультидисциплинарными решениями. Для расширения предложения в сфере инженерного анализа изделий из композитов DS в октябре 2011 году приобрела компанию Simulayt Ltd. (Великобритания), а также объявила о партнерстве с британским National Composites Center, расположенном в Бристоле. Подразделение SolidWorks разработало на базе технологии французской компании SIMPOE свой инструмент SolidWorks Plastics для моделирования процессов литья пластмасс.

K. Boyalakuntla, руководитель подразделения Simulation Product Management компании SolidWorks:

"Есть смысл в том, чтобы проектировщик изделия в процессе создания 3D-модели проводил виртуальную проверку своей конструкции и заложенных в неё идей. С появлением удобных в использовании, функционально развитых и доступных по цене инструментов для КЭ моделирования ("симуляции"), мне удалось отметить значительные изменения в изделиях, выпускаемых на рынок, когда конструкторы, которые никогда прежде не анализировали свои изделия, стали успешно применять эти инструменты и создавать более качественные изделия. Необходимость сокращения издержек, разработки новых продуктов и увеличения производительности привела к существенному расширению использования инструментов инженерного анализа как инженерами-конструкторами, так и инженерами-аналитиками".

"В ряде компаний мы наблюдали, как специалисты в области анализа занимались обучением конструкторов, когда тем требовалось решать сложные задачи анализа. Думаю, утверждение, что конструкторы не могут успешно проводить инженерный анализ для разработки более качественных изделий, просто уводит от сути дела. Конечно, результаты анализа должны под-

В 2011 году объем продаж компанией инструментов инженерного анализа можно оценить суммой 283.6 млн. евро или 394.9 млн. долларов (рис. 1, 2). Если сравнить его с результатами 2010 года (243 млн. евро или 322.6 млн. долларов), то видно, что прирост при подсчете в евро и долларах составляет 16.7% и 22.7% соответственно. Таким образом, рост доходов DS от продаж продуктов с брендом SIMULIA, подсчитанных как в евро, так и в долларах, в последние годы исчисляется двузначной цифрой процентов. А выручка, в сравнении с 2005 годом, выросла более чем в 4 раза (напомним, что доход компании ABAQUS, которая начала разрабатывать эти технологии, на момент её приобретения оценивался суммой порядка 90 млн. долларов).

4.4.3. MathWorks

MathWorks основана в 1984 году (в компании работает 2400 профессионалов, штаб-квартира находится в городе Natick, Массачусетс, США).

Отметим две флагманские разработки компании, MATLAB и Simulink, на базе которых сторонними организациями создано несколько сотен продуктов. MATLAB представляет со-бой среду для численных и технических расчетов, разработки алгоритмов, анализа и визуализации данных. Simulink применяется как графическая среда для моделирования и проектирования на основе моделей (Model-Based Design) сложных (MultiDomain) динамических и встроенных систем.

У продуктов от MathWorks более миллиона пользователей. Среди них компании, работающие в аэрокосмической, оборонной, автомобильной, биофармацевтической, электронной промышленности, в сфере энергетики, телекоммуникаций, а также сотрудники и студенты более чем 5000 высших учебных заведений.

При включении MathWorks в Топ-11, в зачет нами принимается только доход от промышленных пользователей (т.н. консервативная оценка): 350 млн. долларов в 2011 году (рис. 1); сравнение с заработанными в 2010 году 300 млн. дает рост на 16.7%.

4.4.4. MSC Software

MSC Software, основанная в 1963 году, в феврале 2013 года будет отмечать своё 50-летие, в компании работает около 1000. Штаб-квартира MSC. Software находится в городе Santa Ana (Калифорния, США).

Благодаря разработке системы NASTRAN, в 2011 году MSC Software была включена журналом "MaximumPC" в список десяти компаний-разработчиков оригинального программного обеспечения (The 10 Original Software Companies).

Отметим, что по результатам 2006 года, MSC Software впервые утратила лидерство на рынке CAE и переместилась на второе место. С момента приобретения компанией Symphony Technology Group, компания MSC Software перестала быть публичной.

По всей видимости, работа по систематизации и совершенствованию решений, составляющих портфель MSC Software, а также по поиску новых клиентов, дала результаты, и к 2011 году компании удалось стабилизировать ситуацию и изыскать средства на дальнейшее развитие, на приобретение новых технологий и последующее их совершенствование. Об этом можно судить по работе, направленной на расширение портфеля предложений. Так, с мая 2011 года MSC Software, в рамках соглашения о стратегическом сотрудничестве с испанской компанией Next Limit Technologies, предлагает на рынке её CFD-продукт XFlow, а также осуществляет его дальнейшее совершенствование (особенностью XFlow является применение полностью лагранжевого подхода, основанного на методе частиц, что означает отсутствие необходимости в сетке и отсутствие ограничений, связанных со сложностью геометрии. Кроме того, в сентябре 2011 года MSC Software приобрела компанию Free Field Technologies, специализирующуюся на создании инструментов для решения задач акустики и вибрационного анализа.

Для оценки годового дохода MSC Software предположим, что компания смогла выйти на уровень 2008 года и будем считать оценочный доход за 2011 год равным 255 млн. долларов – в Top-11 компании отведено 4-е место.

Имеются и другие мнения. Так, компания CIMdata оценивает доходы MSC Software за 2011 год более пессимистично – 212 млн. долларов

4.4.5. LMS International

LMS International основана в 1980 году, в 2011 году в компании работало примерно 1200 сотрудников. Штаб-квартира размещается в бельгийском городе Leuven.

В августе 2011 года LMS объявила о приобретении компании SAMTECH. Таким образом, инструменты от LMS для тестирования и моделирования мехатронных систем теперь дополняются инструментами линейного и нелинейного прочностного анализа от SAMTECH, применяемыми, в первую очередь, в авиационной промышленности.

Относительно финансовых показателей объединенной компании в опубликованном пресс-релизе сказано, что в 2011 году ожидается суммарный доход в размере 243.7 млн. долларов – 5-е место в Top-11. Отметим, что компания CIMdata оценивает доход LMS цифрой 218.1 млн. долларов.

4.4.6. Altair Engineering

Altair Engineering основана в 1985 году, в 2011 году в компании работало около 1500 человек. Штаб-квартира находится в городе Troy (Мичиган, США).

Портфель предложений компании Altair расширяется как в результате приобретения технологий, так и вследствие ведения собственных разработок. Так, в январе 2011 года приобретена американская компания ACUSIM Software, что позволило дополнить набор инструментов мощной CFD-системой. В декабре 2011 года был запущен дата-центр для обеспечения работы флагманского продукта – HyperWorks On-Demand, созданного с применением облачных технологий.

В пресс-релизе компании была дана оценка дохода в 2011 году – 200 млн. долларов. Такой уровень дохода выводит компанию Altair Engineering на 6-е место в Top-11. Компания CIMdata оценила доход Altair в 213.9 млн. долларов.

тверждаться результатами натурных испытаний или сделанными вручную расчетами. Однако я столкнулся с тем, что инженеры довольно скептически относятся к результатам анализа и не жалеют времени, чтобы убедиться в их точности”.

K. Boyalakuntla, руководитель подразделения Simulation Product Management компании SolidWorks:

“Каждый год всё более сложные функциональные возможности переходят в класс массового применения и появляются инновационные разработки, пополняющие технологии КЭ моделирования (“симуляции”). Считаю, что тенденция продолжится и в дальнейшем. Аналогично тому, как в прошлом десятилетии произошло слияние черчения и 3D-моделирования, в грядущем десятилетии я жду слияния 3D-моделирования и инженерного анализа”.

Dr. Garret Vanderplaats, генеральный директор американской компании Vanderplaats Research & Development, которая занимается разработкой CAE-систем для задач оптимизации:

“Целью разработки изделия является проектирование и оптимизация его конструкции. В настоящее время мы располагаем развитыми инструментами для решения задач оптимизации. Слабым звеном программ, а значит и важным направлением их совершенствования, являются простота и удобство использования”.

4.4.7. ESI Group

ESI Group (биржевой индекс ESI.PA) основана в 1973 году, в компании работает примерно 750 сотрудников; штаб-квартира находится в столице Франции городе Париже.

В 2011 году ESI Group сделала следующие покупки: в апреле приобретены разработки американской компании Comet Technology Corporation, включая пакет COMET Acoustics для моделирования низкочастотного шума и вибраций; в августе – немецкая компания IC.IDO, специализирующаяся на разработке программного обеспечения для организации совместной работы географически распределенных промышленных предприятий; в декабре – шведская компания Efield, поставщик решений для моделирования электромагнитного излучения от электрических и электронных устройств.

В 2011 финансовом году ESI Group заработала 94.2 млн. евро или 131.2 млн. долларов. В сравнении с показателями 2010 года (111.8 млн. долларов), рост годового дохода в долларах составил 17.3%. Такие показатели позволяют компании ESI Group занять 7-ю ступеньку.

4.4.8. Siemens PLM Software

Siemens PLM Software (SPLM) занимает третье место в рейтинге рынка PLM. Штаб-квартира компании SPLM, являющейся подразделением европейского концерна Siemens, располагается в городе Plano (Техас, США).

В октябре 2011 году SPLM объявила, что в рамках 8-го релиза флагманского пакета NX была усовершенствована функциональность CAE-составляющей. Напомним, что NX CAE обладает развитыми возможностями мультидисциплинарного моделирования, основой которых являются функциональные возможности популярного продукта NX Nastran.

В ноябре 2011 года SPLM приобрела компанию VISTAGY, специализирующуюся на разработке систем для проектирования и производства конструкций из композиционных материалов.

Оценочный годовой доход SPLM в 2011 году – 123.1 млн. долларов, что позволяет компании SPLM занять в рейтинге 8-е место. Компания CIMdata оценивает доход SPLM в сфере CAE-технологий цифрой 108 млн. долларов.

4.4.9. CD–adapco

CD-adapco – частная компания, обладающая более чем 30-летним опытом разработки инструментов для CFD-моделирования. В компании работают примерно 550 профессионалов, штаб-квартира находится в городе Melville (штат Нью-Йорк, США). Компания специализируется на разработке CFD-решений под брендом STAR-CD; в 2011 году выпущен 7-й релиз. Для каждой ведущей CAD-системы, включая CATIA, SolidWorks, NX CAE и Pro/E, предлагается специализированный CFD-инструмент.

Оценочный показатель для годового дохода CD-adapco в 2011 году – 109.6 млн., что выводит компанию на 9-е место в Top-11. Компания CIMdata оценила доход CD-adapco заметно выше – в 143.3 млн. долларов.

4.4.10. Autodesk

Autodesk (биржевой индекс ADSK) занимает вторую позицию в рейтинге "королей" PLM, а вот в сфере CAE её успехи значительно скромнее. Штаб-квартира компании размещается в городе San Rafael, штат Калифорния, США.

Поставщиком систем для инженерного анализа компания Autodesk стала после ряда поглощений участников рынка CAE. В середине 2008 года ею была приобретена компания Moldflow (литье пластмасс), в конце 2008 года – Algor, в феврале 2011 года – Blue Ridge Numerics. По некоторым оценкам, суммарные вложения Autodesk в приобретение и развитие CAE-технологий за последние четыре-пять лет достигли порядка полмиллиарда долларов.

По оценке CAD/CAM/CAE Observer, доход компании от продажи CAE-инструментов в 2011 году составляет порядка 100 млн. долларов – компания Autodesk занимает лишь 10-е место. По оценке компании CIMdata, доход Autodesk в сфере CAE-технологий меньше – 72.7 млн. долларов.

4.4.11. PTC

PTC (биржевой индекс PTMC) в рейтинге "королей" PLM занимает четвертое место. Штаб-квартира компании находится в городе Needham, штат Массачусетс, США.

В настоящее время усилия этого вендора сконцентрированы на завершении интеграции имеющихся продуктов под новым брендом Creo, для которого актуальна рекомендация –усилить новый продукт по всем направлениям, включая CAE, и дополнить его, как минимум, инструментом для CFD-моделирования (возможно, за счет приобретения игрока класса CD-adapco).

Оценка доходов компании от продажи CAE-инструментов в 2011 году составляет сумму порядка 57 млн. долларов – последнее 11-е место в Top-11. Оценка компании CIMdata – 50 млн. долларов.

4.5. Вместо выводов

Отметим некоторые направления, прогресс в которых, по всей вероятности, будет способствовать расширению возможностей и сферы внедрения CAE-технологий:

• фиксация и распространение лучших практик применения CAE-технологий;

• формализация результатов многовариантных расчетов для последующего формулирования типовых моделей, предназначенных для применения рядовыми инженерами-конструкторами;

• освоение CFD-моделирования на многопроцессорных компьютерах для эффективного применения в процессе создания инновационных изделий;

• развитие мобильных технологий для применения на различных этапах инженерного анализа проектируемых изделий;

• разработка и совершенствование методов визуализации результатов, а также методов поиска закономерностей в данных, полученных в процессе инженерного анализа нестационарных моделей изделий.

W. Bradley Holtz, главный исполнительный директор Cyon Research Corporation и Dr. Joel N. Orr, вице-президент, ведущий прогнозист и стратег компании, доктор математики:

"Мы считаем, что каждая команда разработчиков изделий хотела бы иметь в своем составе CAE-эксперта. Однако это слишком дорого для небольших компаний. Поэтому мы думаем, что шаблоны для КЭ моделирования ("симуляции"), по-видимому, наиболее широко будут использоваться инженерами-конструкторами, у которых нет возможности привлекать CAE-эксперта".

Современная российская проблематика

Среди российских фирм-разработчиков CAD/CAE-систем назовем и кратко охарактеризуем две фирмы: АСКОН и ЗАО "Топ-Системы".

5.1. АСКОН

АСКОН (год основания – 1989, сегодня в АСКОН работают 550 сотрудников, из них 200 заняты в исследованиях и разработке программного обеспечения) – крупнейший российский разработчик инженерного программного обеспечения и интегратор в сфере автоматизации проектной и производственной деятельности. В продуктах компании воплощены достижения отечественной математической школы, 23-летний опыт создания САПР и глубокая экспертиза в области проектирования и управления инженерными данными в машиностроении и строительстве. Программное обеспечение АСКОН используют свыше 7000 промышленных предприятий и проектных организаций в России и за рубежом.

Направления деятельности:

Разработка систем автоматизированного проектирования, управления инженерными данными и управления производством;

Комплексная автоматизация инженерной подготовки производства и управления производством в машиностроении;

Комплексная автоматизация проектной деятельности в промышленном и гражданском строительстве.

Основные продукты:

КОМПАС-3D – система трехмерного моделирования, построенная на собственном математическом ядре; КОМПАС-3D поддерживает экспорт / импорт наиболее популярных форматов моделей, за счёт чего обеспечивается интеграция с различными CAD / CAM / CAE пакетами;

КОМПАС-График – универсальная система автоматизированного проектирования;

ЛОЦМАН:PLM – система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия;

ЛОЦМАН:ПГС – система управления проектными данными;

ВЕРТИКАЛЬ – система автоматизированного проектирования технологических процессов

5.2. ЗАО «Топ Системы»

ЗАО «Топ Системы» (год основания – 1992) – разработчик российского программного комплекса T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM.

T-FLEX PLM+ - новое полномасштабное решение в области управления жизненным циклом изделий и организации деятельности предприятий. Лежащий в его основе набор программ T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/CRM... позволяет эффективно организовать работу на всех этапах жизненного цикла изделия, а также расширить стандартные границы PLM-решений дополнительными возможностями по управлению всеми процессами, сопутствующими выпуску продукции. Комплекс программ T-FLEX PLM+ дает возможность организовать единую среду конструкторского и технологического документооборота, проектирования и подготовки производства. Пользователи получают широкие возможности по управлению номенклатурой и структурами изделий, автоматизации любых бизнес-процессов предприятия, а также инструменты интеграции с различными ERP-системами, что позволяет обеспечить чёткое взаимодействие всех сотрудников. Расширенные функции (PLM+) позволяют управлять проектами и планировать ресурсы, вести полноценный канцелярский документооборот и администрировать взаимоотношения с клиентами. Полная открытость платформы T-FLEX обеспечивает неограниченные возможности по расширению комплекса и созданию собственных информационных систем в рамках единого информационного пространства предприятия.

Единый комплекс T-FLEX PLM+ включает в себя:

CAD – T-FLEX CAD - система автоматизации черчения, параметрического проектирования и трехмерного параметрического твердотельного и поверхностного моделирования. Высокая функциональность и уникальные параметрические технологии являются отличительными особенностями САПР T-FLEX CAD.

PDM – T-FLEX DOCs 2010 - современный российский программный PLM-комплекс для решения задач конструкторско-технологического документооборота, организационно-распорядительного документооборота и комплексного управления инженерными данными предприятия. Все системы комплекса T-FLEX CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM функционируют на единой информационной платформе T-FLEX DocsLine PLM-системы T-FLEX DOCs 2010.

CAE – Расчетные инженерные программы – T-FLEX Анализ, T-FLEX Динамика, T-FLEX Расчеты / Зубчатые передачи, T-FLEX Пружины и другие.

CAPP – T-FLEX Технология 2010 - система для автоматизации технологической подготовки производства, обладающая гибкими современными средствами разработки технологических проектов любой сложности. САПР T-FLEX Технология позволяет выпускать качественную технологическую документацию на любые типы изделий. Нормирование технологических процессов осуществляется с помощью системы T-FLEX Нормирование.

CAM – Модули подготовки программ для станков с ЧПУ - T-FLEX ЧПУ, T-FLEX NC Tracer.

5.3. ADEM, Model Studio CS

Кроме АСКОН и ЗАО "Топ-Системы" необходимо также отметить и другие российские системы:

- ADEM (Automated Design Engineering Manufacturing) — российская интегрированная CAD/CAM/CAPPсистема (Computer-Aided Process Planning, CAPP – "автоматизированная система технологической подготовки производства"), предназначенная для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП);

- Model Studio CS – российская линейка программных продуктов для трехмерного проектирования промышленных объектов; каждый программный продукт линейки позволяет выполнять компоновочную задачу, автоматически выполняет расчеты, генерирует спецификации и чертежи. MechaniCS – приложение к AutoCAD или Autodesk Inventor, предназначенное для оформления чертежей в соответствии с ЕСКД и др. Project Studio CS – линейка программ для архитектурно-строительного рабочего проектирования в среде AutoCAD. TechnologiCS – специализированный программный продукт, предназначенный для использования на производственных предприятиях. ElectriCS Pro – САПР, предназначенная для проектирования электрооборудования, применяемого в различных отраслях промышленности. Energy CS – предназначен для выполнения электротехнических расчётов при проектировании и эксплуатации электроэнергетических систем любой сложности. GeoniCS – линейка профессиональных программных продуктов, предназначенных для специалистов в области геодезии, геологии, землеустройства, проектирования генпланов.

5.4. Создание и внедрение отечественного ПО имитационного моделирования. Создание отечественного 3D–ядра трехмерного моделирования.

В 2010 году была создана широкая кооперация организаций (ГК «Росатом», организации РАН, Минобрнауки России, промышленные предприятия, коммерческие организации) и распределены задачи по созданию и внедрению отечественного ПО имитационного моделирования. Участниками проекта среди промышленных предприятий являются ОАО «Компания «Сухой», ОАО «НПО «САТУРН», ОАО «СПбАЭП», ОАО «КАМАЗ», ФКП «НИЦ РКП», ОАО «КБ ХимАвтоматики» и др.; среди предприятий ГК «Росатом» – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», ОАО «ОКБМ Африкантов», ОАО ОКБ «Гидропресс» и др.; среди коммерческих организаций – ЗАО «АвтоМеханика», АО «Сигма-Технология», ОАО «ТЕСИС» и др.; среди организаций РАН – ИБРАЭ, НИИСИ, ИПМ, СПбО ИГЭ и др.; среди учреждений Минобрнауки России – МГУ, СПбГУ, ННГУ, КГУ, МГТУ и др.

В декабре 2011 года Московский государственный технологический университет «Станкин» (МГТУ «Станкин») победил в тендере Минпромторга РФ, проводившегося в рамках ФЦП «Национальная технологическая база» на 2007-2011 годы. Конкурс проводился за право создать уникальное 3D-ядро для создания на его основе сложных программных продуктов – выполнение НИР и НИОКР "Создание отечественного лицензируемого программно-математического ядра трехмерного моделирования как базы для компьютерных систем автоматизированного проектирования сложной машиностроительной продукции”. Занявший первое место МГТУ «Станкин» получит на разработку 3D-ядра 690 млн. рублей (при курсе 30 руб. за 1 доллар мы получим, что стоимость разработки составит 23 млн. долларов). Соперником «Станкина» в борьбе за право создания сложнейшего программного продукта был Центральный Аэрогидродинамический институт имени Н.Е. Жуковского (ЦАГИ).

Итак, проект по созданию 3-D ядра смело можно назвать отечественным мега-проектом. Ядро трехмерного моделирования (3D-ядро) представляет собор набор программных компонентов, на основе которых создаются компьютерные приложения для системы автоматизированного проектирования (САПР, CAD) машиностроительных изделий. Разработка 3D-ядра является весьма сложной задачей, для решения которой необходима концентрация разнообразных компетенций и опыта в области математики и информационных технологий. Такое ядро, будучи положено в основу нового поколения компьютерных систем проектирования, инженерного анализа, подготовки производства, создания технической документации, будет способствовать созданию российской промышленностью инновационных изделий, конкурентоспособных на мировом рынке, став частью национальной технологической базы.

Отметим, что только крупные компании, занимающиеся производством сложной техники и вооружений, из технологически развитых стран, таких как Германия, США, Франция имеют в наличии такие «ядра». По словам генерального директора инжинирингового центра МГТУ «Станкин» С. Кураксина (ранее генеральный директор ЗАО “Топ-Системы”), который и будет выполнять НИР/НИОКР по созданию 3-D ядра, «в России в 90% случаев используются западные программы, созданные на основе иностранных ядер, но своего ядра, которое смогут использовать отечественные разработчики, у нас нет».

В настоящее время конструкторы и разработчики сложной техники в процессе ее моделирования пользуются, в основном, программными продуктами от немецкой Siemens PLM Software (Parasolid) и французской Dassault Systèmes (ACIS). Правда, 3D-ядра, которые лежат в основе этих программ, обе компании начали разрабатывать более 20 лет назад.

В частности, одним из субподрядчиков по выполнению НИОКР с целью создания отечественного лицензируемого программного ядра 3-D моделирования выступит компания ЗАО “ЛЕДАС” из Новосибирска, которая обладает тринадцатилетним опытом разработки наукоемких программных компонентов САПР по заказу лидеров мирового рынка инженерного ПО. Среди успешно выполненных компанией проектов – интервальный решатель для работы с инженерными знаниями; решатель геометрических и размерных ограничений для параметрического черчения, проектирования сборок, кинематической анимации и прямого моделирования; модули для работы с полигональными сетками в режиме реального времени (преобразование сетки в поверхность подразделения, развертка сетки на плоскость, вычисление минимальных расстояний и определение пересечений между сетками); модули трансляции инженерных данных. С учетом указанного опыта, компании ЛЕДАС в проекте “3D-ядро” был поручен сектор работ, связанных с разработкой изощренных алгоритмов вычислительной и дискретной математики, и включающий известную своей сложностью задачу высокоточного построения пересечения произвольных поверхностей и кривых.

“Общий объем выполненных компанией ЛЕДАС проектов по разработке математических программных компонент САПР насчитывает сотни человеко-лет”, отмечает А. Ершов, генеральный директор ЗАО “ЛЕДАС”. “Наши специалисты глубоко разбираются в математических основах САПР, а также в совершенстве владеют методологией внедрения наукоемких разработок в практику промышленного программирования”.

Учитывая, что аналогичные проекты по созданию 3-D ядер (Parasolid от Siemens PLM Software, ACIS от Dassault Systèmes) создавали и развивали не один десяток лет коллективы из тысяч высококвалифицированных специалистов, трудоемкость их создания составляет десятки тысяч человеко-лет, то вызывает сомнение возможность создание глобально конкурентоспособного 3-D ядра за три года с объемом финансирования 23 млн. долларов. Однако, несмотря на высказанные сомнения, пожелаем удачи и успешного завершения проекта “3-D ядро” всем участникам проекта. Наберемся терпения и посмотрим, что в результате выполнения НИР/НИОКР получится...

Другой мега-проект – “Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий”, выполняемый по приоритетному направлению “Стратегические компьютерные технологии и программное обеспечение” (на основе решения Комиссии при Президенте Российской Федерации по вопросам модернизации и технологического развития экономики). Главный исполнитель проекта – ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

Современное состояние в России имитационного моделирования на суперкомпьютерах (в контексте настоящей работы – суперкомпьютерного инжиниринга) характеризуется полной зависимостью от зарубежных программ (используется более 90% импортного ПО). Причины этого мы подробно поясняли ранее – важна не национальная принадлежность программного обеспечения, а его глобальная конкурентоспособность, такие характеристики как высокое качество, удобство использования, быстродействие, мультидисциплинарность, надотраслевой характер программного обеспечения и т.д., т.е. в условиях свободного рынка распространение получают программные системы (в частности, CAD/CAE-системы) действительно мирового уровня.

Однако, нельзя не согласиться с тезисом, что в ряде случаев могут возникать серьезные ограничения по приобретению лицензий организациями ОПК, поэтому разработка и внедрение отечественного программного обеспечения (ПО) имитационного моделирования является важнейшей задачей.

Ключевые инструменты государственной политики

1. Распределение координирующих функций между федеральными органами исполнительной власти и определение ответственных за эффективную реализацию отдельных направлений инновационной политики, включающей развитие и обеспечение глобальной конкурентоспособности ключевых отраслей промышленности российской экономики.

2. Обеспечение приоритетности финансирования:

- разработки, приобретения, развития, адаптации и применения наукоемких компьютерных технологий мирового уровня, в первую очередь, технологий компьютерного инжиниринга как основы для создания глобально конкурентоспособных продуктов и изделий нового поколения в сжатые сроки,

- разработки наукоемких инноваций, подготовки и профессиональной переподготовки инженеров (бакалавров и магистров техники и технологий), владеющих наукоемкими компьютерными технологиями мирового уровня, при последующих циклах бюджетного планирования.

3. Наращивание инновационной активности в государственном секторе экономики, в первую очередь, в компаниях с государственным участием и государственных корпорациях, посредством реализации ими программ инновационного развития (ПИР), предусматривающих участие в них технических университетов.

4. Формирование сети ведущих технических университетов, развитие исследовательских, инженерных и технологических компетенций вузов, расширение выполнения на их базе НИР, НИОКР и НИОКТР в интересах производственных компаний реального сектора экономики.

5. Формирование распределенной сети инжиниринговых (инженерно-технологических) центров: центров превосходства, оснащенных всеми передовыми CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-технологиями мирового уровня, и региональных / отраслевых инжиниринговых центров компетенции, центров трансфера технологий, консалтинга, аутсорсинга и т.д., центров повышения уровня компетенций и профессиональной переподготовки на базе ведущих российских высокотехнологичных инжиниринговых компаний и национальных исследовательских университетов.

6. Обеспечение активного участия ведущих промышленных предприятий в определении и финансировании приоритетов научно-технологического развития, в том числе путем формирования технологических платформ и профессиональных сообществ практик, в первую очередь, в области создания и применения новых материалов, в частности, композитов и композит-

ных структур, и в области наукоемкого компьютерного инжиниринга, для которого характерны мультидисциплинарность и надотраслевой характер функциональных возможностей.

7. Совершенствование механизма, позволяющего осуществлять финансовую, организационную и консультационную поддержку инновационных проектов на основе современных технологий компьютерного инжиниринга на всех стадиях инновационного цикла.

8. Совершенствование образовательных стандартов и внедрение новых технологий обучения в целях формирования навыков и компетенций мирового уровня, необходимых для инновационной экономики, создание и реализация инновационных магистерских программ опережающей целевой подготовки по заказам госкорпораций и крупных промышленных предприятий.

9. Перераспределение финансирования в пользу активных инжиниринговых коллективов путем повышения роли конкурсных механизмов выделения средств на прикладную науку.

10. Формирование необходимых инструментов и механизмов поддержки государственных закупок инновационных технологий компьютерного инжиниринга мирового уровня и эффективного размещения заказа на НИР, НИОКР и НИОКТР для государственных нужд в рамках создания комплексной федеральной контрактной системы.

11. Активизация поддержки выхода на внешние рынки российских высокотехнологичных инжиниринговых компаний, в том числе путем наращивания финансовой поддержки экспорта.

12. Содействие российским инжиниринговым компаниям в поиске зарубежных технологических партнеров, формирование и реализация совместных проектов, выпуск высокотехнологичной продукции с компаниями из наиболее технологически развитых стран, в том числе на базе торговых представительств Российской Федерации.

Приложения

9.1. Требования к инженерным компетенциям в России

В соответствии с российским законодательством (Федеральные законы № 232-ФЗ и 309-ФЗ) с 01.09.2009 г. вузами России осуществлен переход на уровневую систему образования на основе новых Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) высшего профессионального образования (ВПО) по направлениям подготовки (т.е. на основе ГОС третьего поколения). В качестве примера компетенций инженера XXI века в России рассмотрим ФГОС ВПО по направлению подготовки 151600 "Прикладная механика", утвержденные Приказом Министерства образования и науки РФ от 9 ноября 2009 г. № 540, 541. Квалификации (степени) выпускников этого направления – "бакалавр" и "магистр" техники и технологий, а само направление "Прикладная механика" относится к укрупненной группе направлений и специальностей "Металлургия, машиностроение и материалообработка".

Принципиально важно понимать, что направлению подготовки "Прикладная механика" присущи современные черты инновационного инженерного образования – фундаментальная физико-математическая подготовка, мультидисциплинарность (см. области профессиональной деятельности) и надотраслевой характер (см. объекты профессиональной деятельности), широкое применение передовых наукоемких технологий компьютерного инжиниринга мирового уровня, позволяющих создавать в кратчайшие сроки конкурентоспособную и востребованную на глобальном рынке продукцию нового поколения.

Объектами профессиональной деятельности магистров являются:

– физико-механические процессы и явления, машины, конструкции, композитные структуры, сооружения, установки, агрегаты, оборудование, приборы и аппаратура и многие другие объекты современной техники, различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, для которых проблемы и задачи прикладной механики являются основными и актуальными и которые для своего изучения и решения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, основанных на законах механики:
- авиа- и вертолетостроение,
- автомобилестроение,
- гидро- и теплоэнергетика, атомная энергетика,
- гражданское и промышленное строительство;
- двигателестроение,
- железнодорожный транспорт,
- металлургия и металлургическое производство,
- нефтегазовое оборудование для добычи, транспортировки, хранения и переработки,

- приборостроение, нано/микро системная техника,
- ракетостроение и космическая техника,
- робототехника и мехатронные системы,
- судостроение и морская техника,
- транспортные системы,
- тяжелое и химическое машиностроение,
- электро- и энергомашиностроение;

– технологии: информационные технологии, наукоемкие компьютерные технологии на основе применения передовых CAD/CAE-технологий и компьютерных технологий жизненного цикла изделий и продукции (PLM-технологии, Product Lifecycle Management), расчетно-экспериментальные технологии, суперкомпьютерные технологии и технологии распределенных вычислений на основе высокопроизводительных кластерных систем, технологии виртуальной реальности, технологии быстрого прототипирования, производственные технологии (технологии создания композиционных материалов, технологии обработки металлов давлением и сварочного производства, технология повышения износостойкости деталей машин и аппаратов), нанотехнологии;

– материалы, в первую очередь, новые, перспективные, многофункциональные и “интеллектуальные” материалы, материалы с многоуровневой или иерархической структурой (порошковые, пористые и керамические материалы, композиционные материалы, включая слоистые, волокнистые, гранулированные и текстильные композиты с регулярной и хаотической микроструктурой, нанокомпозиты), материалы техники нового поколения, функционирующей в экстремальных условиях: при сверхнизких и сверхвысоких температурах, в условиях сверхвысокого давления и вакуума, в условиях статического, циклического, вибрационного, динамического и ударного нагружений, высокоскоростного деформирования и взрывных нагрузок, в условиях концентрации напряжений и деформаций, мало- и многоцикловой усталости, контактных взаимодействий и разрушений, различных типов изнашивания (абразивное, коррозионно-механическое, адгезионное и когезионное, усталостное, эрозионное, кавитационное, фреттинг-коррозия), а также в условиях механических, акустических, аэро- и гидродинамических, тепловых, электро-магнитных и радиационных внешних воздействий.

Область профессиональной деятельности магистров включает:

– теоретическое, компьютерное и экспериментальное исследование научно-технических проблем и решение задач прикладной механики – задач динамики, прочности, устойчивости, рациональной оптимизации, долговечности, ресурса, живучести, надежности и безопасности машин, конструкций, композитных структур, сооружений, установок, агрегатов, оборудования, приборов и аппаратуры и их элементов;

– применение информационных технологий, современных систем компьютерной математики, технологий конечно-элементного анализа и вычислительной гидрогазодинамики, наукоемких компьютерных технологий – программных систем компьютерного проектирования (систем автоматизированного проектирования, САПР; CAD-систем, Computer-Aided Design), программных систем инженерного анализа и компьютерного инжиниринга (CAE-систем, Computer-Aided Engineering), применение передовых технологий “Simulation-Based Design” (компьютерного проектирования конкурентоспособной продукции, основанного на интенсивном применении многовариантного конечно-элементного моделирования) и “Digital Mock-Up” (технологии разработки цифровых прототипов на основе виртуальных, цифровых трехмерных моделей изделия и всех его компонентов, позволяющих исключить из процесса разработки изделия создание дорогостоящих натурных моделей-прототипов и позволяющих “измерять” и моделировать любые характеристики объекта в любых условиях эксплуатации);

– исследование проблем механики контактного взаимодействия, контактного повреждения и разрушения, проблем трибологии (трения, износа и смазки), надежности (в первую очередь, безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости, износостойкости, усталости и коррозии) машин, их деталей, узлов трения и триботехнических систем;

– управление проектами, управление качеством, управление наукоемкими инновациями, маркетинг, стратегический и инновационный менеджмент, предпринимательство в области высоких наукоемких технологий; организация работы научных, проектных и производственных подразделений, занимающихся разработкой и проектированием новой техники и технологий, внедрением и применением наукоемких технологий.

Бакалавры и магистры техники и технологий по направлению “Прикладная механика” должны обладать общекультурными компетенциями:

– владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения;

– уметь логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь;

– быть готовым к сотрудничеству с коллегами и к работе в коллективе;

– находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и быть готовым нести за них ответственность;

– использовать нормативные правовые документы в своей деятельности;

– стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;

– уметь критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и средства развития достоинств и устранения недостатков;

– осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности;

– использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, быть способным анализировать социально значимые проблемы и процессы;

– использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях;

– способность понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны;

– владеть основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией;

– владеть одним из иностранных языков на уровне чтения и понимания научно-технической литературы, быть способным общаться в устной и письменной формах на иностранном языке;

– владеть основными знаниями и методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий;

– уметь использовать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности;

– быть готовым к профессиональному росту, самостоятельно пополнять свои знания, совершенствовать умения и навыки, самостоятельно приобретать и применять новые знания, развивать компетенции;

– уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям России, толерантно воспринимать социальные и культурные различия и особенности других стран;

– использовать в личной жизни и профессиональной деятельности этические и правовые нормы, регулирующие межличностные отношения и отношение к обществу, окружающей среде, основные закономерности и нормы социального поведения, права и свободы человека и гражданина;

– владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, быть готовым к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности;

– владеть культурой безопасности, экологическим сознанием и рискориентированным мышлением, при котором вопросы безопасности и сохранения окружающей среды рассматриваются в качестве важнейших приоритетов жизнедеятельности;

– понимать проблемы устойчивого развития и рисков, связанных с деятельностью человека;

– владеть приемами рационализации жизнедеятельности, ориентированными на снижение антропогенного воздействия на природную среду и обеспечение безопасности личности и общества.

Бакалавры и магистры техники и технологий по направлению “Прикладная механика” должны обладать профессиональными компетенциями:

• расчетно-экспериментальными с элементами научно-исследовательских:

– быть способным выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

– применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности;

– быть готовым выполнять расчетно-экспериментальные работы и решать научно-технические задачи в области прикладной механики на основе достижений техники и технологий, классических и технических теорий и методов, физико-механических, математических и компьютерных моделей, обладающих высокой степенью адекватности реальным процессам, машинам и конструкциям;

– быть готовым выполнять расчетно-экспериментальные работы в области прикладной механики с использованием современных вычислительных методов, высокопроизводительных вычислительных систем и наукоемких компьютерных технологий, широко распространенных в промышленности систем мирового уровня, и экспериментального оборудования для проведения механических испытаний;

– составлять описания выполненных расчетно-экспериментальных работ и разрабатываемых проектов, обрабатывать и анализировать полученные результаты, готовить данные для составления отчетов и презентаций, написания докладов, статей и другой научно-технической документации;

– применять программные средства компьютерной графики и визуализации результатов научно-исследовательской деятельности, оформлять отчеты и презентации, готовить рефераты, доклады и статьи с помощью современных офисных информационных технологий, текстовых и графических редакторов, средств печати;

– критически анализировать современные проблемы прикладной механики с учетом потребностей промышленности, современных достижений науки и мировых тенденций развития техники и технологий, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач, анализировать, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты;

– самостоятельно осваивать и применять современные теории, физико-математические и вычислительные методы, новые системы компьютерной математики и системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы) для эффективного решения профессиональных задач;

– самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства; решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня);

– самостоятельно овладевать современными языками программирования и разрабатывать оригинальные пакеты прикладных программ и проводить с их помощью расчеты машин и приборов на динамику и прочность, устойчивость, надежность, трение и износ для специализированных задач прикладной механики;

– овладевать новыми современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по динамике и прочности, устойчивости, надежности, трению и износу машин и приборов; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов;

• проектно-конструкторскими:

– проектировать детали и узлы с использованием программных систем компьютерного проектирования на основе эффективного сочетания передовых технологий и выполнения многовариантных расчетов;

– участвовать в проектировании машин и конструкций с целью обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин;

– участвовать в работах по технико-экономическим обоснованиям проектируемых машин и конструкций, по составлению отдельных видов технической документации на проекты, их элементы и сборочные единицы;

– формулировать технические задания и применять программные системы компьютерного проектирования (CAD-системы) в процессе конструирования деталей машин и элементов конструкций с учетом обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости, долговечности, надежности и износостойкости, готовить необходимый комплект технической документации в соответствии с ЕСКД;

– проектировать машины и конструкции с учетом требований обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин;

– разрабатывать технико-экономические обоснования проектируемых машин и конструкций, составлять техническую документацию на проекты, их элементы и сборочные единицы;

• производственно-технологическими:

– выполнять расчетно-экспериментальные работы по многовариантному анализу характеристик конкретных механических объектов с целью оптимизации технологических процессов;

– участвовать во внедрении технологических процессов наукоемкого производства, контроля качества материалов, процессов повышения надежности и износостойкости элементов и узлов машин и установок, механических систем различного назначения;

– разрабатывать и оптимизировать современные наукоемкие технологии в различных областях приложения прикладной механики с учетом экономических и экологических требований;

– самостоятельно адаптировать и внедрять современные наукоемкие компьютерные технологии прикладной механики с элементами мультидисциплинарного анализа для решения сложных научно-технических задач создания техники нового поколения: машин, конструкций, композитных структур, сооружений, установок, агрегатов, оборудования, приборов и аппаратуры;

• научно-инновационными:

– участвовать во внедрении и сопровождении результатов научно-технических и проектно-конструкторских разработок в реальный сектор экономики;

– применять инновационные подходы с целью развития, внедрения и коммерциализации новых наукоемких технологий;

– разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности научно-производственного коллектива, разрабатывать технико- экономическое обоснование инновационных разделов научно-технических проектов;

– разрабатывать и реализовывать проекты по интеграции вузовской, академической и отраслевой науки с целью коммерциализации и внедрения инновационных разработок на высокотехнологичных промышленных предприятиях, в НИИ и КБ;

– участвовать в организации и проведении инновационного образовательного процесса;

• организационно-управленческими:

– участвовать в организации работы, направленной на формирование творческого характера деятельности небольших коллективов, работающих в области прикладной механики;

– участвовать в работах по поиску оптимальных решений при создании отдельных видов продукции с учетом требований динамики и прочности, долговечности, безопасности жизнедеятельности, качества, стоимости, сроков исполнения и конкурентоспособности;

– разрабатывать планы на отдельные виды работ и контролировать их выполнение;

– владеть культурой профессиональной безопасности, уметь идентифицировать опасности и оценивать риски в сфере своей профессиональной деятельности;

– быть готовым применять профессиональные знания для минимизации негативных экологических последствий, обеспечения безопасности и улучшения условий труда в сфере своей профессиональной деятельности;

– владеть приемами и методами работы с персоналом, методами оценки качества и результативности труда, оценивать затраты и результаты деятельности научно-производственного коллектива;

– находить рациональные решения при создании конкурентоспособной продукции с учетом требований прочности, жесткости, устойчивости, долговечности, износостойкости, качества, стоимости, сроков исполнения и безопасности жизнедеятельности;

– быть готовым к постоянному совершенствованию профессиональной деятельности, принимаемых решений и разработок в направлении повышения безопасности;

– владеть полным комплексом правовых и нормативных актов в сфере безопасности, относящихся к виду и объекту профессиональной деятельности;

• научно-педагогическими:

– принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе кафедр и других учебных подразделений по профилю направления, участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов;

– проводить учебные занятия, лабораторные работы, вычислительные практикумы, принимать участие в организации научно-исследовательской работы студентов младших курсов, быть способным преподавать в школах и среднетехнических учебных заведениях;

• консультационно-экспертными:

– консультировать инженеров-расчетчиков, конструкторов, технологов и других работников промышленных и научно-производственных фирм по современным достижениям прикладной механики, по вопросам внедрения наукоемких компьютерных технологий (CAD/CAE-систем);

– проводить научно-технические экспертизы расчетных и экспериментальных работ в области прикладной механики, выполненных в сторонних организациях.

Список источников

Название источника

1. Aberdeen Group. Boucher M. Cost Saving Strategies for Engineering: Using Simulation for Make Better Decisions. April 2010 // Aberdeen Group. 24 p.
2. Aberdeen Group. Simulation-Driven Design Benchmark Report. Getting It Right the First Time. October 2006 // Aberdeen Group. 24 p.
3. ANSYS 2012 Investor Day. Executive Summary. NASDAQ MarketSite. March 2012. 21 p.
4. ANSYS Inc. приобретает Ansoft Corporation. 2008, http://www.fea.ru/FEA_news_1225.html
5. ANSYS, Inc. анонсирует завершение приобретения компании Fluent, Inc. 2006, http://www.fea.ru/FEA_news_529.html
6. Behrens A. Машиностроительное проектирование за прошедшие 35 лет … // CAD / CAM / CAE Observer. №5. 2006. 15 – 17.
7. Bozdoc M. The History of CAD (http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm).
8. CAD/CAM/CAE Observer. Информационно-аналитический журнал (http://www.cadcamcae.lv)
9. Classes of MCAE Software: Clarifying the Market. Cyon Research corp., 2008, 23 p.
10. Computational Science: Ensuring America's Competitiveness. President's Information Technology Advisory Committee (PITAC). 2005. 117 p. (http://vis.cs.brown.edu/docs/pdf/Pitac-2005-CSE.pdf)
11. Cyon Research 2010 Survey of Engineering Software Users. A Cyon Research Report. September 7, 2010
12. Global Simulation and Analysis Software Market 2011-2015. Infinity Research Report. March 2012. 34 p. Table of Contents – http://www.technavio.com/content/Global-Simulation-and-Analysis-Software-Market-2011-2015
13. Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics. Part 1. NAFEMS Benchmark, October, 2006.
14. Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics. Part 2. NAFEMS Benchmark, January, 2007.
15. History of CAD/CAM. CADAZZ. 2004. (http://www.cadazz.com/cad-software-history.htm).
16. Obama B. Remarks by the President at the National Academy of Sciences Annual Meeting. The White House. April, 27. 2009. (http://www.whitehouse.gov/the_press_office/Remarks-by-the-President-at-the-National-Academy-of-Sciences-Annual-Meeting)
17. Research Directions in Computational and Composite Mechanics. A Report of the United States National Committee on Theoretical and Applied Mechanics (USNC/TAM), June 2007. 12 p.
18. Simulation-Based Engineering Science. April 2004. Report of the National Science Foundation. 26 p.
19. Simulation-Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation. May 2006. Report of the National Science Foundation. 88 p.
20. Аналитическая компания 01consulting (http://www.01consulting.net/)

21. Аналитическая компания Aberdeen Group (http://www.aberdeen.com/)
22. Аналитическая компания AMR Research (http://www.amrresearch.com/)
23. Аналитическая компания Cambashi (http://www.cambashi.com/)
24. Аналитическая компания CIMdata (http://www.cimdata.com/)
25. Аналитическая компания Cyon Research Corporation (http://cyonresearch.com/)
26. Аналитическая компания Daratech (http://www.daratech.com/)
27. Аналитическая компания Gartner (http://www.gartner.com/)
28. Аналитическая компания IDC (http://www.idc.com/)
29. Аналитическая компания Infinity Research (http://www.infiniti-research.com/)
30. Аналитическая компания Research and Markets (http://www.researchandmarkets.com/)
31. Бетелин В.Б. Суперкомпьютерные технологии – основа устойчивого социально-экономического развития России в XXI веке // Труды Межд. конф. "Современные проблемы математики, информатики и биоинформатики", посвященная 100-летию со дня рождения чл.-корр. АН СССР. А.А. Ляпунова. Новосибирск, 2011, 6 с.
32. Бетелин В.Б., Велихов Е.П., Кушниренко А.Г. Массовые суперкомпьютерные технологии – основа конкурентоспособности национальной экономики в XXI веке // Информационные технологии и вычислительные системы, 2007, № 2, 3 – 10.
33. Боровков А.А. Компьютерный инжиниринг (Computer-Aided Engineering, CAE) материалов и конструкций. Основные тенденции развития // Доклад на Круглом столе (Workshop) Центра стратегического развития "Северо-Запад" "Основные тенденции развития технологий и рынков современных материалов". Санкт-Петербург, ЦСР "Северо-Запад" 11 февраля 2012 года.
34. Боровков А.А. Технологии компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE). Основные тенденции развития // Доклад на Круглом столе (Workshop) Центра стратегического развития "Северо-Запад" "Основные тенденции развития технологий и рынков инжиниринга и проектирования". Санкт-Петербург, ЦСР "Северо-Запад" 10 февраля 2012 года.
35. Боровков А.И. CompMechLab-REVIEW - битва CAE-гигантов: ANSYS Inc. vs MSC. Software в 1995-2008 гг. // http://www.fea.ru/FEA_news_1417.html
36. Боровков А.И. CompMechLab-REVIEW. Лидеру CAE-рынка ANSYS, Inc. – 40 лет // http://www.compmechlab.ru/FEA_news_1779.html
37. Боровков А.И. PLM-технологии, компьютерный инжиниринг, глобальный аутсорсинг. Часть 1. Современное состояние, тенденции и перспективы развития // Конструктор-машиностроитель. Информационно-аналитический журнал. Декабрь, 2005. 4 – 7.
38. Боровков А.И. PLM-технологии, компьютерный инжиниринг, глобальный аутсорсинг. Часть 2. Глобализация и компьютерный инжиниринг как основные ускорители развития PLM-технологий // Конструктор-машиностроитель. Информационно-аналитический журнал. Март, 2006. 06 – 13.
39. Боровков А.И. PLM-технологии: вчера, сегодня, завтра. Каталог САПР. Программы и производители 2008-2009. - М.: Солон-Пресс. 2008. 24 - 29.
40. Боровков А.И. PLM-технологии: вчера, сегодня, завтра. Каталог САПР. Программы и производители 2011-2012. - М.: Солон-Пресс. 2011.
41. 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. 24 –33.

42. Боровков А.И. Современные технологии компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE). Опыт построения современного Инжинирингового центра - CAD/FEA/CFD/CAE Centre of Excellence) // Доклад на конф. "Поставщики высокотехнологичных решений для отраслей российской промышленности". ЗАТО Саров, РФЯЦ ВНИИЭФ, 21 марта 2012 г.
43. 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". С.-Петербург. Изд. СПбГПУ. 2004. 33 – 48.
44. Боровков А.И., Пальмов В.А., Рудской А.И. Генерация знаний, развитие и коммерциализация наукоёмких 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". Санкт-Петербург. – СПб.: Изд. СПбГПУ, 2005. 9 –18.
45. Боровков А.И., Рудской А.И., Романов С.В. Наукоемкие компьютерные технологии в образовании, научных исследованиях и промышленности // Министерство образования и науки РФ, ФГУ ГНИИ информационных технологий и телекоммуникаций "Информика". Всероссийский научно-практический семинар "Информационные технологии в образовании. Теория и практика". Научные руководители семинара – зам. министра образования и науки И.И. Калина и директор ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика" А.Н. Тихонов. Москва, 28 ноября 2007 года, Федеральное агентство по образованию, зал коллегий.
46. Васильев Ю.С., Корнеев В.Г. Третий компонент познания - научные компьютерные супервычисления // Ученые записки Казанского Государственного университета, Физико-математические науки. 2007, т. 149, кн. 4, 6 – 35.
47. Велихов Е. П., Бетелин В. Б., Кушниренко А. Г. Промышленная политика, инновации, массовые информационные технологии, отечественные системообразующие компании. – М.: Энергоиздат, 2007. – 100 с.
48. Велихов Е.П., Бетелин В.Б. Промышленность, инновации, образование и наука Российской Федерации / Вестник РАН, 2008, т. 78, № 6, 500 – 512.
49. Велихов Е.П., Бетелин В.Б., Кушниренко А.Г. Промышленность, инновации, образование и наука в России. – М., "Наука", 2009, 140 с.
50. Гореткина Е. Настоящее и будущее рынка САПР // PC Week Review, январь, 2011.
51. Дженкинс Б. (Jenkins B.) Создание возможностей для компьютерного моделирования физических процессов и инженерного анализа // CAD/CAM/CAE Observer, 2010, № 1, 44 – 48.
52. Еженедельник PCWeek (http://www.pcweek.ru)
53. Знание ANSYS - необходимое условие получения квалификации Mechanical Design Engineer в Китае. 1.10.2006. (http://www.fea.ru/FEA_news_686.html)
54. Классы программных средств MCAE: понимание рынка. Доклад Cyon Research, 2008 (http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=12593)
55. Кон Д. Эволюция систем автоматизированного проектирования // CAD / CAM / CAE Observer. №1. 2011. 29 – 33.
56. Материалы сайта www.FEA.ru за период 2003-2012 гг.
57. Ноу-хау "M^3-Метод комплексирования и применения мультидисциплинарных, многоуровневых и многостадийных надотраслевых суперкомпьютерных технологий для решения сложных задач промышленности, энергетики, транспорта, строительства и связи". Приказ ГОУ ВПО СПбГПУ № 465/1 от 21.06.2011 "Об установлении режима коммерческой тайны".

58. Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть I. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 1, 64 – 69.
59. Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть II. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 2, 58 – 63.
60. Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть III. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 4, 64 – 75.
61. Павлов С.И. CAE-технологии в 2009 году: обзор достижений и анализ рынка // CAD/CAM/CAE Observer, 2010, № 4, 77 – 85.
62. Павлов С.И. CAE-технологии в 2010 году: достижения и анализ рынка // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 4, 20 – 30.
63. Павлов С.И. CAE-технологии в 2011 году: достижения и анализ рынка // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 4, 26 – 37.
64. Павлов С.И. Системы высокопроизводительных вычислений в 2010–2011 годах: обзор достижений и анализ рынка. Часть I. // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 5, 74 – 84.
65. Павлов С.И. Системы высокопроизводительных вычислений в 2010–2011 годах: обзор достижений и анализ рынка. Часть II. // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 5, 79 – 90.
66. Павлов С.И. Финансовый анализ рынка CAE-технологий в 2007 году. Часть I. / Структура рынка PLM и доля сегмента CAE // CAD/CAM/CAE Observer, 2008, № 5, 18 – 21.
67. Павлов С.И. Финансовый анализ рынка CAE-технологий в 2007 году. Часть II. / Доходы игроков рынка CAE // CAD/CAM/CAE Observer, 2008, № 6, 18 – 21.
68. Павлов С.И. Финансовый анализ рынка CAE-технологий в 2007 году. Часть III. / MCAE-“король” идет на рынок ECAE. Краткий обзор рынка EDA // CAD/CAM/CAE Observer, 2008, № 7, 70 – 72.
69. Павлов С.И. Финансовый анализ рынка CAE-технологий в 2008 году. Часть I. Биржевые котировки в период кризиса. Структура рынка PLM и доля сегмента CAE // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 4, 77 – 81.
70. Павлов С.И. Финансовый анализ рынка CAE-технологий в 2008 году. Часть II. / Прогноз развития рынка PLM. Доходы игроков рынка CAE // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 6, 22 – 28.
71. Павлов С.И. Финансовый анализ рынка CAE-технологий в 2008 году. Часть III. / Доходы игроков рынка CAE/ Некоторые тенденции развития CAE-технологий // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 7, 22 – 29.
72. Павлов С.И. Фондовый рынок высокотехнологичных компаний вышел из кризиса. Биржевые котировки акций лидеров PLM, MCAE, EDA, CPU&GPU и HPC // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 3, 92 – 95.
73. Подготовка инженерных кадров: опыт Холдинга “Сухой”. www.soyuzmash.ru/mol/docs/sukhoi.ppt
74. Речь президента США Б. Обамы перед Национальной Академией Наук США 27 апреля 2009 г., перевод на русский, газета “Троицкий вариант” 26 мая 2009 г. http://www.scientific.ru/trv/2009/029/obama.html
75. Рудской А.И., Боровков А.И., Романов С.В. Форсайт-структура. Принципы построения и развития. Опыт реализации // Материалы XI Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы “Фундаментальные исследования и инновации в технических университетах”. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2007. 12 - 28.
76. CAE-ТЕХНОЛОГИИ – КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ / М.П. Федоров, А.И. Боровков, Ю.Я. Болдырев, В.А. Пальмов // Материалы VI Всероссийской конф. по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах». Санкт-Петербург. 2002, Труды СПбГПУ, т.1. СПб. Изд-во СПбГПУ.17-24.

77. Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2010 г. Часть I. / Доходы “королей” на выходе из экономического кризиса // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 2, 10 – 20.
78. Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2010 г. Часть II. / Географический аспект извлечения доходов в период выхода из мирового кризиса // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 3, 9 – 18.
79. Суханов Ю.С. Финансовые показатели ключевых разработчиков САПР/PLM за 2011 г. Часть I. / Обзор доходов “королей” // CAD/CAM/CAE Observer, 2012, № 3, 10 – 25.
80. Тимошенко С.П. Инженерное образование в России. Люберцы, 1987.
81. Туккель И.Л., Федоров М.П. Становление инновационной экономики: университеты и кадровое обеспечение // Известия Уральского государственного университета. 2007. № 52. С. 11-18.
82. Ушаков Д. Первая десятка компаний мирового рынка CAD демонстрирует уверенный рост. 26.03.2012 (http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15158).
83. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 151600 Прикладная механика (квалификация (степень) "бакалавр"). Утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 9 ноября 2009 г. № 541, Зарегистрировано в Минюсте РФ 18 декабря 2009 г. № 15741.
84. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по направлению подготовки 151600 Прикладная механика (квалификация (степень) "магистр"). Утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 9 ноября 2009 г. № 540, Зарегистрировано в Минюсте РФ 8 февраля 2010 г. № 16298.
85. Федоров М.П. Докажите лидерство. // Наука и технологии России – STRF.ru.
86. Федоров М.П., Боровков А.И., Рудской А.И и др. Форсайт-структура в СПбГПУ // Материалы XIV Межд. научно-метод. конф. “Высокие интеллектуальные технологии и качество образования и науки”. СПб.: Изд. СПбГПУ. 2007.
87. Федоров М.П., Боровков А.И., Рудской А.И., Козлов В.Н., Романов С.В. Форсайт-структура в СПбГПУ // Инновационные технологии образования. № 10. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2007. 5 – 22.
88. Эванс М. (Evans M.) Структура рынка средств автоматизации изменяется, старые границы стираются // CAD/CAM/CAE Observer, 2011, № 6, 18 – 20.
89. Энциклопедия PLM // Составители и редакторы: Д. Левин, В. Малюх, Д. Ушаков. Новосибирск: издательский дом “Азия”. 2008. 445 с.

Перечень рисунков и таблиц

Рисунки

Таблицы

Сокращения

	Сокращение	Расшифровка
1.	ABET	Accreditation Board for Engineering and Technology
2.	AD	Additive Technologies
3.	AEC	Architecture, Engineering and Construction
4.	CAD	Computer-Aided Design
5.	CAE	Computer-Aided Engineering
6.	CALS	Computer-aided Acquisition and Logistics Support
7.	CDIO	Conceive-Design-Implement-Operate
8.	CE	Concurrent Engineering
9.	CFD	Computational Fluid Dynamics
10.	CIM	Computer Integrated Manufacturing
11.	CRM	Customer Relationship Management
12.	ECAE	Electrical CAE
13.	EIT	European Institute of Technology
14.	EKM	Engineering Knowledge Management
15.	FEA	Finite Element Analysis
16.	FEANI	European Federation of National Engineering Associations
17.	MBD	Multi Body Dynamics
18.	MCAE	Mechanical CAE
19.	MES	Manufacturing Enterprise Solutions
20.	MIT	Massachusetts Institute of Technology
21.	PDM	Product Data Management
22.	PLM	Product Lifecycle Management
23.	RP	Rapid Prototyping
24.	SCM	Supply Chain Management
25.	SLM	Simulation Lifecycle Management
26.	STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics
27.	TAP	Tapping America’s Potential
28.	WA	Washington Accord
29.	АИОР	Ассоциация инженерного образования России
30.	БАК	Большой Адронный Коллайдер
31.	ЕНК	Единый Национальный Комплекс

32.	ИКТ	Информационно-коммуникационные технологии
33.	ИТР	Инженерно-технические работники
34.	ИТЭР	Интернациональный Термоядерный Экспериментальный Реактор
35.	КАН	Китайская академия наук
36.	МКС	Международная Космическая Станция
37.	НИОКР	Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
38.	НИОКТР	Научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы
39.	НИР	Научно-исследовательские работы
40.	НКТ	Наукоёмкие компьютерные технологии
41.	НС	Научные сотрудники
42.	ППС	Профессорско-преподавательский состав
43.	РАН	Российская академия наук
44.	РСПП	Российский союз промышленников и предпринимателей
45.	РФФИ	Российский фонд фундаментальных исследований
46.	САПР	Система Автоматизации Проектных Работ, Система Автоматизации ПРоектирования

Об авторах

Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»

Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» основан в 2000 году.

Учредители: Центр стратегических разработок (Москва), пивоваренная компания «Балтика», ОАО «Телекоминвест», ОАО «Акционерный Банк «РОССИЯ» и ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт «Гранит».

Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» – независимый общественный институт.

Деятельность Фонда заключается в проведении стратегических исследований и выработке экспертных рекомендаций по широкому кругу социально-экономических вопросов.

Выполнение функции коммуникативной площадки рассматривается как одна из ключевых задач. Фонд создает условия для свободного и заинтересованного общения представителей различных профессиональных, территориальных, деловых и общественных сообществ по актуальным вопросам стратегического развития.

Работа Фонда в первую очередь адресована лицам, принимающим стратегические решения и несущим ответственность за их реализацию, а также экспертно-консультационным и проектным группам.

Партнерами Фонда являются федеральные министерства и ведомства, региональные и муниципальные органы власти, общественные и научные организации, бизнес-структуры.

Россия, 199106, Санкт-Петербург, 26-я линия В.О., д. 15, корп. 2, лит. А.
Тел./факс: +7 (812) 380 0320, 380 0321
E-mail: mail@csr-nw.ru
http://www.csr-nw.ru

Санкт–Петербургский государственный политехнический университет

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» – национальный исследовательский университет, осуществляющий подготовку кадров и проведение научных исследований в интересах высокотехнологичных отраслей национальной экономики.

В СПбГПУ обучается более 30 000 студентов и слушателей. В подготовке студентов принимают участие более 3 000 преподавателей, 27 академиков и членов-корреспондентов РАН, свыше 500 профессоров, докторов наук.

В рамках Приоритетного национального проекта «Образование» в 2007–2008 гг. в СПбГПУ реализована инновационная образовательная программа «Развитие политехнической системы подготовки кадров в инновационной среде науки и высокотехнологичных производств Северо-Западного региона России». В 2010 г. СПбГПУ вошел в число победителей конкурсного отбора программ развития университетов, в отношении которых устанавливается категория «национальный исследовательский университет». Цель Программы развития СПбГПУ на 2010–2019 гг. – модернизация и развитие СПбГПУ как университета нового типа, интегрирующего мультидисциплинарные научные исследования и надотраслевые технологии мирового уровня для повышения конкурентоспособности национальной экономики. СПбГПУ является победителем всех мегаконкурсов Минобрнауки по Постановлениям Правительства №№ 218, 219, 220.

СПбГПУ является участником 20 Программ инновационного развития госкомпаний, 7 технологических платформ; членом Ассоциации ведущих университетов России и Ассоциации «Консорциум опорных вузов ГК «Росатом»; входит в число вузов, заключивших меморандум о сотрудничестве с Фондом «Сколково». В число основных стратегических партнёров СПбГПУ, с которыми заключены договора о целевой подготовке выпускников и которые являются потребителями научно-инновационной продукции и наукоёмких услуг входят более 250 промышленных предприятий, ЦКБ, СКБ, КБ и научно-инновационных фирм высокотехнологических отраслей промышленности.

Россия, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 29.
Тел./факс: +7 (812) 552 7395
E-mail: iafc@spbstu.ru
http://www.spbstu.ru

Боровков А. И.
Бурдаков С. Ф.
Клявин О. И.
Мельникова М. П.
Михайлов А. А.
Немов А. С.
Пальмов В. А.
Силина Е. Н.

КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Учебное пособие

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-9, т. 2; 95 3005 — учебная литература

Подписано в печать 27.12.2012. Формат 60×84 1/8. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 11,75. Тираж 100. Заказ 2827.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в типографии Издательства Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 550-40-14.
Тел./факс: (812) 297-57-76.