



ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ ИНЖИНИРИНГ: обзор рынков и технологий

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2014

ББК 32.973
В 93

Авторы:

Э.Р. Абдулбариева, Ю.Я. Болдырев, А.И. Боровков, В.И. Жигалов, К.А. Иванова, В.Н. Княгинин,
А.А. Кузнецов, И.И. Ласкина, М.С. Липецкая, В.С. Осьмаков, Ю.Б. Ханьжина

Высокотехнологичный компьютерный инжиниринг: обзор рынков и технологий / научный редактор К.В. Дорофеев, руководитель группы В.Н. Княгинин. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2014. – 110 с.

Издание содержит аналитические материалы по тематике развития инжиниринговой деятельности и технологий компьютерного инжиниринга. Приводится информация о маркетинговых характеристиках рынка компьютерного инжиниринга в разрезе трех рыночных сегментов — инжиниринговых услуг, программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, аппаратной вычислительной базы. В работе произведен обзор основных рыночных и технологических трендов в области компьютерного инжиниринга, оказывающих влияние на производственный сектор в мире и в России.

Группа подготовки издания:

Научный редактор: К.В. Дорофеев
Руководитель группы: В.Н. Княгинин
Дизайнер: О. Р. Сергеева
Редактор: В.И. Машнина

ISBN 978-5-7422-4661-9

© Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», 2014
© Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, 2014
© Российский федеральный ядерный центр, Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, 2014
© Оформление. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, 2014

Оглавление

О ПРОЕКТЕ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
SUMMARY	9
I. РЫНОК КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ	13
1.1. Инжиниринг как вид деятельности	13
1.2. Компьютерный инжиниринг как инструмент инженерной деятельности	15
1.3. Общая характеристика рынка компьютерного инжиниринга	18
II. ХАРАКТЕРИСТИКА РЫНКА ИНЖИНИРИНГОВЫХ УСЛУГ	25
2.1. Сегментация рынка услуг инжиниринга в географическом разрезе	25
2.2. Тенденции глобального рынка инжиниринговых услуг	25
2.3. Барьеры для входа на рынок инжиниринговых услуг	28
2.4. Рынок аутсорсинга инжиниринговых услуг	29
III. ХАРАКТЕРИСТИКА РЫНКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА	32
3.1. Анализ рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга	32
3.2. Характеристики спроса на программное обеспечение для компьютерного инжиниринга в мире	34
3.3. Характеристика корпоративной структуры рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга	36
3.4. Характеристика региональной структуры рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга	39
3.5. Структура рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по инструментам	40
3.6. Структура рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по отраслям	42
3.7. Трансформация глобального рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга	43
3.8. Анализ рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга в России	47
IV. ХАРАКТЕРИСТИКА РЫНКА АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА	58
V. ПРОГНОЗ РЫНКА КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА	64
5.1. Прогноз глобального рынка компьютерного инжиниринга на 2014–2017 гг.	64
5.2. Проблемы и перспективы развития рынка компьютерного инжиниринга	68
5.3. Вопросы компьютерной безопасности	69
VI. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА	71
6.1. Рынок компьютерного инжиниринга как предмет государственного регулирования	71
6.2. Обзор государственных программ поддержки целевых рынков в России	73
VII. ПРОБЛЕМЫ РОССИЙСКОГО РЫНКА, ТРЕБУЮЩИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧАСТИЯ	80
VIII. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ИНСТРУМЕНТОВ И МЕХАНИЗМОВ ПОДДЕРЖКИ РЫНКА КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА	86
ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ИНЖИНИРИНГА	87
БИБЛИОГРАФИЯ	92

ПРИЛОЖЕНИЯ	99
Приложение 1. Обзор государственных инициатив и проектов в области компьютерного инжиниринга.....	99
Приложение 2. Примеры реализованных проектов поддержки рынка инженерного ПО в России.....	101
Приложение 3. Продукты и услуги российских компаний рынка компьютерного инжиниринга	103
О ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».....	106
О САРОВСКОМ ИННОВАЦИОННОМ ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ КЛАСТЕРЕ.....	107
О САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ	108
О ФОНДЕ «ЦЕНТР СТРАТЕГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТОК «СЕВЕРО-ЗАПАД».....	110

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Динамика роста сложности и интеллектуализации технических систем и инструментов	17
Рисунок 2. Структура рынка инжиниринга	18
Рисунок 3. Сегментация глобального рынка инжиниринговых услуг в 2013 г. по объему	20
Рисунок 4. Какова сфера деятельности вашей организации?	20
Рисунок 5. Каков статус инжиниринговой деятельности в вашей организации?	22
Рисунок 6. Предоставляет ли ваша организация инжиниринговые услуги?	22
Рисунок 7. Таймлайн развития аппаратной базы для компьютерного инжиниринга	24
Рисунок 8. Структура рынка услуг инжиниринга сложных технических систем США	26
Рисунок 9. Структура рынка услуг инжиниринга сложных технических систем Франции	26
Рисунок 10. Структура рынка услуг инжиниринга сложных технических систем КНР	26
Рисунок 11. Снижение уровня капиталоемкости рынка инжиниринговых услуг	27
Рисунок 12. Структура рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга (PLM-рынка).....	33
Рисунок 13. Оптимизация производственных процессов, %	34
Рисунок 14. Известность / степень внедрения технологий компьютерного инжиниринга зарубежными компаниями — пользователями инженерными программными средствами ..	35
Рисунок 15. Спрос на инженерное программное обеспечение со стороны дискретных производств в мире, млн долл.....	36
Рисунок 16. Спрос на инженерное программное обеспечение со стороны процессных отраслей промышленности в мире, млн долл.....	36
Рисунок 17. Корпоративная структура мирового рынка компьютерного инжиниринга, 2012 г., %	37
Рисунок 18. Продуктовые стратегии: зарубежные компании выходят в создание интегрированных PLM-платформ	37
Рисунок 19. Рыночные стратегии: доступ к потребителям за счет M&A, альянсов, развития дистрибьюторской сети	37
Рисунок 20. Динамика рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2008–2013 гг.	38
Рисунок 21. Динамика рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2012–2017 гг., млрд долл.	38
Рисунок 22. Региональные рынки программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2009–2012 гг., млрд долл.....	39
Рисунок 23. Структура рынка инженерного программного обеспечения, 2013 г., %	40
Рисунок 24. Темпы роста сегментов рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2013 г., %.....	40
Рисунок 25. Темпы роста инвестиций по сегментам рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2013 г., %	41

Рисунок 26. Отраслевая структура спроса на продукцию программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, млрд долл., 2009–2013 гг.	42
Рисунок 27. Отраслевая структура спроса на решения компьютерного инжиниринга в мире, млн долл., 2012 г.	42
Рисунок 28. Структура видов экономической деятельности в разрезе обрабатывающего производства, 2012 г., %.....	48
Рисунок 29. Доля организаций обрабатывающей промышленности по объему инвестиций в технологические инновации, %	48
Рисунок 30. Описание методики анкетирования	49
Рисунок 31. Доля организаций по штатной численности сотрудников, %	50
Рисунок 32. Доля организаций, по месту организации в цепочке жизненного цикла продукта, %	50
Рисунок 33. Доля организаций по отраслевой принадлежности, %	50
Рисунок 34. Место организации в технологической цепочке, по оценке респондентов, %.....	50
Рисунок 35. Доля опрошенных организаций, в которых конструкторско-технологическая документация создается на основе 3D-моделирования, %.....	51
Рисунок 36. Доля опрошенных организаций, в которых конструкторская документация признается только в бумажном виде, %	51
Рисунок 37. Доля опрошенных организаций, в которых электронная модель имеет статус конструкторского документа, %.....	51
Рисунок 38. Доля опрошенных организаций, которыми осуществляется комплексная автоматизация всех этапов жизненного цикла, %	51
Рисунок 39. Типы задач, решаемых с помощью инженерных программных средств, по доле опрошенных организаций, %	52
Рисунок 40. Типы используемых программных систем, по доле опрошенных организаций, %.....	52
Рисунок 41. Результат инжиниринговой деятельности, по доле опрошенных организаций, %.....	53
Рисунок 42. Типы инженерных расчетов (CAE), по доле опрошенных организаций, %	53
Рисунок 43. Лидеры продаж, по доле опрошенных организаций, %	53
Рисунок 44. Топ-6 российских суперкомпьютеров	60
Рисунок 45. Поставщики HPC-систем.	61
Рисунок 46. Структура рынка HPC-моделирования, 2012 г., %.....	61
Рисунок 47. Использование соответствующих аппаратных средств для работы в разных типах программных систем, случаи использования	62
Рисунок 48. Эксплуатируемое и планируемое к использованию аппаратное обеспечение	63
Рисунок 49. Среднегодовые темпы роста ключевых секторов рынка ПО для компьютерного инжиниринга в 2014–2017 гг.	64
Рисунок 50. Динамика рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по ключевым сегментам, млрд долл., 2014–2017 гг.	65
Рисунок 51. Прогноз структуры рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по основным продуктам на 2017 г.	65
Рисунок 52. Прогноз отраслевой структуры спроса на продукцию программного обеспечения для компьютерного инжиниринга в 2014–2016 гг.	66
Рисунок 53. Спрос на программные средства российских и зарубежных разработчиков, по доле опрошенных организаций, %	77
Рисунок 54. Продукты, предлагаемые участникам российского рынка САПР	81
Рисунок 55. Матрица потребностей российского производственного сектора в отечественном инженерном ПО	83
Рисунок 56. Минимальная стоимость годовой лицензии на пользование CAE-системами российских и зарубежных производителей, млн руб.	84
Рисунок 57. Ключевые проблемы в области компьютерного инжиниринга, выделенные экспертами, по доле опрошенных, %.....	84
Рисунок 58. Причины, по которым компании не используют разные типы аппаратного обеспечения	85

СПИСОК ТАБЛИЦ

Таблица 1. Типология технических систем по степени сложности и типам систем	14
Таблица 2. Издержки на создание физического прототипа изделия для технических систем разной сложности	17
Таблица 3. Сегменты рынка инжиниринга	19
Таблица 4. Обзор сегментов рынка технологического инжиниринга по отраслям	21
Таблица 5. Барьеры для входа на рынок инжиниринговых услуг	28
Таблица 6. Оценка значимости соответствия критериям успешного входа на рынок	29
Таблица 7. Корпоративная динамика CAE-сегмента	43
Таблица 8. Корпоративная динамика EDA-сегмента	44
Таблица 9. Корпоративная динамика MCAD-сегмента	45
Таблица 10. Корпоративная динамика cPDM-сегмента	45
Таблица 11. Программные продукты, востребованные российским производственным сектором	54
Таблица 12. Обзор российских компаний-разработчиков программного обеспечения для компьютерного инжиниринга	57
Таблица 13. Использование вычислительной мощности суперкомпьютеров из списка Топ-500 в различных отраслях	59
Таблица 14. Инициативы и программы поддержки отрасли инжиниринга со стороны органов государственной власти и институтов развития в России с 2010 по 2018 гг.	73
Таблица 15. Обзор направлений деятельности российских технологических платформ, на базе которых возможен запуск проектов поддержки компьютерного инжиниринга	78
Таблица 16. Порядок поддержки IT-проектов федеральными институтами развития	79
Таблица 17. Российские компании-разработчики инженерного программного обеспечения.	82

О проекте

Предлагаемое вашему вниманию публичное издание подготовлено Фондом «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» для Министерства промышленности и торговли Российской Федерации по результатам исследования рынка компьютерного инжиниринга в России. Документ продолжает развитие темы «компьютерный инжиниринг», впервые введенной в российский общественный дискурс публикацией серии «зеленых книг»¹ по итогам проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации на долгосрочную перспективу» в 2011–2012 гг.

Деятельность по промышленно-технологическому прогнозированию в рамках указанного проекта привела к формированию новой повестки промышленно-технологического развития России на долгосрочную перспективу². В частности, с утверждением в апреле 2014 г. подпрограммы «Развитие инжиниринговой деятельности и промышленного дизайна» в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», компьютерный инжиниринг стал рассматриваться как направление государственной инновационно-технологической политики.

Издание данной работы — инициатива ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», который заинтересован в выявлении направлений эволюции технологических и рыночных трендов в долгосрочной и краткосрочной перспективах. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» является ведущим российским держателем компетенций в ряде высокотехнологичных видов деятельности, обеспечивающих создание сложных технических систем, включая компьютерный инжиниринг как самый наукоемкий и совершенный инструмент математического моделирования, а также реализующие его аппаратно-программные решения: суперкомпьютеры (высокопроизводительные вычислительные системы, HPC), CAD/CAE программные комплексы, методы работы с большими массивами данных (Big Data).

Настоящее издание подготовлено по результатам анализа материалов консалтинговых компаний и международных агентств — лидеров в области консалтинга на рынке компьютерного инжиниринга: CIMdata, Inc., ARC Advisory Group, Markets&Markets, Frost&Sullivan, Aberdeen Group, Technavio, IBISWorld и др.; публикаций российских и зарубежных специализированных аналитических и информационных изданий: CAD/CAM/CAE Observer, isicad.ru, Открытые системы, САПР и графика, Эксперт, CNNews, PCWeek и др., публичных отчетов компаний — мировых игроков отраслевых рынков и рынка компьютерного инжиниринга, российских и зарубежных баз данных, официальных стратегических и программных документов Европейской комиссии, Правительства США, Агентства технологического развития Финляндии TEKES, Минпромторга России, Минэкономразвития России, РВК, Роснано и др. С целью подготовки издания было проведено анкетирование российских организаций, использующих специализированное программное обеспечение для осуществления деятельности в области компьютерного инжиниринга. Значительный вклад в подготовку настоящего документа внесли эксперты — представители компаний-разработчиков инженерного программного обеспечения, российских инжиниринговых центров, производственных организаций.

Авторы настоящей работы выражают особую благодарность А.В. Калошину (Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»), Е. И. Яблочникову и И. А. Волкову (ООО «Би Питрон СП»), М. В. Сапогову (группа компаний «ПЛМ Урал» — «Делкам-Урал»), М. П. Лобачеву (ФГУП «Крыловский государственный научный центр»), Е. В. Бахину, Д. И. Осначу (Группа компаний «АСКОН»), И. Н. Герасимову (ОАО «ОАК»), В. А. Левину (ИК «Фидесис»), Р. А. Диденко (ОАО НПО «Сатурн»), В. Л. Макарову (НП «Руссофт»), С. А. Кураксину (Топ Системы), С. Н. Курсакову (ТЕСИС), А. А. Собачкину (Mentor Graphics), всем экспертам, принявшим участие в дискуссиях в рамках подготовки издания.

Издание ориентировано на лиц, принимающих решения, а также всех, кто интересуется данной темой.

¹ См. «Зеленые книги» по темам: «Компьютерный инжиниринг», «Управление жизненным циклом технических систем», «Современное инженерное образование» и др. (полный перечень «зеленых книг» доступен по ссылке: <http://prom.csr-nw.ru/publications/summation>).

² См. государственную программу Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности» (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. №328). Электронный ресурс. URL: <http://government.ru/media/files/1gqVAlrW8Nw.pdf> (дата обращения: 06.12.2014).

Введение

По мере роста сложности создаваемых человеком технических систем растет спрос на инструменты, позволяющие оптимизировать процессы их разработки, производства и управления. Компьютерный инжиниринг дает ответ на этот вызов, обеспечивая реорганизацию процессов проектирования, конструирования, промышленного производства и эксплуатации сложных систем.

С развитием информационно-коммуникационных технологий, практик организации производственных и бизнес-процессов, управления цепочками создания стоимости и поставок, трансформируется суть понятия «компьютерный инжиниринг»³. Возможности современного программного обеспечения и вычислительной аппаратной базы позволяют моделировать, анализировать и визуализировать (Multi-D проектирование⁴) все этапы создания стоимости производимой продукции, а также накапливать и обрабатывать массивы данных, связанных с последующим функционированием и управлением жизненным циклом (концепция УЖЦ). Технически сложная продукция в XXI веке эволюционирует от отдельных единиц многокомпонентного оборудования в сторону интегрированных линий и автоматизированных платформ, формирующих затем интеллектуальные среды во всех сферах человеческой деятельности.

Задача формирования актуальной повестки государственной промышленно-технологической политики любой страны мира требует понимания основных трендов развития современных рынков, технологий и деятельности тех, кто вовлечен в процессы производства высокотехнологичной продукции посредством реорганизации традиционных практик промышленной производственной деятельности (сложившихся в основном 1930–1960-х гг.), а также последующего эффективно-го внедрения этой продукции в среду использования.

До настоящего времени в России отсутствовала практика государственной поддержки компьютерного инжиниринга, поэтому данный комплекс услуг не оформлен как специальный объект управления. Разработка мероприятий государственной политики, адекватных запросу реального сектора, затруднена по ряду причин. Так, нет согласованных экспертным сообществом и институционально оформленных определений компьютерного инжиниринга, достоверных оценок российского рынка, не сформирован статистический аппарат, не существует системы сбора данных о компетенциях и уровне технологического развития компаний, участники рынка не агрегированы.

Фиксация основных характеристик рынка компьютерного инжиниринга, определение существующих проблем и предложение вариантов решений стали целями подготовки настоящего издания.

³ Понятие «компьютерного инжиниринга» не закреплено в правовом поле. Экспертные подходы к определению термина различаются. В рамках доклада под термином «компьютерный инжиниринг» понимается как совокупность всех компонентов, предназначенных для эффективного решения сложных научно-технических проблем путем математического и компьютерного моделирования.

⁴ Понятие «Multi-D проектирование» — инновационная технология планирования и управления сооружением АЭС, развиваемая в ОАО НИАЭП Госкорпорации «Росатом». К 3D модели объекта добавляются: временная составляющая проектирования и строительства, документооборот, материалы и логистика

SUMMARY

0 понятия компьютерный инжиниринг

Понятие «инжиниринг», возникшее вместе с появлением инженерной профессии, означает практическое использование научно-технических знаний для создания систем, устройств, материалов и организации процессов. По мере развития науки соответственно расширялась и сфера инжиниринговой деятельности. Научно-техническая революция XX века привела к массовому проникновению инженерного подхода в большинство видов человеческой деятельности и выделению услуг инжиниринга в качестве отдельной индустрии. Как результат, сегодня на мировом рынке профессиональных услуг представлены десятки направлений инжиниринга, включая биоинжиниринг, строительный инжиниринг, химический инжиниринг, финансовый инжиниринг, инжиниринг материалов, промышленный инжиниринг и др.

В связи со стремительным развитием компьютерных технологий, сегодня практически не осталось инжиниринговой деятельности, которая так или иначе не была бы оснащена инструментами компьютерного моделирования и проектирования. Возникшее в последнее время понятие «компьютерный инжиниринг» включает совокупность инструментов, методологий и подходов, связанных с применением компьютерных и вычислительных технологий в инжиниринговой деятельности. Один из подходов к определению термина: «компьютерный инжиниринг — это совокупность всех компонентов, предназначенных для эффективного решения сложных научно-технических проблем путем математического и компьютерного моделирования».

Новые тренды в инжиниринге, вызванные применением компьютерных технологий

Использование информационных технологий в инжиниринге привело к возникновению нескольких качественно новых трендов в инжиниринговой деятельности, которые неразрывно связаны с вычислительными и коммуникационными возможностями компьютеров и компьютерных сетей, в том числе:

1. Создание распределенных интегрированных рабочих сред — «интеллектуальных конвейеров». Данный тренд, зародившийся в больших проектах по разработке программного обеспечения и быстро перенесенный в сферу проектно-конструкторских изысканий, успешно продолжает втягивать в себя все новые области коллективной человеческой деятельности. Применительно к инжинирингу, практика использования современных компьютерных средств коммуникации и совместной работы позволяет радикально повысить производительность инженерного труда, обеспечить доставку необходимых компетенций в нужные место и время в любую точку мира. Такой конвейер для инженерного труда, оснащенный мощными инструментами автоматизации, моделирования, коммуникации и обработки информации, предоставляет разработчику, конструктору, инженеру, технологу, проектировщику интеллектуальную коллективную рабочую среду с возможностями быстрой разработки изделий и систем практически любой сложности. Очевидно, что в ближайшей перспективе можно ожидать полную интеграцию «умных» сред от стадии разработки до конечного производства и, возможно, включение потребителя на стадии формирования требований к продукту. Такого рода интеграция сталкивается с рядом проблем, в том числе онтологического характера, выходящими за рамки инженерно-технической деятельности, и поэтому требует привлечения широкого круга специалистов.

2. Переход к тотальной «цифровизации». Разработка сложных цифровых моделей материалов, процессов, систем происходит на основе интеграции научных знаний и применения статистических методов обработки большого количества данных (Big Data). Переход к оперированию цифровыми моделями на всех стадиях жизненного цикла, включая проектирование материалов с заданными свойствами, позволяет производить моделирование поведения изделий, компонентов и систем в различных условиях.
3. Переход на уровень работы с социотехническими системами. Рост сложности систем привел к необходимости интеграции социальной составляющей в процессы проектирования и управления системами. Возможности современного программного обеспечения и вычислительной аппаратной базы позволяют моделировать, анализировать и визуализировать (например, как в методологии Multi-D проектирования) все этапы создания стоимости производимой продукции, а также накапливать и обрабатывать массивы данных, связанных с их последующим функционированием и управлением жизненным циклом (концепция УЖЦ). Учет интересов многочисленных стейкхолдеров на всех этапах жизненного цикла технической системы — обязательное условие как при создании новых продуктов для потребительского рынка, так и для построения сложных объектов инженерной инфраструктуры.

Рынок компьютерного инжиниринга

Рынок компьютерного инжиниринга в рамках данной работы рассматривается как совокупность двух взаимодействующих друг друга компонентов:

- собственно инжиниринговых услуг, носящих характер высокоинтеллектуальной научно-технической и технологической деятельности по разработке сложных технических систем;
- инструментов компьютерной поддержки инжиниринговых услуг, включающих программное обеспечение и аппаратную вычислительную базу.

Рынок инжиниринговых услуг характеризуется ростом аутсорсинга, что связано, в том числе, с возможностями новых распределенных интеллектуальных средств разработки. Предполагается, что к 2016 году объем рынка аутсорсинга инжиниринговых услуг достигнет 58,97 млрд долл.⁵ (около 10% совокупного рынка инжиниринговых услуг), в среднем рост составит 20% в год, или 78% в период 2012–2016 гг. Большая часть спроса на аутсорсинговые инжиниринговые решения создается в США, которые занимают 45,4% рынка. США направляет большую часть инжиниринговых услуг на аутсорсинг в такие развивающиеся страны, как Индия, Китай, и частично в Восточную Европу. Наибольшее развитие сектора наблюдается в Южной Корее — 70% совокупного рынка инжиниринговых услуг.

В сфере аппаратной базы компьютерного инжиниринга наблюдается углубление специализации на базе четырех основных платформ:

- Рабочие станции. В этом самом массовом сегменте аппаратного обеспечения для компьютерного инжиниринга наблюдается вытеснение узкоспециализированных рабочих станций оригинальной архитектуры мощными персональными компьютерами. Это связано со значительным ростом производительности массовых офисных компьютерных систем.
- Планшеты. Сравнительно новый, но быстро растущий сегмент. Рост планшетных платформ, предназначенных для мобильных пользователей, по всей видимости, является индикатором рождения нового сегмента мобильных решений для компьютерного инжиниринга.
- Клиент-серверные системы облачных сервисов. Данная архитектура реализуется преимущественно в облачных сервисах — SaaS (Software as a Service, «программное обеспечение как сервис») и IaaS (Infrastructure as a Service, «инфраструктура как сервис»).

⁵ Источник: TechNavio. Global Engineering Service Outsourcing Market 2012–2016.

- Суперкомпьютеры. Суперкомпьютеры, занимающие 201–500 места в Топ-500, в подавляющем большинстве используются в промышленности, в т. ч. для сложного инженерного моделирования. Рынок суперкомпьютерных технологий составляет порядка 30 млрд долл. и обладает достаточно высоким потенциалом роста (рост более 10 % в год). Россия, по данным на ноябрь 2013 г., занимает 9 место по количеству эксплуатируемых суперкомпьютерных систем (8 систем в списке). Лидирует по этому показателю США — 250 систем. В 2013 г. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» представил компьютер производительностью в 1000 терафлопс (1 петафлопс), который стал лидером среди российских суперкомпьютеров.

Программное обеспечение для компьютерного инжиниринга. Под программным обеспечением для компьютерного инжиниринга понимается его наиболее наукоемкое ядро — совокупность CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-решений. Совокупность CAD/CAM/CAE-технологий тесно взаимодействует в рамках единого информационного пространства с PDM-системами (Product Data Management, PDM — системы управления данными об изделии) и является встроенной в PLM-среду (Project Lifecycle Management, PLM — технологии управления жизненным циклом изделия). К 2017 г. рынок ПО для компьютерного инжиниринга достигнет 50 млрд долл., в 2014 г. приблизится к 40 млрд долл.⁶. То есть рост за период 2014–2017 гг. составит более 25 %. Темпы роста рынка за период 2014–2017 гг. будут превышать динамику мировой экономики в два-три раза. Это связано, во-первых, со стабильно высокими инвестициями крупнейших игроков — около 30 % от выручки направляется на R&D, во-вторых, с растущим спросом со стороны развивающихся стран. Мировой рынок инженерных программных средств консолидирован: продукция пяти лидирующих компаний формирует 70 % продаж программного обеспечения⁷. Лидерами рынка являются зарубежные разработчики программных решений: Dassault Systemes (DS), Siemens PLM Software, PTC, Autodesk, Ansys. Игроки рынка вкладываются в создание интегрированных инженерных программных платформ (PLM). Об этом свидетельствует направленность корпоративной динамики рынка. Процесс слияний и поглощения на рынке показывает, что приобретаемые компетенции закрывают существующие дефициты для формирования полной продуктовой линейки PLM. По данным зарубежных опросов, наиболее востребованными технологиями компьютерного инжиниринга в мире являются автоматизированное проектирование и инженерный анализ. В перспективе ожидается рост спроса на мобильные и облачные технологии, интегрированные инженерные платформы (PLM), программное обеспечение с открытым доступом.

Российский рынок программных средств для компьютерного инжиниринга является потенциально емким (до 1,7 % от мирового объема новых продаж). В последние несколько лет рынок имел высокую динамику роста (средние темпы роста — более 20 %) за счет технологического обновления производственных фондов основных отраслей промышленности и первичной продажи лицензий на инженерное программное обеспечение.

Ведущими российскими разработчиками инженерного программного обеспечения, производящими решения для управления жизненным циклом продукции, являются группа компаний «АСКОН» и Топ Системы. Объем продаж группы компаний «АСКОН» в 2013 г. составил более 983 млн руб., общее количество корпоративных рабочих мест с профессиональной лицензией САД-системы КОМПАС от АСКОН превышает 100 тыс. Видимой на рынке является компания ЗАО «Нанософт», предоставляющая бесплатный доступ к базовому программному продукту для геометрического моделирования «nanoCAD» (общее число зарегистрированных пользователей продукта в 2013 г. превысило 300 тыс., из них 29 тыс. — корпоративные пользователи). Среди поставщиков систем для инженерного анализа выделяются ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», компании ТЕСИС, НТЦ АПМ, ряд других.

⁶ По оценкам CIMData.

⁷ По данным ARC Advisory Group.

Проблемы российского рынка компьютерного инжиниринга, требующие государственного участия

Проблема 1. Компьютерный инжиниринг не является самостоятельным объектом управления со стороны государства. Деятельность отдельных ведомств в этой области не синхронизирована. Отсутствует стратегия развития и последовательных действий по сохранению и целенаправленному развитию соответствующих отечественных компетенций и технологий.

Проблема 2. Компании — потребители ПО оказываются под давлением внешнеполитической обстановки (возможность или фактическое наличие санкций). Им может быть недоступно ПО зарубежных разработчиков. Прямые аналоги российского производства отсутствуют.

Проблема 3. Специализированное программное обеспечение недоступно для большого числа малых/средних производственных компаний.

Рекомендации по поддержке рынка компьютерного инжиниринга в России

Формирование объекта управления:

- запуск деятельности по обновлению системы стандартов по разработке, проведению испытаний и производству продукции с учетом тенденций развития компьютерного инжиниринга;
- разработка требований и стандартов по компьютерной безопасности в промышленности;
- создание единой базы данных используемого организациями ПО для инжиниринга.

Поддержка производителей ПО для КИ:

- поддержка компаний-разработчиков по вопросам, связанным с ослаблением налоговой нагрузки, возможностью получения кредитов на пополнение оборотных средств, субсидированием платежей по кредитным процентам, преференциями для работы на внутреннем рынке, поддержкой выхода на внешние рынки и т. д.;
- координация деятельности производителей и потребителей ПО по формированию требований к отечественному инженерному программному обеспечению;
- создание отечественного инженерного программного обеспечения с учетом требований производственных организаций.

Поддержка потребителей ПО для КИ:

- предоставление ПО в аренду или обеспечение гибкого лицензирования ПО;
- создание центров коллективного пользования ПО, предоставление доступа к ПО через «облачные» сервисы;
- субсидирование ПО и аппаратной базы;
- организация образовательных программ для инженерных кадров.

I. Рынок компьютерного инжиниринга как объект исследования

1.1. Инжиниринг как вид деятельности

Понятие инжиниринг, возникшее в Европе в XVI веке вместе с появлением инженерной профессии, означает практическое использование научно-технических знаний для создания систем, устройств, материалов и организации процессов. По мере развития науки соответственно расширялась и сфера инжиниринговой деятельности. Научно-техническая революция XX века привела к массовому проникновению инженерного подхода в большинство видов человеческой деятельности и выделению услуг инжиниринга в качестве отдельной индустрии. Как результат, сегодня на мировом рынке профессиональных услуг представлены десятки направлений инжиниринга, включая биоинжиниринг, строительный инжиниринг, химический инжиниринг, финансовый инжиниринг, инжиниринг материалов, промышленный инжиниринг и др. Рост сложности создаваемых в результате инжиниринговой деятельности систем и требования рынка к высокой скорости создания новых продуктов определяют сегодня основные тренды развития инструментальных платформ инжиниринговой деятельности.

Рост сложности создаваемых систем

Современный уровень развития, масштабы созданной инженерами техносферы и степень зависимости от нее человека таковы, что она стала, без преувеличения, системой жизнеобеспечения человечества и условием его существования. Инженерные системы сегодня — это сооружения, содержащие десятки миллионов частей и занимающие площади в несколько гектаров, это глобальные распределенные сетевые структуры. Взаимодействуя друг с другом, инженерные системы образуют новые формы организованности — системы систем, которые зачастую не имеют единого центра управления.

Сложность продукта промышленного производства (технической системы⁸) может быть определена через такие характеристики как:

- количество и разнообразие составных частей (деталей, компонентов и т. д.) системы;
- высокое число и специфические свойства связей между компонентами (включая несводимость свойств всей структуры как целого к сумме свойств компонентов — «отсутствие аддитивности»);
- необходимость описания свойств и поведения отдельных компонентов (в первую очередь, материалов) на нано-, микро-, мезоуровнях, а всей конструкции — на макроуровне, включающее, например, возможные фазовые переходы и прогрессирующее накопление повреждений;
- необходимость учета взаимного влияния полей различной физической природы (механических, тепловых, аэро-, гидро-, газодинамических, электромагнитных, акустических, радиационных и т. д.);
- необходимость учета всех типов внешних воздействий (статических / стационарных, динамических / нестационарных, циклических, вибрационных, ударных и т. д.) и эксплуатационных режимов, включая нарушения нормальных условий эксплуатации, аварийные ситуации, запроектные аварии и т. д.;
- время, затрачиваемое на разработку системы;

⁸ В настоящее время фактически отсутствует всеобъемлющее и общепризнанное понятие сложности технической системы, однако можно выделить ряд характеристик, применяемых для определения степени сложности; понятно, что приведенный выше перечень характеристик не является исчерпывающим.

- учет требований большого количества стейкхолдеров, включая различные социальные группы, на всех этапах жизненного цикла систем;
- сложность процесса управления системой и другие⁹.

В рамках настоящей работы сложность изделия, конструкции или технической системы рассматривается в первую очередь в соответствии с длительностью цикла разработки, количеством частей в системе и ее характеристиками как продукта промышленного производства (см. табл. 1).

Таблица 1

Типология технических систем по степени сложности и типам систем

Сложность системы/продукта	Длительность разработки	Количество частей	Тип продукта	Примеры
Низкая	От недели до года	Менее 50	Непрерывное производство	Цемент, сплавы металлов и литые изделия из металлов, асфальт, продукты нефтепереработки, бумага и проч.
Средняя	От месяца до 5 лет	От 50 до 1000	Простая сборка	Канцтовары, мебель, спортивный инвентарь и проч.
Средне-высокая	От года до 5 лет	От 50 до 1000	Замкнутая система	Часы, электроника,
Высокая	От 5 до 10 лет	Не менее 25 000	Открытая система	Самолет, автомобиль, судно, нефтегазовые морские платформы
Очень высокая	От года до 20 лет	От 25 000 до 100 000	Открытая система	Все типы коммуникационных сетей, «системы систем», «конструкции в конструкции», «умные» объекты, мега-проекты по созданию международного экспериментального термоядерного реактора ITER, исследовательского термоядерного реактора с магнитным удержанием плазмы IGNITOR

Источник: ЦСП «Северо-Запад» по методологиям Aberdeen Group и Tushman and Rosenkop, OAKf

Необходимо отметить, что с проникновением компьютерных технологий во все сферы промышленности, интеллектуализацией «простых» технических объектов¹⁰, сформировался тренд к переходу практически всех технических систем в группу «сложных» и «очень сложных».

Высокая скорость создания новых продуктов

Спрос на получение высококачественного рыночного продукта, разработанного в кратчайшие сроки и с наименьшими издержками, стимулирует процесс постоянных модификаций как самих продуктов (разнообразных технических систем), так и технологий их производства. Результатом этого процесса является увеличение количества модификаций продукта (и его отдельных характеристик), каждый из которых имеет свои, в той или иной мере высокоэффективные характеристики. По мнению экспертов, в обозримом будущем при создании продуктовой линейки инженер-проектировщик будет управлять процессом разработки в рамках многокритериальной

⁹ Подробнее см Patzak, G. (1982). Systemtechnik — Planung komplexer innovativer Systeme. Berlin et al.: Springer; Simon H. A. (1962). The architecture of complexity. Proc. American Philosophical Society, pp. 467–482; Checkland, P. (1981). Systems thinking, systems practice. Chichester et al.: John Wiley & Sons, Bliss, C. (2000). Management von Komplexität: Ein integrierter, systemtheoretischer Ansatz zur Komplexitätsreduktion. Wiesbaden: Gabler.; Боровков А.И. и др. Компьютерный инжиниринг: изд-во СПбГПУ (2012).

¹⁰ Количество устройств «Интернета вещей» (Internet of things, IoT), по оценкам Gartner Inc., в 2009 г. превысило порог в 1 млрд единиц. Cisco приводит цифры о более чем 6 млрд устройств, подключенных к IoT в 2008 г., а к 2015 г. прогнозирует рост их количества до 25 млрд единиц.

оптимизации изделия, а точнее — разработки перечня изделий с возможностью выбора требуемой совокупности наилучших характеристик.

Вышеописанные процессы развития промышленных рынков приводят к изменениям в самой деятельности по проектированию сложных технических систем и активной реакции производителей. В течение нескольких десятилетий такой реакцией явился массовый переход к компьютерному инжинирингу как передовому способу комплексного решения задач создания (инженерного анализа и проектирования) изделия и обеспечения его эффективного сопровождения на протяжении всего жизненного цикла вплоть до утилизации.

Непрерывно расширяющемуся внедрению в практику проектирования методов оптимизации содействовали три важнейших обстоятельства:

- развитие теоретических аспектов решения задач оптимизации (в частности, оптимальное управление и оптимальное программирование, а также алгоритмы их реализующие);
- стремительный рост вычислительных мощностей рабочих станций, в том числе суперкомпьютеров, необходимых для эффективного решения задач оптимизации;
- развитие новейших производственных технологий, в первую очередь материалобработки на высокопроизводительных и ультрапрецизионных многоосевых токарно-фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ (фактически, это технологии, основанные на «убирании материала») и современных аддитивных технологий, основанных на «послойном добавлении материала», обеспечивающих возможности создания изделий с формой и структурой, которые несколько лет назад были принципиально нереализуемы с помощью традиционных производственных технологий.

1.2. Компьютерный инжиниринг как инструмент инженерной деятельности

В связи со стремительным развитием компьютерных технологий, сегодня практически не осталось инжиниринговой деятельности, которая так или иначе не была бы оснащена инструментами компьютерного моделирования и проектирования. Возникшее в последнее время понятие «компьютерный инжиниринг» включает совокупность инструментов, методологий и подходов, связанных с применением компьютерных и вычислительных технологий в инжиниринговой деятельности. Один из подходов к определению термина: «компьютерный инжиниринг — это совокупность всех компонентов, предназначенных для эффективного решения сложных научно-технических проблем путем математического и компьютерного моделирования»¹¹.

Особенность современного инженерного программного обеспечения заключается в том, что, будучи сложным интеллектуальным продуктом, инженерные программные комплексы становятся не просто основным инструментальным средством, но и рабочей средой инжиниринговой деятельности, которая интегрирует лучшие практики и знания, организует процессы коммуникации специалистов и обеспечивает работу «интеллектуального конвейера» на всем жизненном цикле продукта или системы.

Еще одна из ключевых мировых тенденций развития компьютерного инжиниринга состоит в непрерывно расширяющемся использовании подходов математического моделирования, которые приобретают все более глубокий и междисциплинарный характер, приближая инженеров и исследователей к все более точному описанию свойств материалов, поведения машин и систем как объектов реального физического мира.

¹¹ Компьютерный инжиниринг: серия докладов (зеленых книг) в рамках проекта «Промышленный и технологический форум Российской Федерации» / Боровков А. И., Бурдаков С. Ф., Клявин О. И., Мельникова М. П., Михайлов А. А., Немов А. С., Пальмов В. А., Силина Е. Н.; Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет». — СПб., 2012. — Вып. 2 — 93 с.

Такое непрерывно расширяющееся пространство сфер (отраслей) и одновременно непрерывно растущая глубина применения методов математического моделирования фактически привели к смене парадигмы развития традиционного «классического» инжиниринга, развивавшегося примерно со второй половины XIX века до последней четверти XX века, к появлению и развитию новых технологических трендов во всех областях инженерного анализа и проектирования (конструирования), которые революционным образом влияют на глобальный и национальный контекст развития высокотехнологичных промышленных рынков.

При этом конец XX века может быть охарактеризован как революционный этап становления новой парадигмы в важнейшей части самого процесса разработок — в инженерном анализе и проектировании. Появление и последующее массовое внедрение вычислительной техники привело к развитию современных компьютерных технологий проектирования и моделирования во всех областях инженерной деятельности. Одновременно на основе компьютерных технологий происходило формирование современных производственных технологий (Advanced Manufacturing Technology, АМТ), а также развитие науки о материалах (Material Science), среди которых в первую очередь выделяются металлы, композиты, керамика, полимеры и композитные структуры, созданные на их основе.

В настоящее время самой передовой технологической цепочкой, развиваемой ведущими глобальными компаниями и научно-техническими центрами мирового уровня, является триада «Материалы & Компьютерный инжиниринг & Производство», Безусловным драйвером в этой цепочке выступает компьютерный инжиниринг, обеспечивающий прорывной характер разработок.

Суть прорывного характера разработок и создания новой продукции связана с тем, что исследователи и инженеры-разработчики на базе компьютерного инжиниринга получили универсальные инструменты, которые позволяют проводить математическое моделирование объектов и технических систем максимально близко к реальности. Более того, современное математическое моделирование — ядро компьютерного инжиниринга, предоставляет возможности проведения многокритериальной, параметрической и топологической оптимизации, результаты которой могут лежать «за гранью интуиции генерального конструктора». Это позволяет создавать в кратчайшие сроки глобально конкурентоспособные технические системы нового поколения с использованием новых материалов и на основе современных производственных технологий.

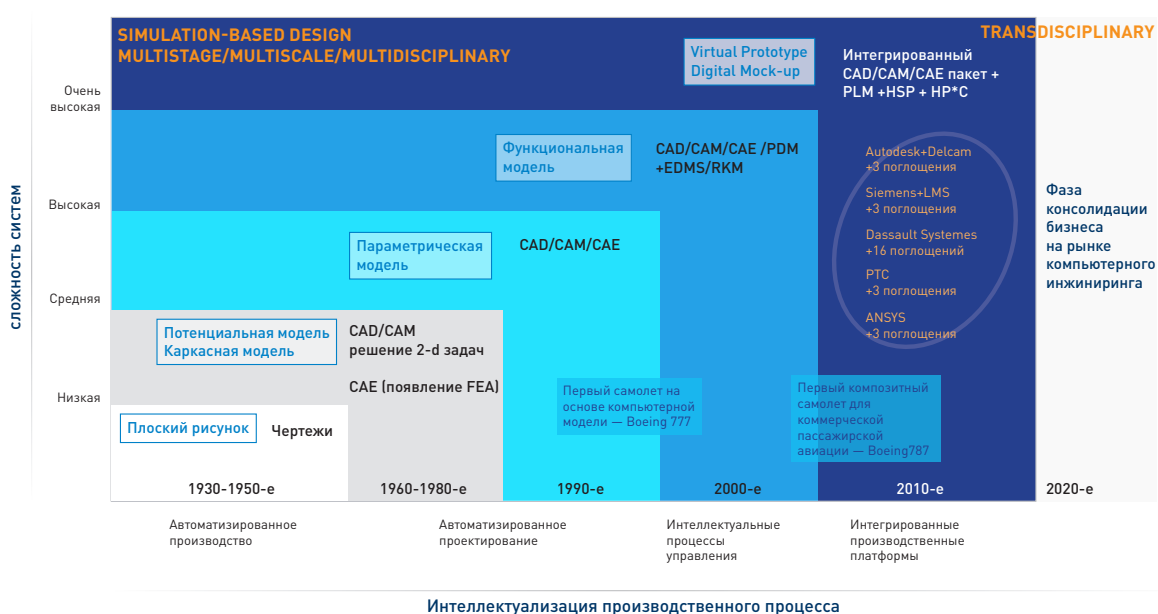
Глубокое проникновение компьютерных технологий в инженерную деятельность определило возникновение качественно новых трендов в технологическом и промышленном развитии:

- рост сложности систем и интеграцию социальной составляющей в процессы проектирования и управления системами; переход на уровень работы с социотехническими системами;
- создание распределенных интегрированных рабочих сред — «интеллектуальных конвейеров»;
- переход к парадигме управления жизненным циклом продуктов и систем;
- разработку сложных цифровых моделей материалов, процессов, систем на основе интеграции научных знаний и применения статистических методов обработки большого количества данных (Big Data);
- переход к оперированию цифровыми моделями на всех стадиях жизненного цикла, включая проектирование материалов с заданными свойствами и моделирование поведения изделий, компонентов и систем.

Использование компьютерных технологий в инжиниринге позволяет справиться с вызовом значительного роста сложности при разработке высокоэффективных и безопасных технических систем, а также обеспечить высокую скорость создания новых продуктов в соответствии с запросами рынка.

Одним из драйверов развития специализированных программно-аппаратных решений стал высокий потенциал совокупности компьютерных технологий как средства удешевления и ускорения

Рисунок 1.
Динамика роста сложности и интеллектуализации технических систем и инструментов



Источник: ЦСР «Северо-Запад», СПбГПУ

разработок¹². При этом важнейшим обстоятельством, стимулирующим внедрение компьютерных технологий в инжиниринге, является возрастающая тенденция замены физического (натурного) эксперимента или физического прототипа изделия на виртуальный прототип (цифровой макет изделия). В табл. 2 приведены примеры стоимости и длительности разработки физического прототипа проектируемого объекта для ряда технических систем разной степени сложности. Использование компьютерных технологий позволяет сокращать время разработки и значительно экономить материальные затраты.

Таблица 2

Издержки на создание физического прототипа изделия для технических систем разной сложности

Сложность системы / продукта	Время создания прототипа	Стоимость создания прототипа
Низкая	13 дней	\$ 7,600
Средняя	24 дня	\$ 58,000
Высокая	46 дней	\$ 130,000
Очень высокая	99 дней	\$ 1,200,000

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Aberdeen Group

Другим драйвером распространения компьютерных технологий в инжиниринге является необходимость обеспечения высокой скорости вывода продуктов на рынки с одновременным повышением их качества. Применение компьютерного моделирования, современных средств коммуникации и совместной работы, позволяет радикально повысить производительность инженерного труда, обеспечить доставку необходимых компетенций в нужные место и время. Такой конвейер для инженерного труда, оснащенный мощными инструментами автоматизации, моделирования и обработки информации, предоставляет конструктору, инженеру, технологу, проек-

¹² Речь идет об экономии материальных, человеческих, временных и финансовых ресурсов.

тировщику интеллектуальную коллективную рабочую среду с возможностями быстрой разработки изделий и систем практически любой сложности.

Кроме того, необходимо отметить, что создание сложных технических систем все чаще опирается на более глубокую работу в формате MBSE (от англ. Model-Based Systems Engineering, системный инжиниринг на основе моделей), который способствует значительным изменениям в подходах к инженерному анализу технических систем в целом.

Существует большое разнообразие трактовок термина «компьютерный инжиниринг», поскольку в нормативно-правовой базе понятие не закреплено¹³. В настоящем издании под компьютерным инжинирингом понимается комплекс услуг по разработке продукта, проведению расчетов и автоматизации производственных процессов с использованием специализированного инженерного программного обеспечения.

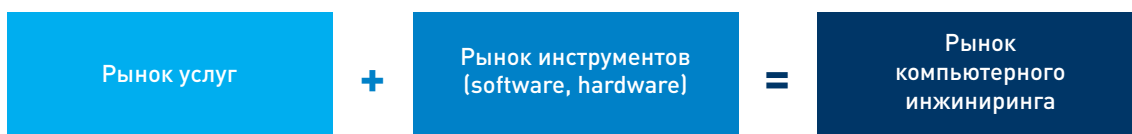
1.3. Общая характеристика рынка компьютерного инжиниринга

Рынок компьютерного инжиниринга представляет собой рынок комплексных услуг. В соответствии с содержанием современного процесса инженерного анализа и проектирования, рынок компьютерного инжиниринга в рамках данного издания рассматривается как совокупность двух взаимодействующих друг друга компонентов:

- собственно инжиниринговых услуг, носящих характер высокоинтеллектуальной научно-технической и технологической деятельности по разработке сложных технических систем — Brainware / Engineering services;
- инструментов (Tools) компьютерной поддержки инжиниринговых услуг, включающих программное обеспечение (Software) и аппаратную вычислительную базу (Hardware).

Принятые в работе базовые определения и компоненты рынка инжиниринга приведены в табл. 3.

Рисунок 2.
Структура рынка инжиниринга



Источник: ЦСР «Северо-Запад»

¹³ Употребляемые термины: «компьютерное проектирование», «компьютерное моделирование», «инжиниринговые услуги», «инжиниринговые услуги в области высоких технологий» и т. д.

Сегменты рынка инжиниринга

Сегмент	Рынок услуг	Рынок инструментов	
		Программное обеспечение (Software)	Аппаратное обеспечение (Hardware)
Функция	Решение совокупности задач, связанных с разработкой изделия (системы) на основе задания заказчика	Инструменты концептуального и рабочего проектирования	Аппаратная база для проведения расчетов и выполнения проектно-конструкторских работ
Определение	Услуги по разработке, проектированию и инженерной поддержке компонентов, продуктов и систем с использованием методов инженерного анализа и проектирования для эффективного обеспечения процессов производства изделия и его эксплуатацию вплоть до утилизации	Совокупность программного обеспечения, позволяющего осуществлять комплексное управление жизненным циклом изделия / технической системы (CAD/CAE/CAM/DM-рынок, PLM-рынок)	Совокупность электронно-вычислительных мощностей для проведения инженерных расчетов и оказания услуг компьютерного инжиниринга
Рассматриваемые продукты / услуги	<p>Разработка комплексной модели изделия, включая основные параметры, как самого изделия, так и его составляющих.</p> <p>Составление математических моделей изделия и его составляющих для определения наилучших геометрических параметров, физико-механических и эксплуатационных характеристик изделия.</p> <p>Запуск механизмов параллельного проектирования с целью оптимизации характеристик изделия.</p> <p>Проведение совокупности процедур по верификации получаемых характеристик.</p> <p>Разработка комплексной модели сложной системы на всех этапах ее жизненного цикла, включая строительство и вывод из эксплуатации</p>	<p>Инструменты многофункционального проектирования (CAD/CAM, CAE);</p> <p>Сегмент систем совместной и параллельной разработки продукта (PDM-системы);</p> <p>Цифровое производство (Digital Manufacturing, DM);</p> <p>PLM системы</p>	<p>Мощные рабочие станции,</p> <p>локальные сети,</p> <p>высокопроизводительные вычислительные системы,</p> <p>суперкомпьютеры</p>

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам TechNavio, Frost&Sullivan, CIMData, CAD/CAM/CAE Observer

Рынок услуг

По данным IBISWorld основную долю мирового рынка инжиниринга (до 75%) составляют направления, связанные со строительной деятельностью, остальное может быть отнесено к технологическому инжинирингу (рис. 3). В рамках представленной работы понятие «технологический инжиниринг» включает в себя направления инжиниринга, не связанные напрямую со строительством: проектирование промышленных процессов, оборудования, разработка новых продуктов.

Рисунок 3.

Сегментация глобального рынка инжиниринговых услуг в 2013 г. по объему

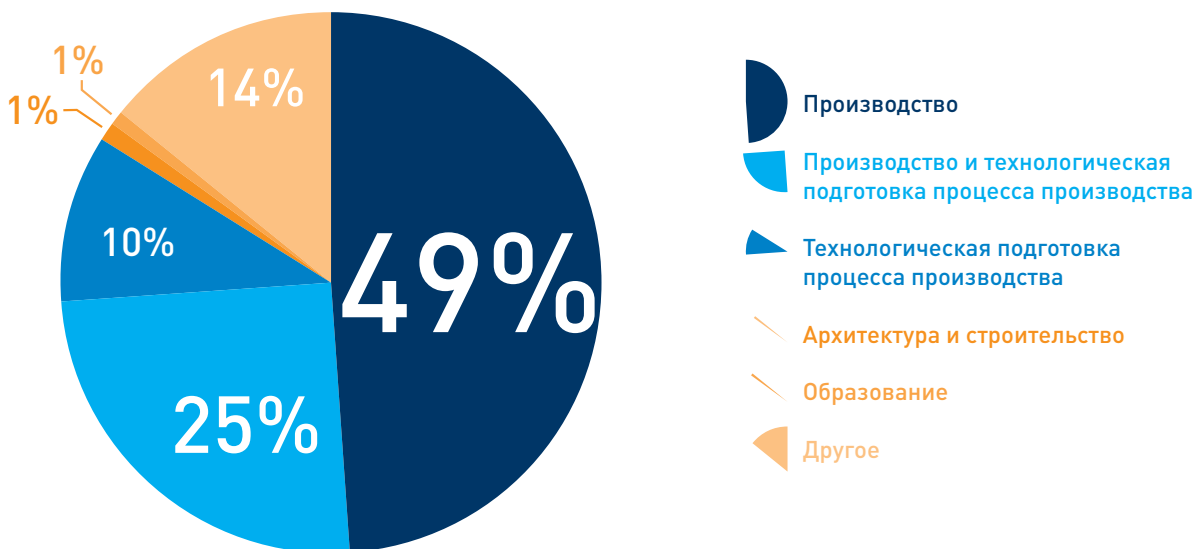


Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IBISWorld

Структура мирового рынка инжиниринговых услуг. IBISWorld¹⁴

Рисунок 4.

Какова сфера деятельности вашей организации?



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N=207

¹⁴ IBISWorld Industry report L6722-GL. Global Engineering Services // IBISWorld, 2013, 36 p.

Анкетирование российских организаций, проведенное ЦСР «Север-Запад» в 2014 г. среди российских организаций-пользователей инженерного ПО, выявило незначительное количество компаний, занимающихся в России строительным инжинирингом (рис. 4). Это может быть объяснено тем, что российский рынок строительного инжиниринга в значительной степени консолидирован и представлен небольшим количеством крупных компаний, в силу того, что строительный инжиниринг требует концентрации кадровых и финансовых ресурсов, особенно при работе в ставшем популярным формате EPCM (Engineering-Procurement-Construction-Management).

Рынок услуг технологического инжиниринга, охватывает широкий круг индустрий и является одним из важнейших рынков инновационной экономики, поскольку деятельность в данной сфере позволяет компаниям переходить к современным формам управления сложными производственными цепочками, сокращать и удешевлять циклы разработки и вывода на рынок новых продуктов, комплексно обновлять традиционные производственные сектора. Услуги технологического инжиниринга направлены на решение задач, которые включают инженерный анализ и проектирование как при математическом моделировании, так и при создании физических объектов (прототипов и готовых изделий) — т. е. к ним относятся все виды сервисов, связанных с подготовкой, разработкой — конструированием, консультациями и изучением рыночных потребностей в процессе создания любой технической системы. Обзор сегментов технологического инжиниринга по отраслям представлен в табл. 4.

Таблица 4

Обзор сегментов рынка технологического инжиниринга по отраслям

Сегмент	Ключевые услуги
Авиакосмическая промышленность (Aerospace Engineering)	Проектирование, расчетно-конструкторские работы, виртуальные испытания. Исследования, консультации, дизайн-услуги
Автомобилестроение (Automotive Engineering)	Проектирование, расчетно-конструкторские работы, виртуальные испытания. Технологический консалтинг и дизайн-услуги
Электротехника / Коммуникации и связь (Electrical Engineering, Telecommunications)	Прикладные исследования в области электроники и электротехники, магнетизма и световых технологий для разработки новых технологий в области коммуникации, компьютеров, электромеханических систем, специального программного обеспечения
Промышленность / Строительство (Industrial and Civil Engineering)	Проектирование, расчетно-конструкторские работы, дизайн-услуги, консультационные услуги по эксплуатации крупных технических систем
Судостроение (Marine Engineering and Shipbuilding)	Концептуальное проектирование, технологический консалтинг, дизайн-услуги
Машиностроение (Mechanical Engineering)	Проектирование, расчетно-конструкторские работы, дизайн-услуги

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Tholons, CBI

Мировой рынок инжиниринговых услуг в большинстве случаев представлен следующими видами участников:

- специализированными инжиниринговыми компаниями;
- R&D подразделениями компаний.

Кроме того, выделяются многопрофильные компании (это, как правило, крупные инжиниринговые центры), а также крупные игроки отдельных сегментов рынка. На рынке инжиниринговых услуг также присутствуют поставщики комплексных решений, в том числе, вендоры PLM-решений.

В соответствии со структурой рынка, выделяются две основные модели оказания инженеринговых услуг. Первая, наиболее распространенная — in-house, при которой разработка продукта осуществляется специализированным подразделением внутри компании. Вторая — модель аутсорсинга, предполагающая выполнение разработки вне компании (outsourcing, out-house). По данным исследований¹⁵, такую форму организации работ используют порядка 30% компаний.

Особенность инженеринговой деятельности в России на современном этапе заключается в том, что большинство корпоративных пользователей инженерного программного обеспечения осуществляет инженеринговую деятельность в рамках структурных единиц и не оказывает инженеринговых услуг сторонним заказчикам (см. рис. 5, 6).

Рисунок 5.
Каков статус инженеринговой деятельности в вашей организации?



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 6.
Предоставляет ли ваша организация инженеринговые услуги?



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

¹⁵ Подробнее см. Demand for Engineering Services Outsourcing is increasing, particularly for offshore vendors, Technology Business Research Inc., 2012

Рынки инструментов компьютерного инжиниринга

Рынок инструментов компьютерного инжиниринга включает в себя два основных сегмента: аппаратную базу и программное обеспечение.

Аппаратная база для компьютерного инжиниринга не специализирована. Для выполнения инженерных работ по цифровому моделированию используются персональные компьютеры, ноутбуки, рабочие станции, вычислительные кластеры, планшеты, суперкомпьютеры.

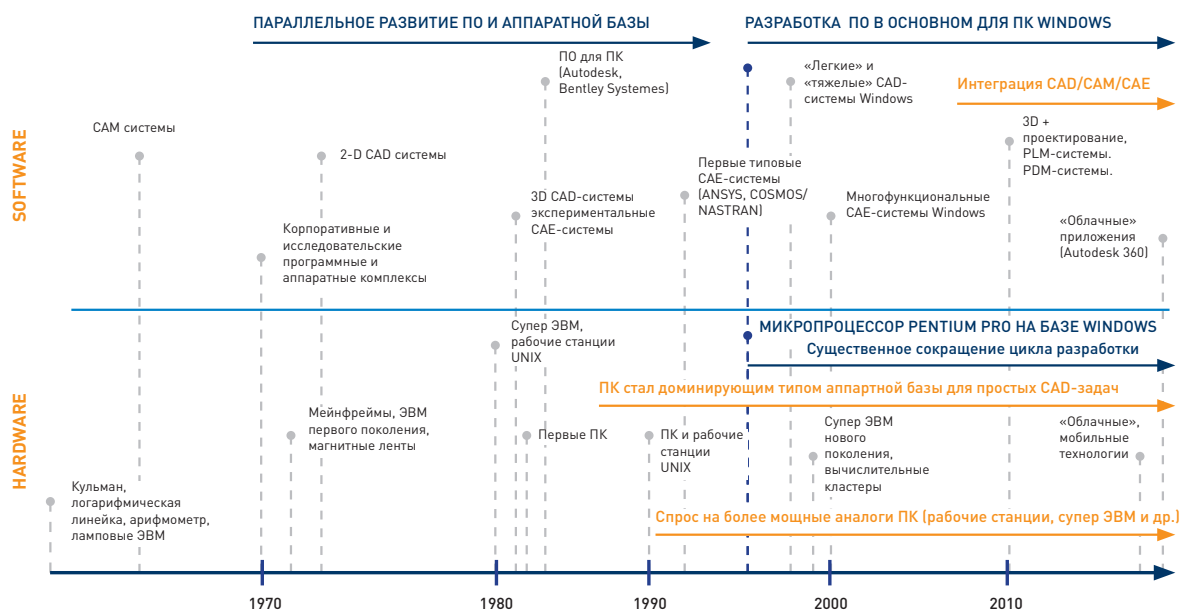
В последнее время в мире также наблюдается устойчивый интерес к облачным технологиям и моделям SaaS (Software as a Service, «программное обеспечение как сервис») и IaaS (Infrastructure as a Service, «инфраструктура как сервис»). С другой стороны, растет спрос на «тонких клиентов» на базе планшетов. Планшетная платформа оказалась удобным инструментом для оперативной работы со стейкхолдерами по согласованию проектных решений, мобильным инструментом управления и контроля для руководителей проектов.

Функциональный прогресс в развитии программных средств компьютерного инжиниринга был обеспечен прогрессом в сфере вычислительной техники (см. рис. 7).

Сформировавшиеся к сегодняшнему дню практики использования аппаратных средств компьютерного инжиниринга — результат параллельного развития аппаратной и программной базы, история которого характеризуется следующими ключевыми вехами:

- Появление в середине 1970-х гг. первых ЭВМ, способных к отображению сложной графики. Эксперименты с аппаратной и программной базой на серии этих компьютеров привели к зарождению первых версий инженерного программного обеспечения на базе корпоративных или исследовательских программно-аппаратных комплексов.
- Период 1970-х гг. характеризуется преимущественным использованием рабочих станций на базе ОС UNIX с открытой архитектурой.
- В начале 1980-х гг. появились также персональные компьютеры. Первый персональный компьютер IBM представил в 1981 г., а в 1982 г. Autodesk выпустил первый программный продукт для персональных компьютеров.
- К началу 1990-х гг. CAD-системы использовались исключительно на персональных компьютерах Windows и рабочих станциях Windows и UNIX, разработка специализированного инженерного ПО для ЭВМ старого типа, мейнфреймов рабочих станций прекращена.
- В середине 1990-х Microsoft выпустил первую 32-разрядную ОС для персональных компьютеров и микропроцессоров семейства Pentium Pro фирмы Intel, использование которых революционизировало рынок: как цикл разработки программ, так и цикл выполнения инженерных расчетов существенно сократились, а производительность процессора не уступала мощности рабочих станций предыдущего поколения. В последующие годы, начиная с середины 1990-х гг. и до настоящего времени происходило дальнейшее повышение производительности микропроцессоров, а по ценовым характеристикам персональные компьютеры стали доступны любой компании.
- Рабочие станции «нового поколения», вычислительные кластеры и суперкомпьютеры (как на базе Windows, так и на базе UNIX и LINUX) сегодня разрабатываются также исходя из новых стандартов производительности персональных компьютеров, и используются при работе с тяжелыми программными системами преимущественно для решения сложных физико-математических задач.

Рисунок 7.
Таймлайн развития аппаратной базы для компьютерного инжиниринга



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам CAD software — history of CAD, CAM¹⁶

Инженерное программное обеспечение является ключевым компонентом компьютерного инжиниринга, который может быть оценен в денежном выражении. По этой причине, анализ исследуемого рынка опирается на объемные характеристики использования инженерного программного обеспечения.

Основным трендом последних лет в развитии программных инструментов компьютерного инжиниринга является интеграция узкоспециализированных приложений в состав универсальных программных комплексов. При этом специализированные приложения продолжают развиваться в сторону усложнения расчетных методов и повышения точности моделей. Анализ рынка инженерного программного обеспечения позволяет оценить степень проникновения технологий компьютерного инжиниринга в производственные процессы российских предприятий и организаций.

¹⁶ Источник: CAD software — history of CAD, CAM. Электронный ресурс — URL: <http://www.cadazz.com/> (дата обращения: 18.09.2014 г.)

II. Характеристика рынка инжиниринговых услуг

По данным IBISWorld на текущий момент объем мирового рынка инжиниринговых услуг достиг \$ 673,9 млрд, что является удвоением размера рынка за шесть лет. По оценкам NASSCOM и Booz & Co. объем рынка превысит 1 триллион долларов США к 2020 г.

2.1. Сегментация рынка услуг инжиниринга в географическом разрезе

Отраслевая структура рынка имеет достаточно большие макрорегиональные различия, что определяется нишей специализации разных стран в мировой экономике.

Как видно из приведенного рис. 10, структура инжиниринговых услуг КНР соответствует международной специализации страны на производстве электроники, электротехники, разнообразных производственных машин и оборудования.

Приведенные выше диаграммы (рис. 8, 9) показывают высокую роль услуг технологического инжиниринга в авиакосмическом секторе развитых стран и сравнительно низкую роль проектирования механических систем и энергетического оборудования. Во многом это связано с тем, что традиционные отрасли промышленности вышли на технологическое «плато», и ключевым трендом выступает оптимизация затрат, в результате чего стремительными темпами развивается сегмент офшорного инжиниринга (engineering services offshoring/outsourcing, ESO).

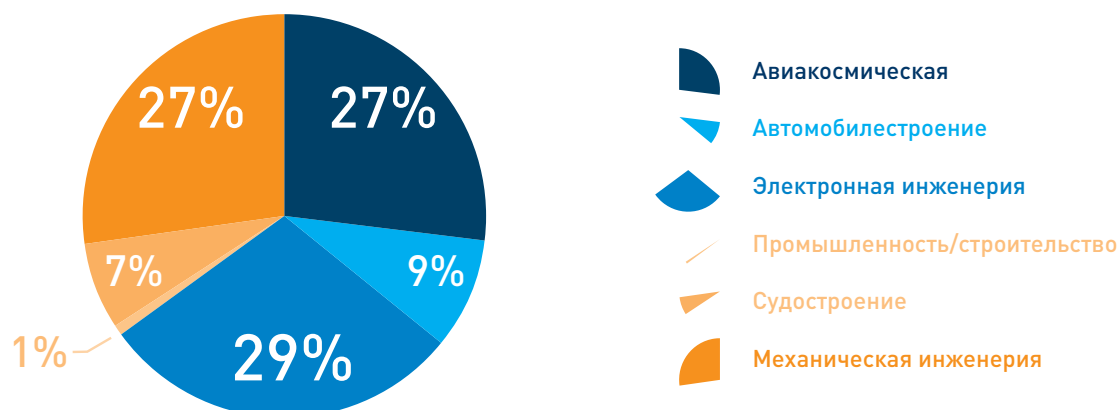
2.2. Тенденции глобального рынка инжиниринговых услуг¹⁷

Уровень капиталоемкости снижается

Отрасль технологического инжиниринга имеет достаточно низкий уровень капиталоемкости. Капитальные затраты включают в себя расходы на аппаратное (Hardware) и программное (Software, CAD/CAE-системы) обеспечение, которые являются необходимым требованием даже для самых небольших игроков рынка. За последние десятилетия новые технологии, в первую очередь CAD-системы, значительно увеличили производительность труда инженеров-конструкторов и серьезно изменили его структуру. Далее, информационно-коммуникационные технологии открыли для фирм возможность более эффективно использовать свой кадровый потенциал, выполняя НИР и НИОКР для промышленных предприятий, расположенных в различных странах, на различных континентах, «с учетом разницы во времени в различных часовых поясах». По оценке IBISWorld, 1 долл., потраченный на использование и замену оборудования, соответствует приблизительно 18.19 долл., потраченным на труд.

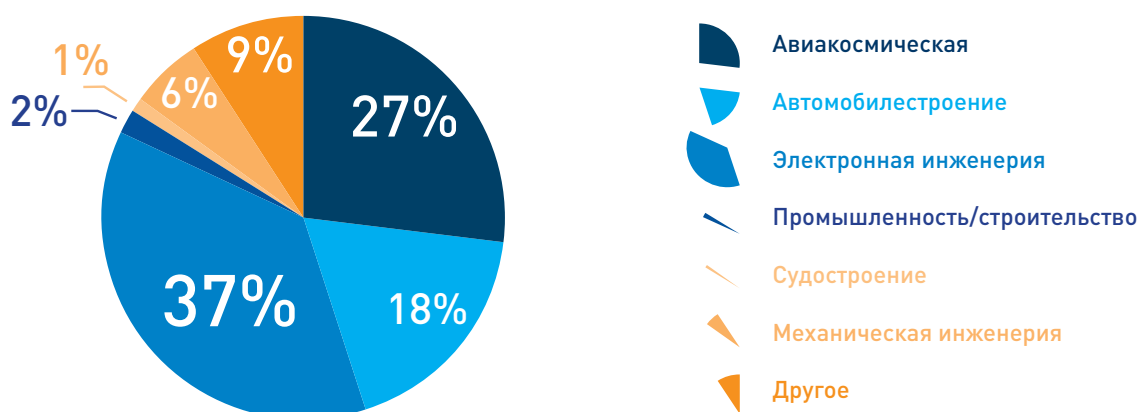
¹⁷ Подготовлено на основании маркетингового отчета «Global Engineering Services» // IBISWorld Industry Report. — 36 п., 2013.

Рисунок 8.
Структура рынка услуг инжиниринга сложных технических систем США



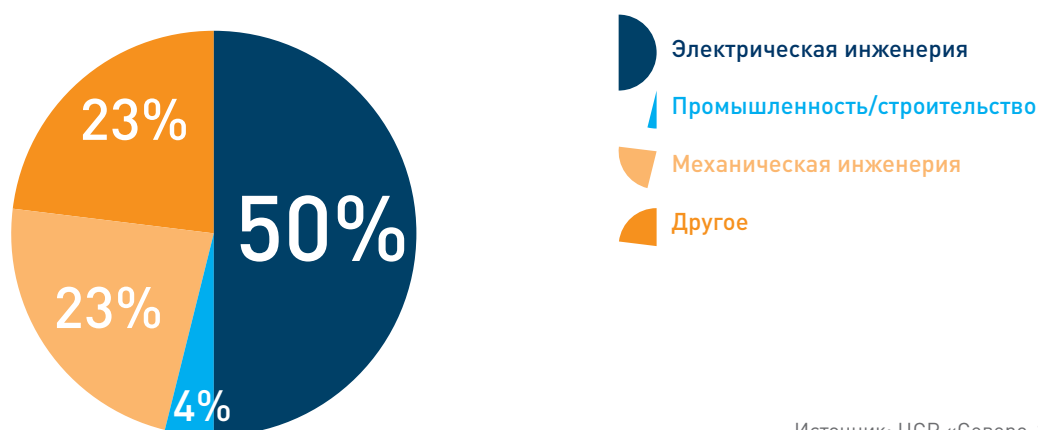
Источник: ЦСР «Северо-Запад»

Рисунок 9.
Структура рынка услуг инжиниринга сложных технических систем Франции



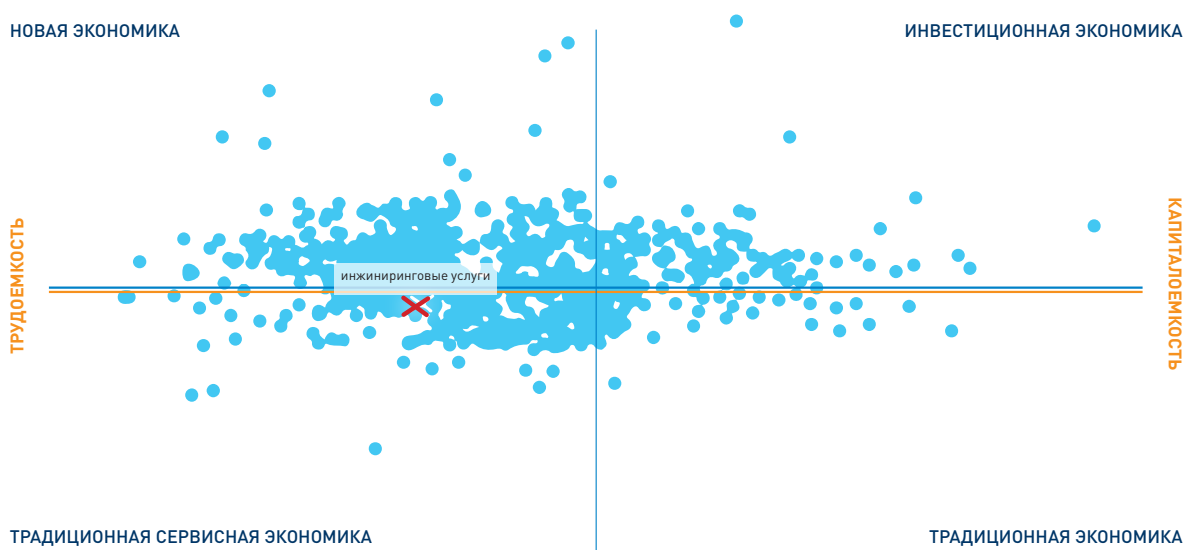
Источник: ЦСР «Северо-Запад»

Рисунок 10.
Структура рынка услуг инжиниринга сложных технических систем КНР



Источник: ЦСР «Северо-Запад»

Рисунок 11.
Снижение уровня капиталоемкости рынка инжиниринговых услуг



Источник: ЦСП «Северо-Запад» по материалам IBISWorld

Уровень технологического развития постоянно растет

Наукоемкие компьютерные технологии становятся все более важной частью процессов разработки каждой компании — производителя сложных технических изделий. При этом отраслевые игроки заботятся о том, чтобы теми или иными способами обеспечить себе технологическое превосходство, не без основания полагая, что такое превосходство обеспечивает и высокую конкурентоспособность их разработок.

Таким образом, уровень технологического развития всех без исключения отраслей постоянно растет. При этом роль компьютерного инжиниринга, конечно, имеет свои особенности в каждой из отраслей. Отдельно следует говорить об инжиниринговых услугах для большинства добывающих и перерабатывающих отраслей, поскольку здесь имеет место сильная зависимость от достоверности исходных данных. Клиенты из таких отраслей, как правило, обращаются за консультацией по усовершенствованию (уточнению) решений для уже имеющихся разработок. Развитие более точного 3D моделирования позволяет строить сложные комплексные системы в таких отраслях. Кроме того, в таких отраслях математическое моделирование на основе 3D CAD моделей, данных спутниковых наблюдений и данных геофизического анализа в ряде случаев позволяет строить экономически эффективные методы проектной оценки.

Вместе с тем, внедрение и широкое распространение компьютерного инжиниринга отвечает главной цели инвестиций в новые технологии — повышение производительности труда и увеличение прибыльности. При этом, в случае технологий компьютерного инжиниринга, особенно ярко проявляется повышение глобальной конкурентоспособности продукции, что порождает и повышение конкурентоспособности компании при выходе на рынки.

Уровень волатильности рынка снижается¹⁸

Волатильность на рынке инжиниринговых услуг сводится к минимуму в результате таких факторов как сочетание деятельности государственного и частного сектора в области строительства, транспорта и промышленных предприятий; экспортные доходы, стабилизирующие колебания доходов на локальных рынках; долгосрочные контрактные соглашения по содержанию и техническому обслуживанию компаний производственного сектора.

Уровень регулирования рынка средний, но имеет тенденцию к росту влияния регуляторов

Отрасль инжиниринговых услуг является жестко регулируемой средой, которая включает в себя технические и конструкционные стандарты, строгие методические рекомендации по планированию. При осуществлении инжиниринговой деятельности необходимо безусловное соблюдение проектных и строительных норм, соблюдение нормативных положений в области охраны окружающей среды, безопасности труда и пр. В некоторых странах организации, занимающиеся инжинирингом, должны иметь соответствующий пакет государственных лицензий. Соответствие этим требованиям в итоге существенно увеличивает базовую стоимость работы, однако в долгосрочной перспективе это ведет к сокращению страховых выплат в случае судебных разбирательств, связанных с расчетами машин, конструкций, сооружений и установок. Также для участия в государственных контрактах игроки этой отрасли должны придерживаться международных стандартов, в том числе сертификации по стандартам ISO. В ряде стран действуют механизмы обязательного подтверждения компетенций инженерного персонала посредством лицензирования в саморегулируемых организациях.

2.3. Барьеры для входа на рынок инжиниринговых услуг¹⁹

Сектор инжиниринга в целом имеет средние барьеры входа для новых компаний, хотя условия в разных странах могут существенно различаться. Наиболее сложным препятствием для адаптации на рынке новых компаний, либо смены позиционирования по тому или иному сегменту данного рынка для его участников является способность конкурировать с лидерами — встраиваться в технологические цепочки и регулярно получать заказы. В табл. 5 представлены основные группы барьеров входа и продвижения на рынке инжиниринговых услуг.

Таблица 5

Барьеры для входа на рынок инжиниринговых услуг

Барьер	Описание
Техническая сложность проектов	Техническая сложность большинства проектов в области инжиниринговых услуг существенно ограничивает вход новых игроков на этот рынок. Все большее значение приобретают интеллектуальные барьеры, для преодоления которых перестраиваются квалификационные требования
Требования заказчика	Происходит ужесточение требований заказчика к компетенциям исполнителя. Игрокам сектора инжиниринговых услуг необходимо предоставить исчерпывающую информацию о предыдущем опыте решения задач высокой сложности, объемах и сроках уже реализованных компанией/командой работ
Многостороннее взаимодействие	Изменяется коммуникационная составляющая и организации инжиниринга для эффективной организации процесса работ в условиях географического рассредоточения частей команды исполнителя и команды заказчика. Особую важность при этом приобретает способность фирмы эффективно встраиваться в различные модели аутсорсинга, аутстаффинга, открытых и закрытых инноваций, предполагающие многостороннее взаимодействие

¹⁸ Более высокий уровень волатильности рынков подразумевает больший отраслевой риск. Изменчивость рынка отрицательно влияет на долгосрочные стратегические решения, в том числе и на временные рамки капитальных инвестиций.

¹⁹ Подготовлено на основании маркетингового отчета «Global Engineering Services» // IBISWorld Industry Report. — 36 p., 2013.

Барьер	Описание
Авторитет и репутация компании на рынке	Членство в профессиональных ассоциациях ²⁰ во многом упрощает вход для новых игроков за счет предоставления технической поддержки по вопросам страхования профессиональной ответственности, производственных отношений, управления рисками и унификации условий контрактов
Консолидированность рынка и профессионального сообщества	Формирование консорциумов для ведения борьбы за контракты (т. е. стратегические альянсы, охватывающие инженеров, финансистов, консультантов и компании) является существенным ограничением для новых участников при конкуренции за эти проекты (существует малая вероятность того, что новые участники будут приглашены присоединиться к существующим консорциумам)

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IBISWorld

Ниже представлена оценка критериев, которым должны удовлетворять компания для входа на рынок инжиниринговых услуг (табл. 6).

Самыми высокими являются барьеры, связанные с квалификациями и компетенциями сотрудников компании и готовностью компании соответствовать технологическим изменениям рынка.

Таблица 6

Оценка значимости соответствия критериям успешного входа на рынок

Критерий	Уровень
Компетенции ²¹	Высокий
Специализация	Низкий
Стадия жизненного цикла	Выше среднего
Капиталоемкость	Низкий
Технологические изменения	Высокий
Регулирование	Средний
Промышленное / отраслевое содействие	Низкий

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IBISWorld

2.4. Рынок аутсорсинга инжиниринговых услуг

Предполагается, что к 2016 г. объем рынка аутсорсинга инжиниринговых услуг достигнет 58,97 млрд долл. (около 10% совокупного рынка инжиниринговых услуг), в среднем рост составит 20% в год, или 78% в период 2012–2016 гг. Большая часть спроса на решения ESO создается в США, которые занимают 45,4% рынка. США направляет большую часть инжиниринговых услуг на аутсорсинг в такие развивающиеся страны, как Индия, Китай, и частично в Восточную Европу. Следующим крупным источником спроса на рынке выступает регион EMEA (Европа, Ближний Восток и Африка). Услуги по созданию технических систем составляют в среднем около 40–50% всех инжиниринговых услуг. Для развитых стран их доля немного выше и в среднем составляет 50%. Наибольшее развитие сектора наблюдается в Южной Корее — 70% совокупного рынка инжиниринговых услуг, наименьший показатель в Великобритании — 28%²².

²⁰ Зонтичной профессиональной организацией является Международная Федерация консультирующих инженеров (The International Federation of Consulting Engineers). Примерами аналогичных по функциям региональных и национальных организаций являются Американский Совет инжиниринговых компаний (The American Council of Engineering Companies, ACEC), Ассоциация консультирующих инженеров Нью-Йорка (The New York Association of Consulting Engineers, NYACE).

²¹ Команда инжиниринговой фирмы должна обладать специализацией в области инжиниринга, технических или физико-математических наук.

²² Расчет выполнен «ЦСР «Северо-Запад» по материалам OECD. Электронный ресурс. URL: <http://stats.oecd.org/> (дата обращения: 05.03.2014).

Для полноценного понимания аутсорсинга инжиниринговых услуг (ESO) и текущей характеристики соответствующего рынка необходимо охарактеризовать те функции, которые выполняют инжиниринговые компании.

Рынок офшорного инжиниринга²³ (ESO, аутсорсинга отдельных задач сторонними поставщиками услуг) состоит в передаче части разработок внешним исполнителям. Хотя инжиниринговая деятельность является критической составляющей любой технологической компании, потребность поддерживать высокую конкурентоспособность на растущих рынках ведет к тому, что многие компании выносят инжиниринг на аутсорсинг и пользуются услугами поставщиков ESO. Принятию решения об аутсорсинге инжиниринговых услуг способствуют несколько факторов: стоимость услуг, длительность цикла разработки, необходимость компетенций высокого уровня по широкому спектру специальных задач, опыт, качество и доверие.

В условиях современного рынка сформировалась ситуация постоянно растущего спроса на сокращение сроков выполнения работ. Вследствие технологического прогресса потребительские ожидания также изменились: клиенты требуют всё более скорого предоставления услуг. Использование офшорного инжиниринга позволяет завершать цикл разработки в гораздо более короткие сроки, чем если бы компания делала это исключительно своими силами.

Основной причиной для сомнений компаний-заказчиков относительно принятия решения о передаче инжиниринговых услуг на аутсорсинг, как правило, являлось низкое качество услуг, предоставляемых некоторыми сервис-провайдерами. Однако в последние годы произошел рост числа офшорных инжиниринговых компаний с одновременным повышением качественных характеристик предоставляемых услуг через технологический рост и улучшение квалификации персонала, а также использованием инструментов маркетинга для информирования целевой аудитории о новом уровне предлагаемых услуг.

Кроме того, важным преимуществом, которое получают компании, отдающие инжиниринг на аутсорсинг, является сокращение издержек. Аутсорсинг инжиниринговых услуг позволяет компаниям получать максимальную отдачу даже в условиях жестких бюджетов и фокусировать внимание менеджмента на более насущных вопросах.

Офшорный инжиниринг позволяет компаниям развивать инновационные и экономически эффективные инжиниринговые разработки за минимальные сроки. И, пожалуй, одним из наиболее важных факторов является то, что подходы ESO помогают получить доступ к талантливым и высококвалифицированным инженерам и специалистам со всего мира. Таким образом, офшорный инжиниринг позволяет оптимизировать структуру затрат организации, использовать ресурсы наилучшим образом и сосредоточиться на ключевых компетенциях.

Рост на мировом рынке офшорного инжиниринга зависит от множества факторов, одним из которых является необходимость снижения затрат. Для того чтобы выдержать конкуренцию на рынке, предприятия должны обладать экономически эффективным циклом разработки продукта или решения. В этом плане ESO позволяет компаниям за счет аутсорсинга инжиниринговых задач в такие страны, как Индия или Китай, получать квалифицированную рабочую силу по относительно низкой стоимости. Еще одним важным драйвером роста является необходимость ускоренной разработки продукта.

Несмотря на эти факторы роста, глобальный рынок офшорного инжиниринга стоит перед серьезными замедлителями роста. Одним из таких вызовов является проблема защиты информации, так как аутсорсинг требует совместного использования данных. Компании опасаются давать доступ партнерам к конфиденциальной информации. Другой основной проблемой этого рынка является отсутствие ресурсов для удовлетворения увеличивающегося спроса.

Влияние проблем, с которыми сталкивается рынок, в некоторой степени будет компенсироваться увеличивающейся конкуренцией за получение инжиниринговых проектов на аутсорсинг. По-

²³ Здесь и далее термины «офшорный инжиниринг» и «аутсорсинг инжиниринга» используются как равнозначные.

этому в результате совместного действия различных факторов, влияющих на рынок, глобальный рынок ESO будет увеличивать свои темпы роста в ближайшее пятилетие, в 2014–2018 гг.

Ниже представлены пять драйверов роста глобального рынка аутсорсинга инженеринговых услуг:

- усложнение методик расчета и инженеринговых программных продуктов;
- необходимость сокращения затрат;
- необходимость сокращения времени разработки продукта;
- нехватка квалифицированных кадров в компаниях-заказчиках;
- необходимость фокусировки компаний-заказчиков на ключевых компетенциях.

Необходимость сокращения затрат

Некоторые компании отдают часть инженеринговых работ на аутсорсинг для того, чтобы сохранить свое присутствие на высоко конкурентных рынках, где ключевым требованием является способность разработки продукта лучшего качества по более низкой стоимости. Затраты на разработку продукта могут быть значительно сокращены с использованием ESO. Согласно статистике рынка, преимущества с точки зрения сокращения затрат при использовании услуг компаний ESO по сравнению с использованием собственного инженерингового центра (in-house) составляют 30–35%²⁴.

Необходимость сокращения времени разработки продукта

Одним из главных требований для компаний в существующих бизнес-процессах является возможность быстрого вывода продукта или услуги на рынок. Использование аутсорсинга инженеринговой деятельности позволяет компаниям минимизировать время разработки продукта почти на 25–30%²⁵.

Нехватка квалифицированных кадров в компаниях-заказчиках

Большинство компаний в США и Европе испытывают дефицит квалифицированных инженеров. Также сейчас достаточно трудно и дорого обучать, а затем удерживать кандидатов с компетенциями высокого уровня. Получение подходящих кадровых ресурсов становится одной из основных проблем, с которой сталкиваются глобальные компании сегодня. В этом отношении аутсорсинг инженеринговой деятельности позволяет компаниям-заказчикам сохранять небольшую инженеринговую команду («ядро»), которая обладает необходимыми знаниями и опытом в своей области.

Необходимость фокусировки компаний-заказчиков на ключевых компетенциях

Большинство глобальных компаний путем аутсорсинга решает такие сложные и не основные для себя инженеринговые задачи, как 3D-математическое моделирование и компьютерный инженеринг, которые позволяют создавать глобально конкурентоспособную продукцию и минимизируют время разработки продукта. Это позволяет компании-заказчику фокусировать свое внимание на основных задачах и ключевых для данного бизнеса компетенциях.

Несмотря на наличие драйверов роста глобального рынка аутсорсинга инженеринговых услуг, он также стоит перед некоторыми серьезными вызовами, которые могут замедлить его рост. Ниже приведены четыре основные проблемы глобального рынка аутсорсинга инженеринговых услуг:

- проблемы, связанные с интеллектуальной собственностью (IP);
- нехватка ресурсов для удовлетворения увеличивающихся потребностей;
- опасения по поводу офшорной управленческой команды;
- отсутствие доверия между аутсорсинговыми компаниями и заказчиками.

²⁴ По материалам TechNavio Analysis.

²⁵ Там же.

III. Характеристика рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга²⁶

3.1. Анализ рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга

Здесь и далее под программным обеспечением для компьютерного инжиниринга понимается его наиболее наукоемкое ядро — совокупность CAD/CAM/CAE/PDM/PLM. Цепочка-триада CAD / CAM / CAE составляет ядро технологий — инструментов компьютерного инжиниринга в расширенном понимании термина. Далее, совокупность CAD / CAM / CAE-технологий тесно взаимодействует в рамках единого информационного пространства с PDM-системами (Product Data Management, PDM — системы управления данными об изделии) и является встроенной в PLM-среду (Project Lifecycle Management, PLM — технологии управления жизненным циклом изделия). По этим причинам, говоря об анализе рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, мы будем говорить о рынке CAD / CAM / CAE / PDM / PLM-технологий.

Рынки технологий компьютерного инжиниринга, как совокупности CAD/CAM/CAE/PDM/PLM-технологий постоянно трансформируются и консолидируются, следуя общим трендам развития. Фирмы-разработчики оперативно реагируют на потребности пользователей, возникающие в ходе разработки инновационных изделий, осваивают новые области приложения и предлагают все более продвинутые решения.

В оценках ARC Advisory Group, рынок PLM структурирован в соответствии со всеми стадиями сопровождения жизненного цикла изделия: CAD-системы для геометрического моделирования используются на этапе конструирования, на этапе создания рабочего проекта к ним добавляются CAE-системы для осуществления инженерных расчетов, а также CAM-системы для разработки управляющих программ для станков с ЧПУ на стадии производства. Помимо перечисленных систем многофункционального проектирования (56% рынка), к рынку PLM относятся также PDM-системы для управления данными о продукте на всех стадиях жизненного цикла (26% от рынка), а также формирующиеся сегменты — цифрового производства, управления услугами, портфельного менеджмента, инновационного менеджмента, услуг по выводу разработки на рынок (18% рынка). Объем рынка ARC Advisory group оценивает в 11,8 млрд долл. в 2013 г.

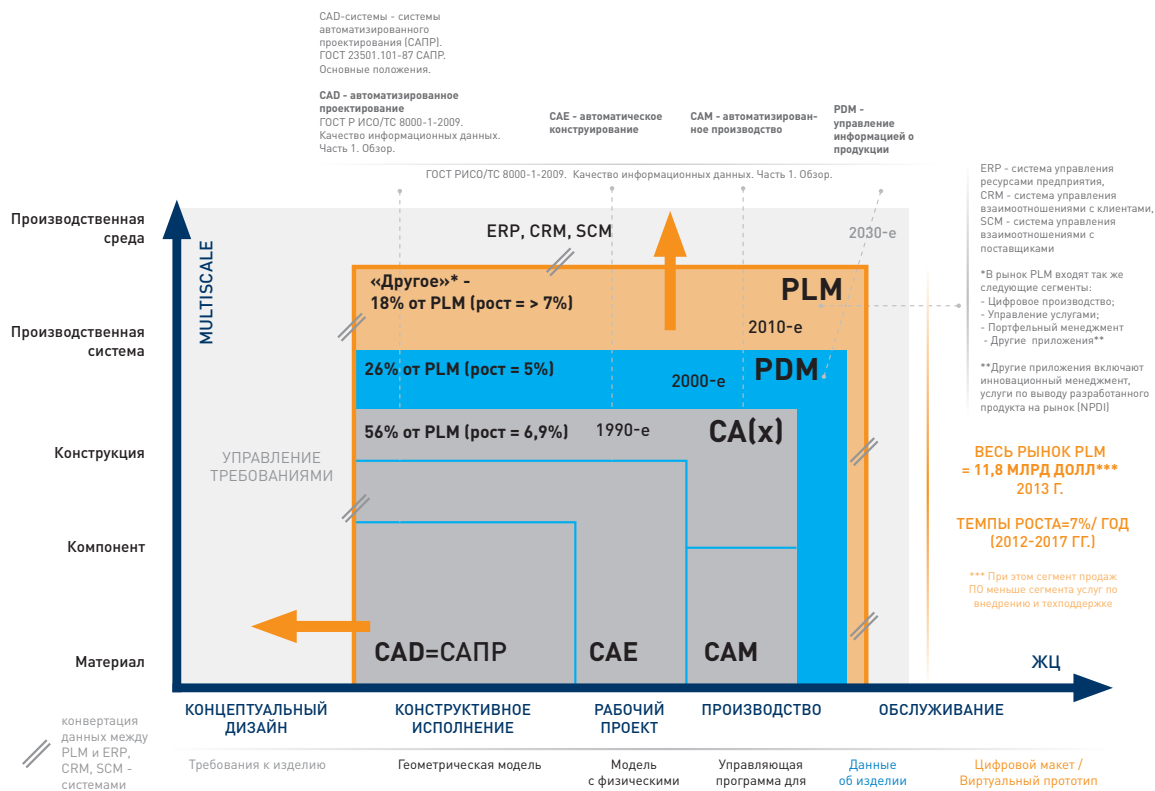
CIMData рассматривает рынок более широко, включая туда весь спектр программных приложений для автоматизации процессов проектирования и производства²⁷.

Под данным CIMdata, на 2012 г. общий рынок специализированного ПО для компьютерного инжиниринга вырос на 11,3% — до 33,3 млрд долл., из них объем рынка многофункциональных инструментов проектирования (CAD/CAE/CAM и пр.) составил \$ 21 млрд. Этот сегмент растет более высокими темпами — 12,1% за год. В целом прогнозируется сохранение до 2015 г. среднегодовых темпов роста в 11,4%. По оценкам TechNavio, глобальный рынок программных инструментов проектирования в 2014 г. достигнет \$ 21 млрд, а темпы его роста составят 7,9% в год. Детальный

²⁶ Существует разнообразие подходов к маркетинговой оценке рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга: различаются методики сегментации рынка и итоговые объемные характеристики. Ключевыми аналитическими и маркетинговыми агентствами, которые систематически занимаются оценкой данного рынка, являются CIMData и ARC Advisory group. Данный раздел доклада в качестве фактологической базы использует оценки этих двух источников.

²⁷ Помимо программных продуктов для сопровождения жизненного цикла изделия, инструменты для одновременного параллельного проектирования, системной интеграции, оценки рисков.

Рисунок 12.
Структура рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга (PLM-рынка)



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам ARC AG

прогноз глобального рынка компьютерного инжиниринга на 2014–2017 гг. представлен в главе V настоящего издания.

Проектирование становится многоуровневым: от материала, из которого формируется изделие, до всей производственной среды. Идет процесс интеграции программных решений PLM-рынка со смежными системами, обслуживающими предприятия, а именно: ERP-, CRM-, SCM-системами.

Драйверами трансформаций продуктов рынка специализированного программного обеспечения в краткосрочной перспективе являются:

- рост смежных рынков, таких как рынок технологий высокопроизводительных вычислений (High Performance Computing, HPC) и рынок облачных вычислений (Software as a Service, SaaS; Cloud Computing), которые предъявляют новые требования к программному обеспечению, связанные со значительным усложнением или изменением аппаратной части;
- возможности аренды САЕ-систем через сервис-модели SaaS.

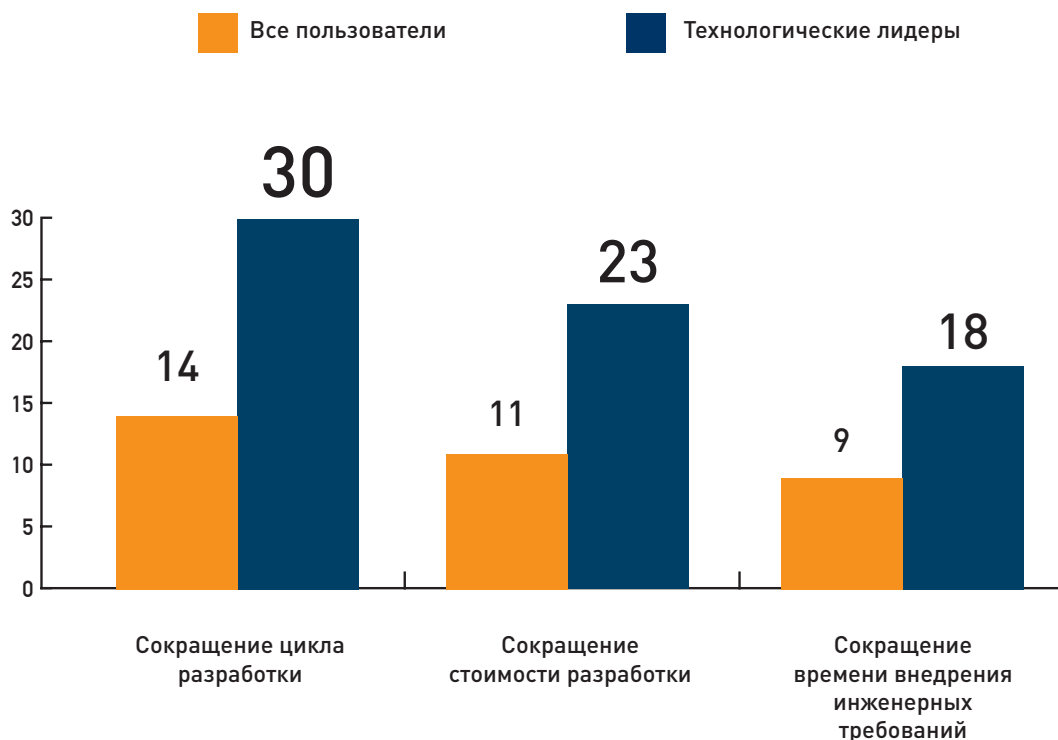
3.2. Характеристики спроса на программное обеспечение для компьютерного инжиниринга в мире

Актуальными технологическими трендами, которые влияют на формирование рынка компьютерного инжиниринга, являются:

- цифровизация всех стадий жизненного цикла продукта с момента формулирования концепции до вывода на рынок;
- интеграция всех этапов создания продукта в единый производственный процесс (разработка, тестирование, технологическая подготовка процесса производства, производство);
- интеграция отдельных функциональных программных систем в комплексные программные платформы для компьютерного инжиниринга;
- внедрение технологий процессного, имитационного моделирования и цифрового производства в энергетику и процессные производства;
- унификация интерфейсов специализированного инженерного программного обеспечения и решений, необходимых для обеспечения бизнес-процессов: систем управления ресурсами предприятия (ERP), систем управления клиентскими отношениями (CRM) и т. д.;
- создание «облачных» сервисов с целью удаленного и многостороннего доступа к программным системам и готовым решениям.

Основной мотив использования специализированного инженерного программного обеспечения — оптимизация производственных процессов, сокращение сроков и стоимости создания новой продукции (см. рис. 13). Фактически глубина оптимизации во многом зависит от квалификации специалистов, работающих с соответствующими программными средствами: чем выше технологические компетенции инженеров по работе со специализированным программным обеспечением, тем существеннее эффекты.

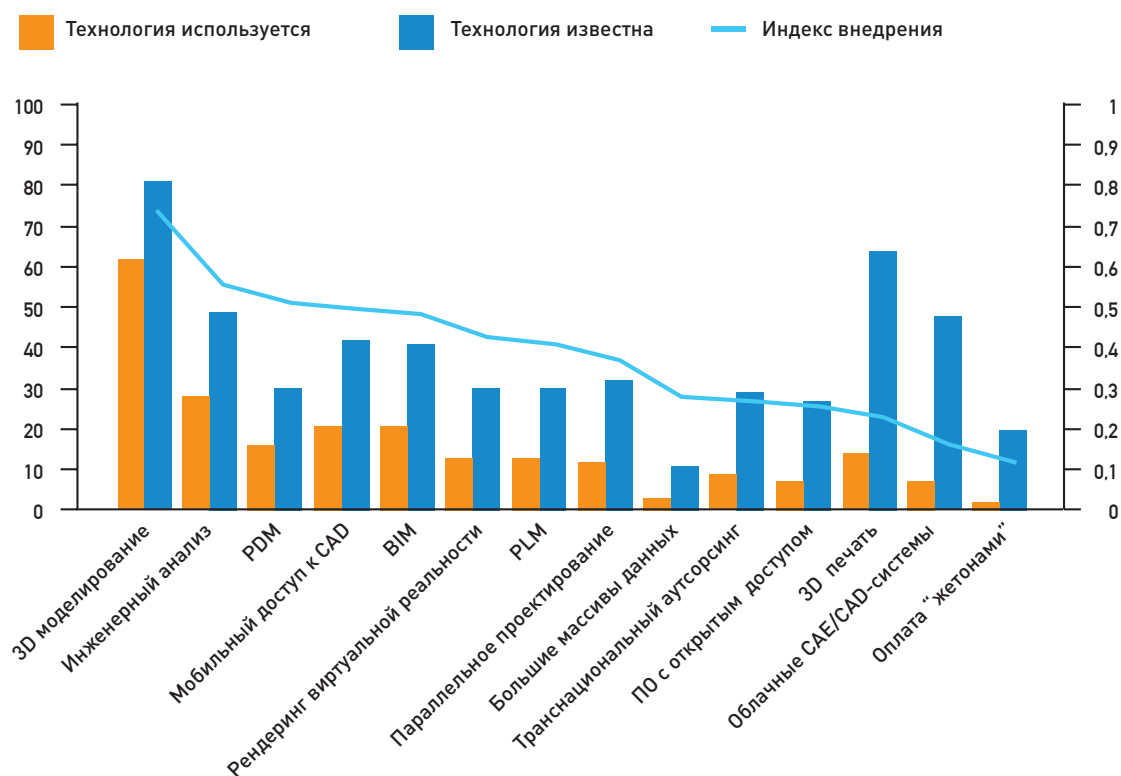
Рисунок 13.
Оптимизация производственных процессов, %



Источник: по данным опроса Aberdeen Group, проведенного в 2012 г., N= 412

Рисунок 14.

Известность / степень внедрения технологий компьютерного инжиниринга зарубежными компаниями — пользователями инженерными программными средствами



Источник: по данным опроса Business Advantage, проведенного в 2014 г., N=409

По данным зарубежных опросов (см. рис. 14), наиболее востребованными технологиями компьютерного инжиниринга в мире являются автоматизированное проектирование и инженерный анализ. В перспективе ожидается рост спроса на мобильные и облачные технологии, интегрированные инженерные платформы (PLM), программное обеспечение с открытым доступом.

Структура промышленного производства оказывает влияние на потребление инженерных программных средств (см. рис. 15, 16). Наибольший спрос на программное обеспечение для компьютерного инжиниринга предъявляют дискретные производства²⁸, которые уже прошли этап технологического перевооружения (лидирующие среди них — автомобилестроение, производство одежды, электротехника, авиаракетостроение). Следующая «волна» потребителей — непрерывные производства²⁹, где происходит реструктуризация процессов (химическая промышленность, фармацевтика, пищевая промышленность).

²⁸ Дискретное производство: изготовление изделия, проходящего через конечное число технологических и сборочных операций. Дискретным принято считать такой тип производства, в котором исходный материал (сырье) при переработке в конечный продукт претерпевает более одного передела с прерыванием технологического процесса. Источник: PLM-pedia, isicad.

²⁹ Процессное (непрерывное) производство — изготовление изделия, претерпевающего непрерывные изменения, например, в ходе химических реакций. Источник: PLM-pedia, isicad.

Рисунок 15.
Спрос на инженерное программное обеспечение со стороны дискретных производств в мире, млн долл.

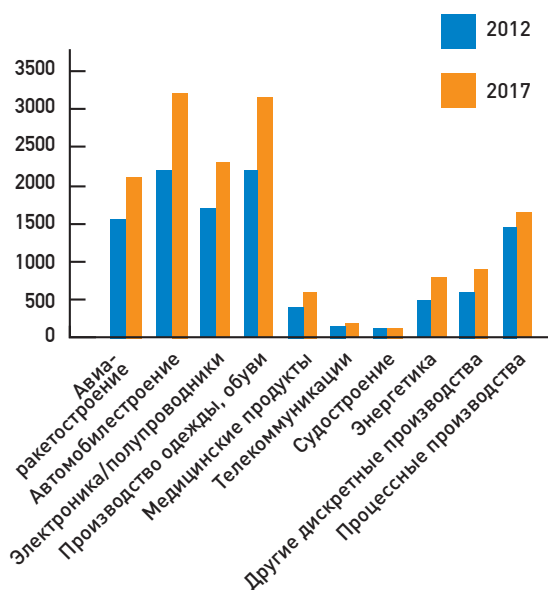
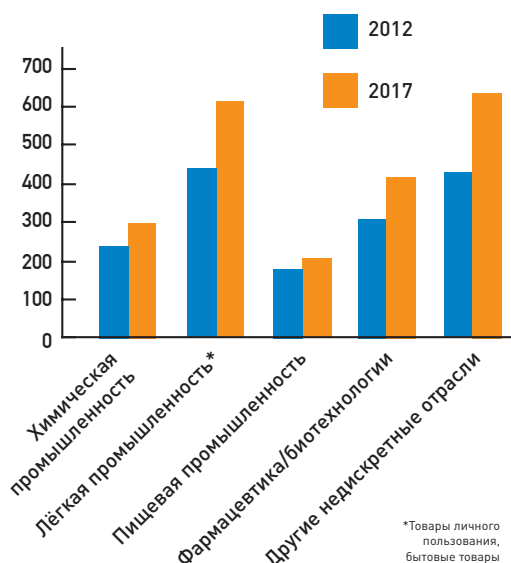


Рисунок 16.
Спрос на инженерное программное обеспечение со стороны процессных отраслей промышленности в мире, млн долл.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам ARC AG

3.3. Характеристика корпоративной структуры рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга в мире

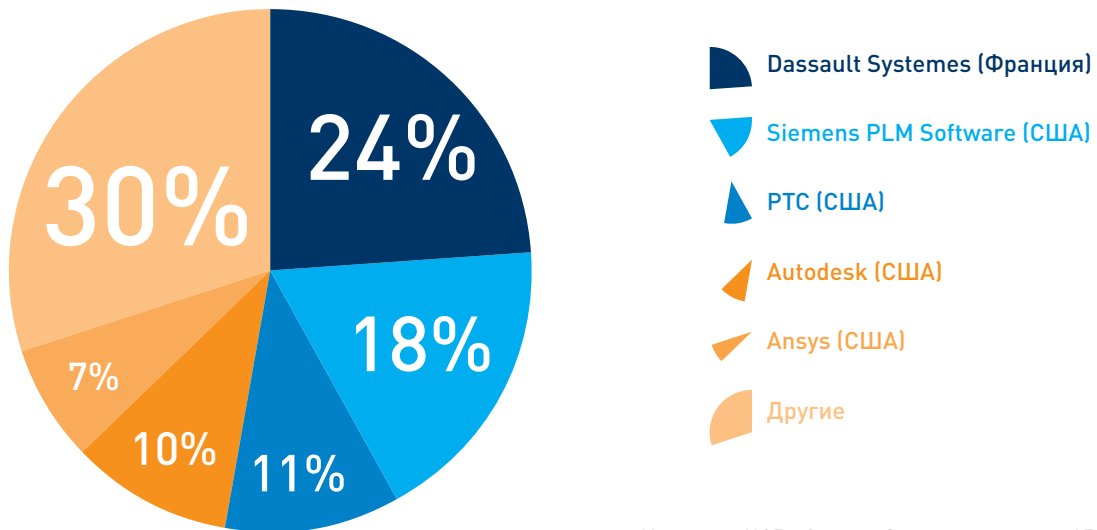
Мировой рынок инженерных программных средств консолидирован: продукция пяти лидирующих компаний формирует 70% продаж программного обеспечения (см. рис. 17). Лидерами рынка являются зарубежные разработчики программных решений: Dassault Systemes (DS), Siemens PLM, PTC, Autodesk, Ansys. Лидерами по объему продаж в денежном выражении являются (2013г.) программные продукты последнего поколения CAD-систем: CATIA (DS), AutoCAD (Autodesk), Unigraphics NX (Siemens PLM Software).

Игроки рынка вкладываются в создание интегрированных инженерных программных платформ (PLM). Об этом свидетельствует направленность корпоративной динамики рынка. Процесс слияний и поглощения на рынке показывает, что приобретаемые компетенции закрывают существующие дефициты для формирования полной продуктовой линейки PLM.

По данным CIMData, среднегодовые темпы роста рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга за период 2009–2013 гг. составили 7,2%, что в два-три раза больше темпов роста мировой экономики (2–3% в годовом выражении). После посткризисного восстановления наблюдается постепенное снижение темпов роста — за период 2011–2013 гг. почти в два раза. Такая динамика рынка связана с замедлением роста промышленного производства в 2012–2013 гг. Кроме того, прогнозируется сохранение темпов роста на уровне 7% в ближайшие годы, что отражает прогноз динамики рынка, представленный ARC AG (см. рис. 21).

Рисунок 17.

Корпоративная структура мирового рынка компьютерного инжиниринга, 2012 г., %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным ARC AG

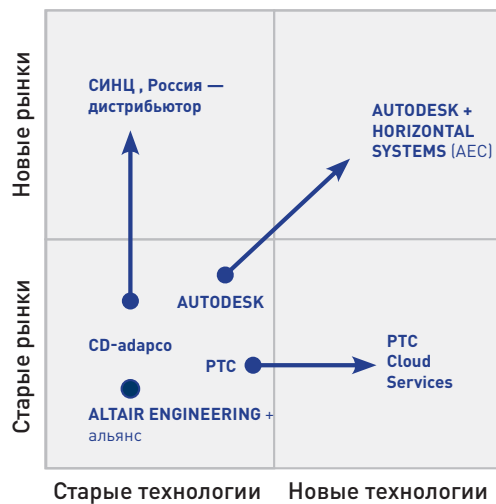
Рисунок 18.

Продуктовые стратегии: зарубежные компании выходят в создание интегрированных PLM-платформ

Специализированная	DS SIEMENS PLM	ITI TranscenData CENTRIC SOFTWARE
	ZWEAVE (специализация — легкая промышленность)	MENTOR GRAPHICS (специализация — электроника)
	Закрытая	Открытая

Рисунок 19.

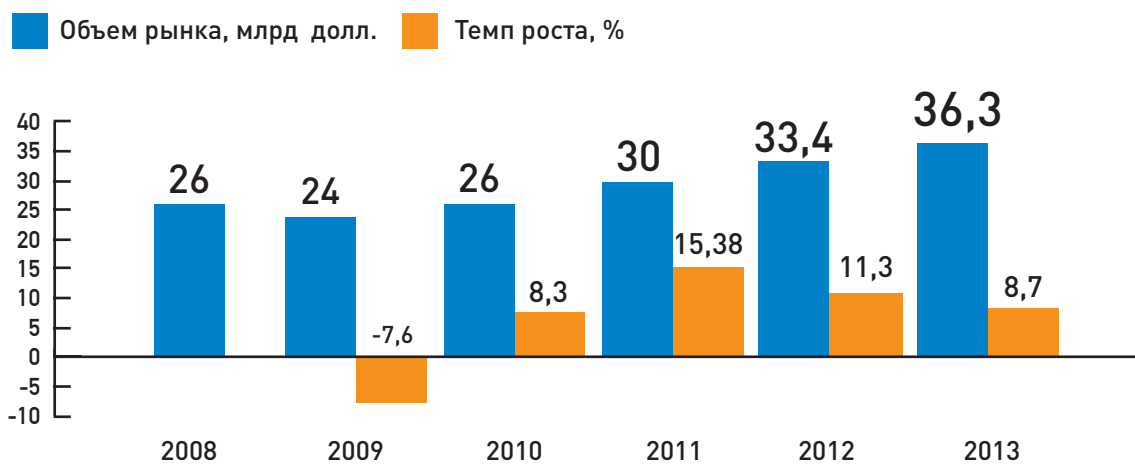
Рыночные стратегии: доступ к потребителям за счет M&A, альянсов, развития дистрибьюторской сети



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам компаний

Рисунок 20.

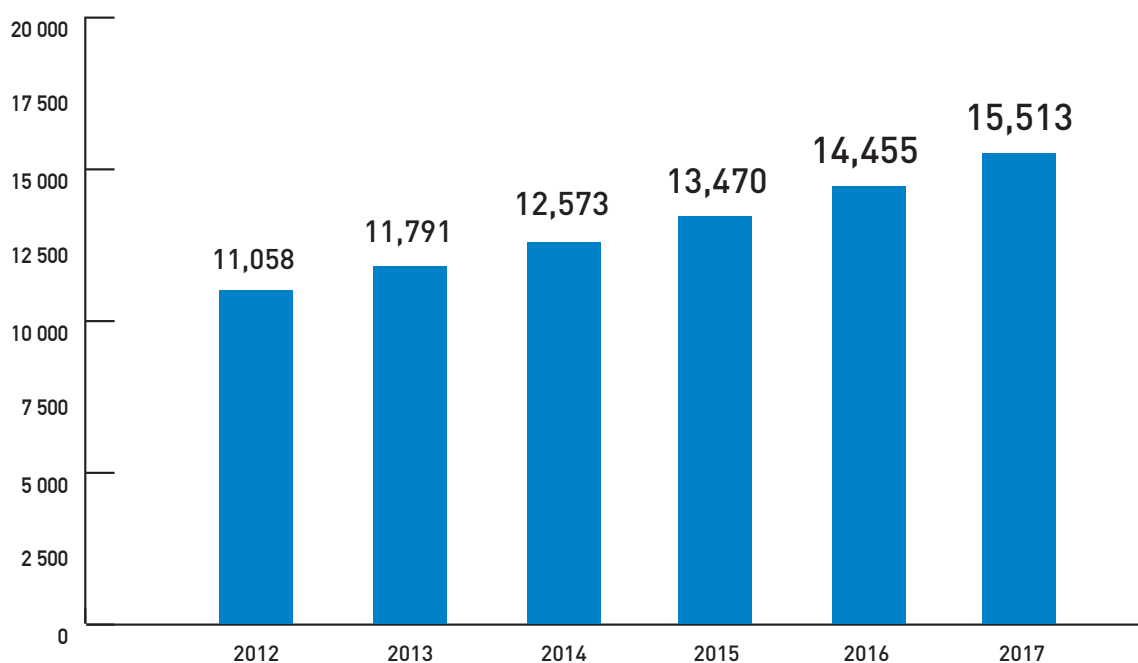
Динамика рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2008–2013 гг.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным CIMData

Рисунок 21.

Динамика рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, млрд долл., 2012–2017 гг.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным ARC AG

3.4. Характеристика региональной структуры рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга

К ключевым трендам рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга можно отнести расширение географии спроса — в первую очередь, за счет Азиатско-Тихоокеанского региона.

За период 2009–2012 гг. доля продаж специализированного ПО в Азиатско-Тихоокеанском регионе возросла с 34% до 45%, то есть темпы роста значимости этого географического сегмента составили более 2% в год.

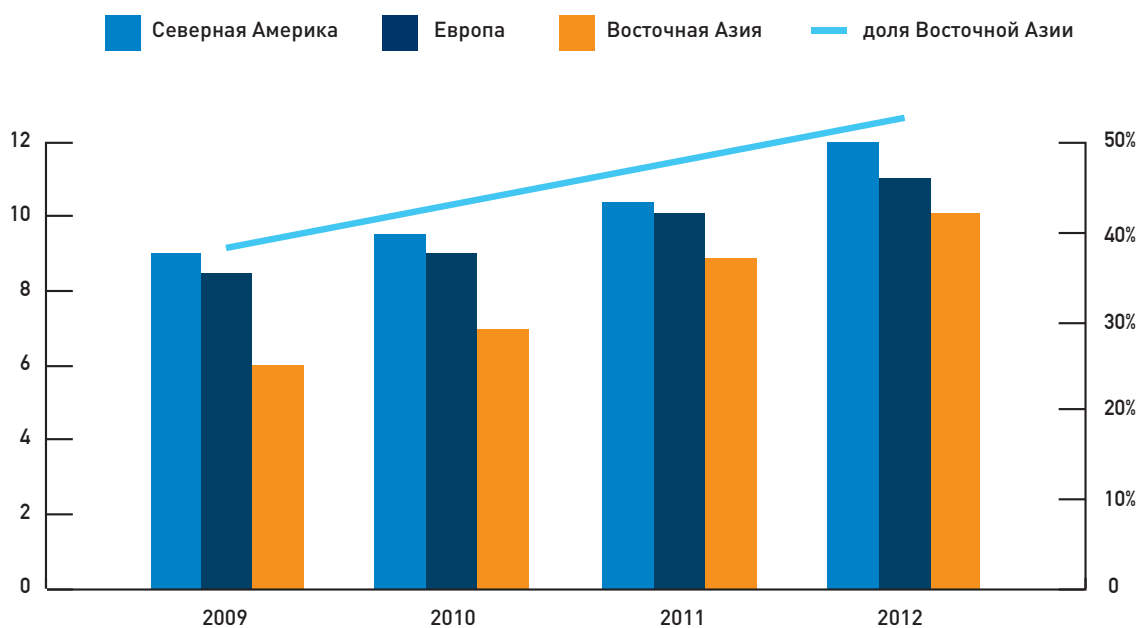
По данным ARC Advisory Group, этот тренд связан, в том числе с ростом спроса на CAE-решения со стороны промышленности Китая и Индии, а также в результате роста китайского и индийского рынков проектирования и комплексного управления жизненным циклом продукта. Китай проникает из сектора «сборки сложной продукции» в сектор «проектирования и конструирования продуктов», что будет стимулировать спрос на программные средства мультидисциплинарного инжиниринга (мультидисциплинарные CAE-системы).

Одним из факторов является переход от модели аутсорсинга шаблонных задач по проектированию к осуществлению собственных инженерных и конструкторских разработок, с акцентом на дизайн продукта и получение прав интеллектуальной собственности. Эти тенденции приводят к необходимости разработки собственного лицензионного программного обеспечения наряду с расширением пакета предоставляемых национальными компаниями сервисов в области управления жизненным циклом.

Иную структуру географических рынков программного обеспечения для компьютерного инжиниринга демонстрирует сегмент САМ-систем, отвечающих за технологическую подготовку производства. По данным TechNavio, глобальным лидером в этом сегменте является Европа, на втором месте стоит АТР, а замыкает лидирующую группу регионов Северная Америка. На этом рынке доля АТР также растет наибольшими темпами.

Рисунок 22.

Региональные рынки программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, млрд долл., 2009–2012 гг.



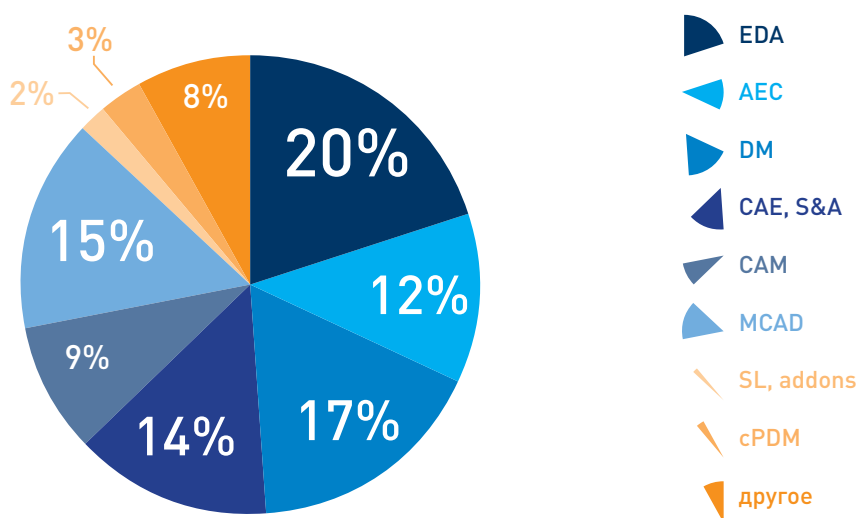
Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным CIMData

3.5. Структура рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по инструментам

Крупнейший сегмент рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга — во всей гамме инструментов инженерного анализа и проектирования (EDA, MCAD, CAE, CAM, AEC) и DM (Digital Manufacturing) — в совокупности составляет более 60% общего рынка.

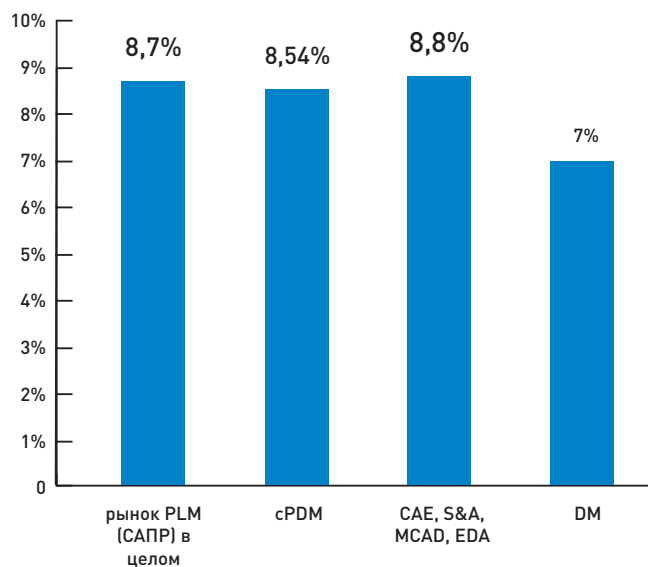
Средства коллективного управления данными о продукте (cPDM) занимают около 14% рынка. Значительный сегмент занимают интегрирующее ПО и технологии поддержки ПО.

Рисунок 23.
Структура рынка инженерного программного обеспечения, 2013 г.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным CIMData

Рисунок 24.
Темпы роста сегментов рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2013 г., %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным CIMData

К крупнейшим сегментам рынка относятся: EDA — 20%, MCAD — 17%, cPDM — 14%, CAE, S&A (Simulation & Analysis) — 12%.

Ключевые игроки в секторах: 1) EDA — Synopsis, Cadence, Mentor Graphics; 2) MCAD — Dassault Systemes, Siemens PLM Software, PTC, Autodesk; 3) cPDM — Siemens PLM Software, SAP, Dassault Systemes, Oracle, PTC; 4) CAE, S&A — ANSYS, MathWorks, Dassault Systemes, Siemens PLM Software (включая LMS Intl.), MSC Software, Altair Engineering.

По данным TechNavio, рост сегмента CAE до 2016 г. прогнозируется в среднем на 11,2%. К 2016 г. доходы в сегменте достигнут 3,4 млрд долл. В сегменте CAE наблюдается меньшая концентрация доходов у крупнейших фирм по сравнению с EDA и CAD сегментами программных продуктов для проектирования. Этот рынок характеризует большее число фирм и продуктов. Так, доходы ключевых игроков рынка CAE и S&A — Ansys и MathWorks — составили 800 млн и 650 млн долл. соответственно, что в совокупности составляет 36% совокупного сегмента рынка, тогда как доля доходов лидеров в сегменте MCAD составляет 50%, в сегменте EDA — 60%.

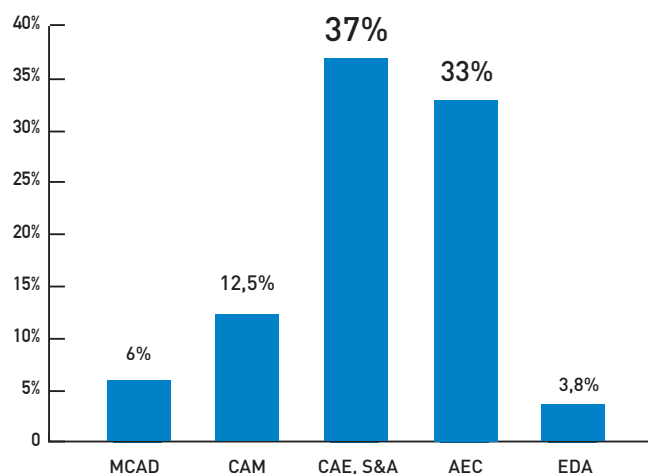
Рынок программного обеспечения для компьютерного инжиниринга характеризуется значительной неоднородностью темпов роста различных сегментов. Наибольшие темпы роста показывает наиболее наукоемкий сегмент инструментов инженерного анализа и проектирования — CAE-системы. Сравнительно невысокие темпы роста показывает сегмент CAM-систем технологической подготовки производства.

По данным Global Industry Analysts, спрос на PLM-решения стал активно расти с момента послекризисного восстановления, поскольку производственные компании озаботились вопросами оптимизации своих бизнес-процессов. Наиболее активно растущим сегментом названы cPDM-решения, в особенности — североамериканский рынок cPDM.

Рынок инженерного ПО характеризуется высокой долей инвестиций в R&D. Так, в 2012 г. наибольший прирост инвестиций наблюдался в сегментах CAE — 37% и AEC — 33%. Наименьшие показатели у традиционных и значительно монополизированных секторов CAD и EDA. Таким образом, основной тренд рынка специализированного инженерного ПО — быстрое развитие CAE и S&A программных средств математического моделирования и компьютерного инжиниринга.

Рисунок 25.

Темпы роста инвестиций по сегментам рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, 2013 г., %



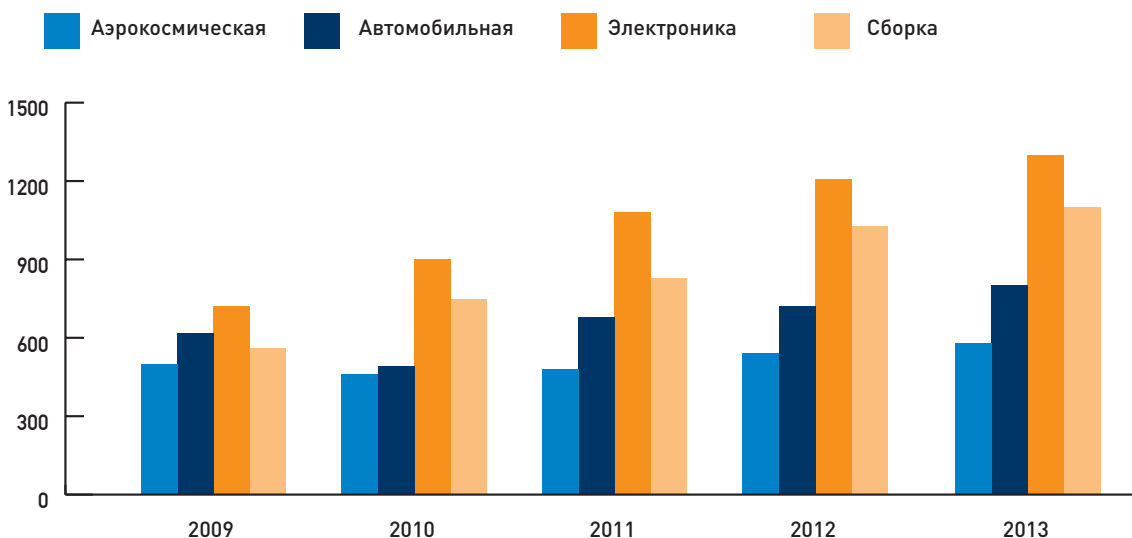
Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным CIMData

3.6. Структура рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по отраслям

В отраслевом разрезе наибольший спрос предъявляется со стороны электронной и телекоммуникационной промышленности, традиционные потребители — аэрокосмическая и автомобильная промышленность — растут незначительными темпами.

Рисунок 26.

Отраслевая структура спроса на продукцию программного обеспечения для компьютерного инжиниринга, млрд долл., 2009–2013 гг.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным CIMData

Рисунок 27.

Отраслевая структура спроса на решения компьютерного инжиниринга в мире, млн долл., 2012 г.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по данным ARG AG

Высокая динамика наблюдается в сегменте управления технологическими процессами и финальной сборки изделий. Это связано в первую очередь с ростом значимости Азиатско-Тихоокеанского региона, где развиваются преимущественно финальные сборочные производства. Например, по данным Frost&Sullivan, рынок PLM в Индии составлял 130 млн долл. в 2010 г., но к 2017 г. прогнозируется рост до 400 млн долл., а средние темпы годового роста рынка составят 15%. Основным драйвером роста станет адаптация PLM-решений в автомобилестроении и тяжелом машиностроении.

3.7. Трансформация глобального рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга

Основополагающими процессами, которые генерируют комплекс трендов, влияющих на направления процессов корпоративной динамики на рынке компьютерного инжиниринга, являются:

- движение к созданию интегрированных платформ инженерного анализа и проектирования, объединяющих множество программных продуктов (Software) в единые среды, характерный пример последнего времени дают разработки американской компании ANSYS, Inc. — программные среды ANSYS Workbench и ANSYS MultiPhysics;
- углубление зоны компетенций компании в конкретном сегменте рынка;
- упрочнение позиций на рынке путем расширения портфеля проектов.

Конкретное направление развития процесса корпоративной динамики зависит от зрелости рассматриваемого сегмента рынка. Наиболее динамичными среди сегментов рынка компьютерного инжиниринга являются сегмент инструментов проектирования (CAE, EDA, MCAD) и cPDM-сегмент — именно здесь наиболее активно протекают процессы корпоративной динамики, происходят сделки по слиянию и поглощению.

Сегмент CAE

Таблица 7

Корпоративная динамика CAE-сегмента

Фирма	Покупка	Сфера
Ansys, Inc.	Esterel Technologies (2012)	Оптимизация программного кода в сфере моделирования технических систем
	Apache Design Solutions (2011)	ПО разработки электронных систем и интегральных микросхем
	Ansoft Corp. (2008)	ПО для расчета электромагнитных взаимодействий в процессе проектирования антенн и радиоэлектронных компонентов
	Fluent (2006)	ПО для решения задач гидродинамики
The MathWorks, inc.	Polyspace Technologies (2007)	Оптимизация программного кода (первоначально для Ариана)
	SciFace Software GmbH & Co. KG	Система компьютерной алгебры

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам компаний

Основные тренды в сегменте CAE и S&A — расширение компетенций в сфере предметной реализации технологий математического моделирования: развитие специализированных расчетных модулей (гидродинамика, механика деформируемого твердого тела и прочность, электромагнетизм, теплообмен, акустика и др.), а также все более нарастающая тенденция движения в сторону мультидисциплинарных задач. Отметим и такие тенденции, как решение проблем оптимизации программного кода и разработка средств поиска алгоритмических ошибок, разработка средств для ускорения вычислений и снижения издержек ошибок в расчетах. В этом сегменте наблюдается развитие

специализированных расчетных модулей (solver-ов — решателей) для решения сверхбольших алгебраических систем на базе методов современной вычислительной алгебры, а также активно развиваемых технологий компьютерной математики (The MathWorks, inc., Wolfram Research).

В сегменте CAE и S&A существует значительный потенциал роста разнообразия предлагаемых программных продуктов, а также их качества. Рост разнообразия продуктов поддерживается расширением сферы применения инженерных расчетов и анализа, а рост качества — за счет разработки эффективного программного обеспечения. Особо отметим, что именно CAE-сегмент рынка требует разработки и развития не только эффективного программного обеспечения, предъявляя наибольшие требования к качеству написания программного кода, но и развития аппаратных средств, т. е. высокопроизводительных вычислительных систем — супер ЭВМ.

Эффективную стратегию сохранения лидерских позиций за счет слияния и поглощения реализует глобальный лидер CAE-сегмента рынка американская компания ANSYS, Inc., которая объявила о намерении поглотить Reaction Design — компанию, занимающуюся моделированием химических реакций, связанных с оптимизацией работы автомобильных и авиационных двигателей и снижением вредных выбросов³⁰. Интеграция решений ANSYS с ведущими в отрасли инструментами моделирования физико-химических процессов Reaction Design позволит получить лучшие инструменты математического моделирования процессов горения — сложных мультидисциплинарных процессов, связывающих аэрогидродинамику, теплообмен, излучение и физико-химию, имеющих широчайшую сферу применения в энергомашиностроении, двигателестроении, энергетике и т. д.

Сегмент EDA

Таблица 8

Корпоративная динамика EDA-сегмента

Фирма	Покупка	Сфера
Synopsys, inc.	SpringSoft (2012)	Оптимизация программного кода
	Magma Design Automation (2012)	Разработка микросхем
	Virage Logic	Средства проектирования интегральных микросхем
Cadence Design Systems, Inc.	Evatronix (2013)	Разработка железа, разработка функциональных блоков микросхем (IP-cores)
	Acquire Tensilica (2013)	Разработка функциональных блоков микросхем (IP-cores)
	Cosmic Circuits (2013)	Разработка функциональных блоков микросхем (IP-cores)
Mentor Graphics, Inc.	Flomerics Group PLC (2008)	ПО для разработки систем охлаждения для электронных систем
	LogicVision, Inc. (2009)	ПО для создания электронных компонентов «проектирование для испытаний» (Design for testing)
	Valor Computerized Systems (2010)	EDA / CAD / CAM система по печатным платам (design for manufacturing)

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам компаний

Основной тренд в инженерной деятельности в области электроники — специализация на создании индивидуализированной элементной базы и разработке функциональных блоков микросхем

³⁰ Подробнее см. Электронный ресурс. URL: <http://investors.ansys.com/releasedetail.cfm?ReleaseID=816926>; <http://www.reactiondesign.com/news/57/95/ANSYS-and-Reaction-Design-Announce-Signing-of-Definitive-Merger-Agreement/> (дата обращения: 10.01.2014).

(IP-cores) как на программном уровне (на языке описания аппаратуры, VHDL), так и в схемотехническом и топологическом исполнении. Развивается проектирование электронных компонентов с фокусировкой на упрощении производства и тестирования. Развитие средств проектирования блоков микросхем (интегральных микросхем) определяется спросом со стороны производителей вычислительной техники, прежде всего микропроцессоров и микроконтроллеров. Возможности таких EDA-систем позволяют создавать библиотеки стандартизированных решений интегральных схем на различном уровне (от описания до конкретной физической реализации), что существенно удешевляет разработку нового электронного устройства. Кроме того, развивается проектирование электронных компонентов с фокусировкой на упрощении производства и тестирования, в основном в сфере разработки печатных плат.

Сегменты MCAD и cPDM

Таблица 9

Корпоративная динамика MCAD-сегмента

Фирма	Покупка	Сфера
Dassault Systemes	Apriso (2013)	MES, SCM, QMS
	Exalead (2010)	Big Data
	Netvibes (2012)	маркетинговая и коммуникационная платформа
	Accelrys (2014)	управление НИР в области биохимии, фармацевтики, материаловедения, включая моделирование на молекулярном уровне
	Quintiq (2014)	управление логистикой, планирование и оптимизация поставок
Autodesk	TinkerCAD (2013)	ПО для быстрого прототипирования
	Qontext (2012)	Коммуникационная платформа
	Horizontal Systems	Интегральная АЕС (архитектура, строительство, инженерия)
PTC	NetIDEAS (2013)	Решения для проектного менеджмента и PLM
	Thingworx (2013)	ПО для разработки приложений для M2M и «интернета вещей»
	MKS Inc.	Application Lifecycle Management (ALM), оптимизация программного кода
Siemens PLM Software	LMS International (2012)	ПО для моделирования, испытаний, прототипирования

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам компаний

Таблица 10

Корпоративная динамика cPDM-сегмента

Фирма	Покупка	Сфера
Siemens PLM Software	VRcontext International S.A. (2012)	ПО для управления промышленным предприятием
	Perfect Costing Solutions GmbH (2012)	ПО для управления издержками промышленного предприятия
SAP AG	Hybris (2013)	PCM (управление контентом)
	Ariba, Inc. (2012)	ПО для управления издержками
	SuccessFactors Inc. (2011)	Облачный HCM (управление чел. капиталом)

Фирма	Покупка	Сфера
Oracle	Corente (2014)	Программное обеспечение для построения облачных сервисов
	BigMachines (2013)	Программное обеспечение для конфигурирования заказов и расчёта цен
	Compendium (2013)	Облачная система управления контент-маркетингом

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам компаний

Основной тренд в MCAD и cPDM — опережающее развитие программного обеспечения для управления жизненным циклом инженерной продукции, создание интегрированных платформ, маркетинговых инструментов, поиск новых точек роста в секторах, где необходима работа с большими объемами данных, в том числе — «интернета вещей».

На стыке MCAD и cPDM формируется интегрированная PLM-среда разработки, производства, продажи и сопровождения продукта, т. е. разработчик переходит от продажи продукта к реализации комплекса всех мероприятий по управлению жизненным циклом (УЖЦ), следовательно, PLM-системы можно считать частью рыночного продукта, а не исключительно средством производства.

В настоящий момент этот сегмент рынка находится в стадии зрелости, производители ПО осуществляют оптимизацию продуктов. Компании имеют четкую картину рыночных сегментов и концентрируются на работе с конкретными потребителями. Наблюдается тенденция к консолидации операций ведущих инжиниринговых фирм за счет слияний и стратегических альянсов — это инициатива как самих крупных игроков³¹, так и мелких фирм, которые становятся частью более крупных бизнес-единиц. Для первых операции поглощения позволяют приобрести дефицитные компетенции для интеграции их в создаваемую платформу, а также закрепиться на новых географических рынках и выиграть за счет использования местных кадровых ресурсов. Вторые приобретают стратегического партнера или материнскую организацию, которая решает для маленьких компаний имиджевые, коммуникационные, брендовые задачи и обеспечивает необходимый объем заказов³².

В стремлении сформировать интегрированную платформу проектирования компании стараются осуществлять консолидацию таким образом, чтобы наиболее эффективно выстраивать бизнес-процесс, объединяя все стадии жизненного цикла проектирования от работ по начальной разработке изделия на уровне цифрового моделирования до маркетинга и массовой реализации изделий.

Например, компания 3D Systems реализует стратегию выстраивания бизнес-процесса, закрывая стадии ЖЦ от появления трехмерной модели до ее физического выпуска на базе аддитивных технологий послойной печати³³. Постепенно в этот пакет услуг была интегрирована функция марке-

³¹ В качестве примера сделки по слиянию, которая была произведена между двумя «гигантами», можно назвать покупку компанией Siemens бельгийской фирмы LMS International, выпускающей ПО для инженерного анализа. Сумма сделки — 680 млн евро. Это — важное событие в мире PLM в 2012 г. LMS — известный игрок, занимающий, по оценкам аналитиков, пятое место на рынке CAE (Computer-Aided Engineering). Первой сделкой по поглощению, которая всколыхнула мир компьютерного инжиниринга, стала покупка американской фирмы UGS немецким концерном Siemens в 2007 г. (3,5 млрд долл.) В 2010 г. еще одна американская компания Intergraph, ведущий мировой поставщик решений в сфере проектирования промышленных объектов и управления пространственными данными с годовым оборотом порядка 800 млн долларов США, объявила о том, что она будет поглощена шведским холдингом Hexagon AB за сумму 2,125 млрд долларов США. Компании имеют важное технологическое пересечение: Hexagon производит решения, позволяющие создавать геопространственные данные из космической и аэрофотосъемки, а также наземных измерений, в то время как Intergraph является лидером в области приложений ГИС и инженерного ПО. Это пересечение позволит объединенной компании предложить интегральное решение для проектирования промышленных объектов на основе единого программно-аппаратного комплекса. Источник: <http://isicad.ru/ru/news.php?news=13888>.

³² Также, важным фактором конкурентной борьбы становится экономия от масштаба — глобализация отрасли подчеркивает растущую важность экономии от масштаба при предоставлении инжиниринговых услуг. Этот тренд дополнительно способствует активизации процессов слияний и поглощений в отрасли.

³³ За последние несколько лет компания 3D Systems (США) отметилась многочисленными поглощениями, которые существенно меняют ее начальное позиционирование как производителя дорогих трехмерных принтеров. Компания поглотила предприятия среднего и малого бизнеса, такие как Alibre, SYCODE, Bitsfrom Bytes, ZCorp, Paramount Industries, Rapidform, Figulo.

тинга через создание онлайн-платформы, с помощью которой пользователи могут обмениваться 3D-моделями и заказывать их изготовление³⁴.

Покупки мирового гиганта Dassault Systemes связаны с тем, что разработчик расширяет и уточняет портфолио 3DEXPERIENCE — формируемой интегрированной платформы, которая поддерживает отраслевые приложения Dassault Systemes, помогая обеспечивать конечных пользователей максимально широким спектром возможностей в области 3D-моделирования, математического и имитационного моделирования, социальных инноваций, сотрудничества и управления информацией³⁵.

3.8. Анализ рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга в России³⁶

Российский рынок программных средств для компьютерного инжиниринга является потенциально емким (до 1,7% от мирового объема новых продаж). В последние несколько лет рынок имел высокую динамику роста (средние темпы роста — более 20%) за счет технологического обновления производственных фондов основных отраслей промышленности и первичной продажи лицензий на инженерное программное обеспечение.

Объем расходов организаций обрабатывающей промышленности на приобретение программных средств составил (2012 г.) 16,9 млрд руб. По оценкам, доля инженерного программного обеспечения в структуре общих расходов на приобретение ПО превысила 35%.

Зарубежные производители программного обеспечения давно присутствуют на российском рынке. Лидеры мирового рынка имеют в России офисы продаж и представительства: Siemens PLM (LMS), Autodesk, DS (Solid Works), MSC Software. Кроме этого, они интенсивно развивают партнерскую сеть — российских компаний-реселлеров, которые представляют собой дополнительные каналы продаж и дистрибуции ПО. Например, компания MSC Software открыла свое представительство в России в начале 90-х годов. Позже компания MSC Software стала развивать свою партнерскую сеть, куда входят в настоящее время российские компании ООО «Би Питрон СП», Мебиус, CompMechLab и др. Компании «второго эшелона» выходят на российский рынок преимущественно через создание дистрибьюторской сети: ООО «Лаборатория «Вычислительная механика» (CompMechLab Ltd.) — дистрибьютор продукции Altair Engineering, LS-Dyna и т. д.; ООО «Саровский инженерный центр» — CD-Adapco; ООО «Би Питрон СП» — Cimatron Group, Metacam, CGTech и т. д. К числу партнеров-реселлеров относятся, также, Солвер, группа компаний ЛАНИТ, консалтинговая группа «Борлас», Центр информационных технологий «Мебиус», «ГЕТНЕТ Консалтинг», CSoft Development, КАДФЕМ Си-Ай-Эс, группа компаний «ПЛМ Урал» — «Делкам-Урал» и многие другие.

Ведущими российскими разработчиками инженерного программного обеспечения, производящими решения для управления жизненным циклом продукции, являются группа компаний «АСКОН» и Топ Системы. Объем продаж группы компаний «АСКОН» в 2013 г. составил более 983 млн руб., общее количество корпоративных рабочих мест с профессиональной лицензией CAD-системы КОМПАС от АСКОН превышает 100 тыс. Видимой на рынке является компания ЗАО «Нанософт», предоставляющая бесплатный доступ к базовому программному продукту для геометрического моделирования «nanoCAD» (общее число зарегистрированных пользователей продукта в 2013 г. превысило 300 тыс., из них 29 тыс. — корпоративные пользователи). Среди поставщиков систем для инженерного анализа выделяются ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», компании ТЕСИС, НТЦ АПМ, ряд других.

³⁴ Подробнее см обзоры Isicad. Электронный ресурс. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16645; http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15843 (дата обращения: 10.01.2014).

³⁵ Подробнее о платформе см What is Dassault Systèmes' 3DEXPERIENCE Platform?— Engineering.com. Электронный ресурс. URL: <http://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/6663/What-is-Dassault-Systemes-3DEXPERIENCE-Platform.aspx> (дата обращения: 10.01.2014); Официальный сайт компании. Электронный ресурс. URL: <http://www.3ds.com/ru/o-kompanii-3ds/platforma-3dexperience/> (дата обращения: 10.01.2014).

³⁶ Данных об использовании специализированного инженерного ПО в отраслевом разрезе в существующей системе статистического учета нет.

Рисунок 28.
Структура видов экономической деятельности в разрезе обрабатывающего производства, %, 2012 г.



Рисунок 29.
Доля организаций обрабатывающей промышленности по объему инвестиций в технологические инновации, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

В настоящее время дискретные производства³⁷: транспортное машиностроение, производство электр- и оптического оборудования, производство машин и оборудования — находятся в стадии технологического перевооружения и являются основными потребителями инженерного программного обеспечения. В будущем рост рынка специализированных программных средств для компьютерного инжиниринга будет определяться адаптацией инженерных решений для организации процессных производств.

³⁷ Занимают 22% в структуре видов экономической деятельности по объему производства продукции.

Результаты анкетирования клиентской базы вендоров программного обеспечения для компьютерного инжиниринга

Маркетинговая и/или статистическая оценка рынка компьютерного инжиниринга в России не ведется. С целью получения необходимой информации о рынке ПО для компьютерного инжиниринга в России было проведено анкетирование организаций – пользователей специализированного инженерного ПО.

Период исследования: март — июль 2014 г.
Характеристика выборки: 1313 компаний — пользователей инженерного программного обеспечения.
База анализа: 207 релевантных анкет.

Рисунок 30. Описание методики анкетирования

0. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЙ ЭТАП

Формулирование перечня базовых гипотез исследования на основе интервьюирования экспертов и анализа вторичных источников

Поиск сопоставимых зарубежных исследований (отбор кейсов)

Составление перечня вопросов анкеты

- Анкета содержит 25 вопросов по 6 смысловым блокам (общ. информация, инж. деятельность организации, компьютерный инжиниринг, ПО для компьютерного инжиниринга, аппаратная база, тренды рынка)

Определение выборки опрашиваемых организаций

- Первичный опрос вендоров и дистрибьютеров ПО ("Делкам-Урал", "Би Питрон", Autodesk, Siemens PLM Software)
- Формирование итоговой выборки - 1313 организаций

1. ЭТАП СБОРА ИНФОРМАЦИИ

Рассылка анкет по списку организаций-респондентов

- Опрос проведен методом сплошного заочного анкетирования

Получение заполненных анкет

- Поступило 216 заполненных анкет

Формирование базы для анализа

- Релевантными были признаны 207 анкет

2. ЭТАП ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

Формирование сводной базы данных

- Сформирована база данных с результатами анкетирования

Количественный и качественный анализ

- Расчет статистических значений
- Выявление качественных закономерностей

Визуальное представление результатов исследования, оформление отчетных материалов

Март- апрель 2014

25 апреля - 16 июня 2014

Июль 2014

Источник: ЦСП «Северо-Запад»

Характеристика респондентов: основными потребителями программных средств для компьютерного инжиниринга являются крупные предприятия дискретных производств; большинство опрошенных компаний — производители оригинального оборудования (ОЕМ) и компании, интегрирующие несколько звеньев технологической цепочки.

Основные практики использования инженерного программного обеспечения:

- более 50% опрошенных организаций создают конструкторско-технологическую документацию на основе 3D-моделирования;
- цифровая модель является конструкторским документом у 14% респондентов;
- конструкторская документация признается только в бумажном виде у 36% респондентов;
- инструменты комплексной автоматизации всех этапов жизненного цикла внедрены у 9%

Рисунок 31.
Доля организаций по штатной численности сотрудников, %



Рисунок 32.
Доля организаций, по месту организации в цепочке жизненного цикла продукта, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 33.
Доля организаций по отраслевой принадлежности, %



Рисунок 34.
Место организации в технологической цепочке, по оценке респондентов, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 35.
Доля опрошенных организаций, в которых конструкторско-технологическая документация создается на основе 3D-моделирования, %

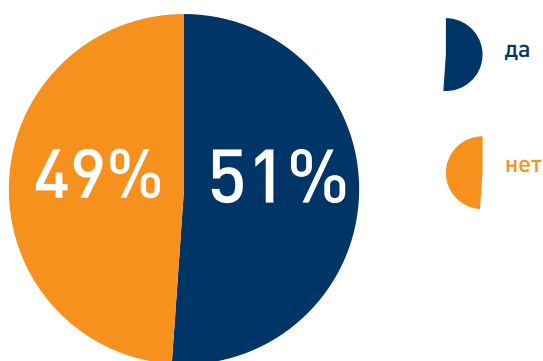
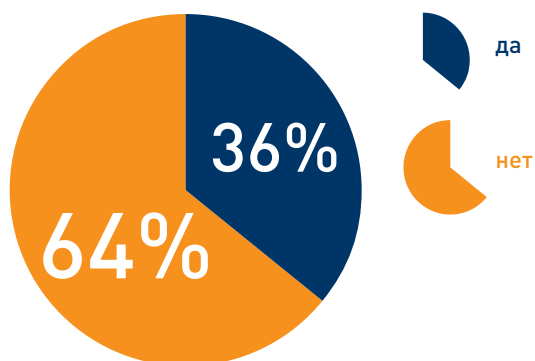


Рисунок 36.
Доля опрошенных организаций, в которых конструкторская документация признается только в бумажном виде, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 37.
Доля опрошенных организаций, в которых электронная модель имеет статус конструкторского документа, %

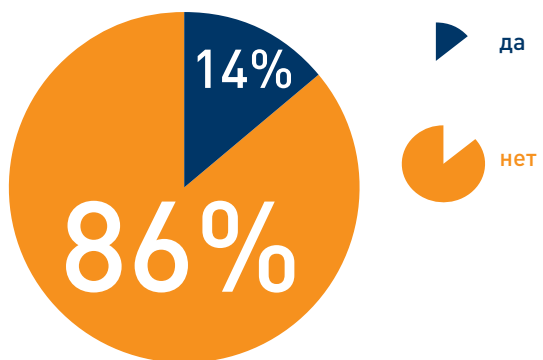
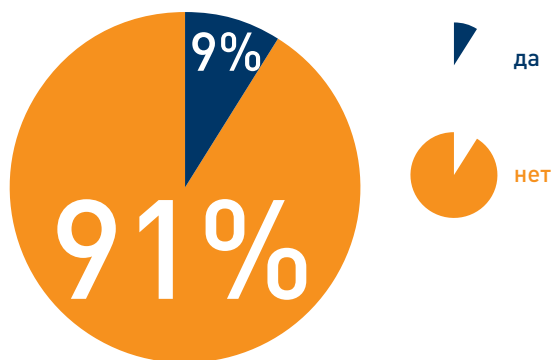


Рисунок 38.
Доля опрошенных организаций, которыми осуществляется комплексная автоматизация всех этапов жизненного цикла, %

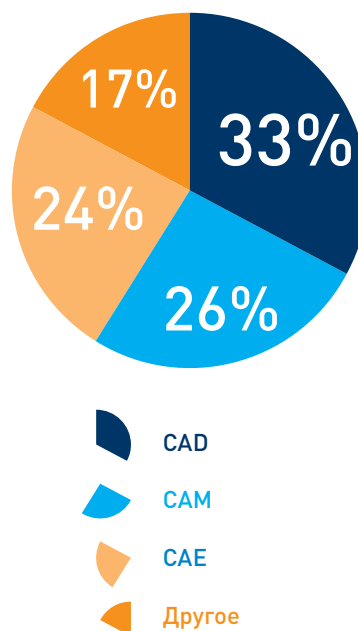


Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 39.
Типы задач, решаемых с помощью инженерных программных средств, по доле опрошенных организаций, %



Рисунок 40.
Типы используемых программных систем, по доле опрошенных организаций, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

опрошенных.

Структура спроса на программное обеспечение для компьютерного инжиниринга имеет следующие характеристики:

- потребление программных средств группы CAD/CAM/CAE составляет 83% от общего объема потребления респондентов;
- инженерное программное обеспечение используется в основном для разработки продуктов и их компонентов — 54% респондентов;
- прочностные и тепловые расчеты являются основным типом инженерных задач, решаемых с использованием специализированного инженерного программного обеспечения (62%).

Основной спрос предъявляется на продукты ведущих разработчиков мирового рынка. Исключение — программные решения российской группы компаний «АСКОН», компаний Топ Системы, НТЦ ГеММа.

Рисунок 41.
Результат инжиниринговой деятельности,
по доле опрошенных организаций, %

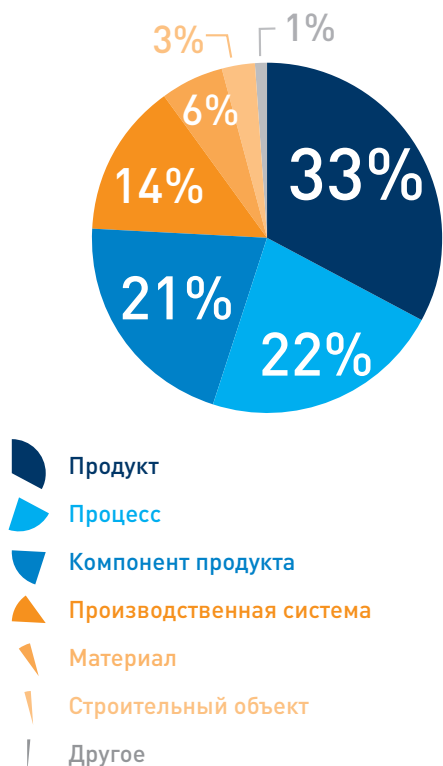
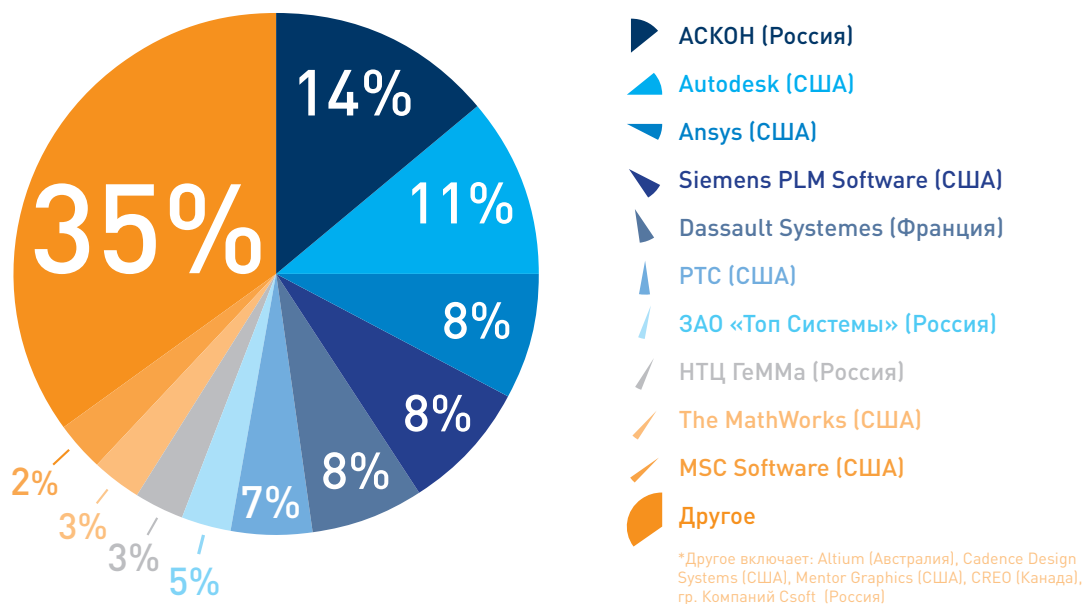


Рисунок 42.
Типы инженерных расчетов (CAE), по доле
опрошенных организаций, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 43.
Лидеры продаж, по доле опрошенных организаций, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Программные продукты, востребованные российским производственным сектором

Компания	Специализация			
	CAD	CAM	CAE	PDM
Autodesk	AutoCAD, Inventor	Inventor		PLM 360
ANSYS	SpaceClaim		ANSYS Mechanical, ANSYS CFD (ANSYS CFX, ANSYS Fluent)	
Siemens PLM Software	NX, Solid Edge	NX-CAM	NX-CAE	Teamcenter
Dassault Systemes	SolidWorks, CATIA	CATIA	SIMULIA (ABAQUS, fe-safe, Isight, TOSCA) SolidWorks Simulation	Enovia (Smarteam), SolidWorks Enterprise PDM
PTC	CREO (PRO/ Engineer)	CREO	CREO (Pro/ Mechanica)	Windchill

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам анкетирования организаций, 2014 г. N= 207

Российский рынок программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по темпам роста обгоняет мировой. Так, по оценке аналитической компании IDC, в 2012 г. объем продаж инженерного ПО увеличился на 20,2% и достиг 204,6 млн долл., превысив тем самым прогноз аналитиков³⁸.

Основные факторы роста: инвестиции в строительную отрасль и промышленное производство, возникновение спроса у крупных предприятий на автоматизацию и оптимизацию управления площадями и инфраструктурой.

По данным экспертного опроса PCWeek³⁹, в России спрос на весь спектр PLM-решений оставался высоким, хотя в 2013-м рост несколько замедлился. Это замедление можно объяснить тем, что поведение заказчиков не укладывается в годовой цикл. Купив программное обеспечение, предприятия переходят к его внедрению, что требует времени и средств. По мнению генерального директора компании ТЕСИС С. Н. Курсакова, замедление спроса в 2013 г. обусловлено, в первую очередь, «кризисными явлениями в Российской экономике, отсутствием четкой государственной политики в машиностроительной области, острой нехваткой квалифицированных кадров. Россия исчерпала весь запас экстенсивного увеличения спроса на PLM-технологии»⁴⁰.

Из генераторов спроса эксперты выделяют оборонную промышленность, энергетическую, нефтегазовую сферу, а также транспортное машиностроение — отрасли, имеющие стратегическое значение в промышленной политике страны. Среди лидеров спроса эксперты назвали такие предприятия, как «Объединенная авиастроительная корпорация», «Вертолеты России», «Объединенная двигателестроительная корпорация», КАМАЗ. Компании данных отраслей занимают позиции интеграторов производственных цепочек. По этой причине, в случае их перехода к использованию PLM-технологий, происходит стимулирование спроса на соответствующие решения и со стороны их поставщиков.

³⁸ Подробнее см www.pcweek.ru/industrial/article/detail.php?ID=140431

³⁹ Опрос проводился среди экспертов в области инженерного ПО, включая топ-менеджеров ведущих разработчиков ПО в России и странах СНГ (Dassault Systemes, Siemens PLM Software, АСКОН, Bentley Systemes).

⁴⁰ По материалам, переданным С.Н. Курсаковым в адрес ЦСР «Северо-Запад».

Как уже отмечалось, все компоненты, составляющие PLM, не являются единым продуктом, а представляют собой комплекс различных инструментов. Спрос⁴¹ на соответствующие решения на рынке неоднороден. Спрос на CAD-системы, с которых, собственно, и началось развитие PLM-рынка, стабилен, но, хотя объемы продаж CAD-систем остаются большими, темпы их роста, наоборот, сравнительно невелики — в пределах 10–15 % в год.

Тренды спроса на CAD-системы:

- повышается спрос на комплексные решения по автоматизации всего цикла конструкторско-технологической подготовки производства вплоть до задач планирования и контроля производственного процесса;
- общее снижение спроса на CAD и переориентация спроса на другие сегменты.

Сейчас CAE/CAM/PDM-сегменты развиваются явно более высокими темпами, чем сформировавшийся CAD-сегмент. Это более перспективные и динамично развивающиеся направления, которые будут активно развиваться в ближайшие годы. Эта тенденция будет развиваться нарастающими темпами, и чемпионом по темпам роста, на взгляд экспертов, являются CAE-системы. Это обусловлено следующими факторами:

- во-первых, все больше внимания уделяется виртуальным испытаниям разрабатываемой продукции, которые оказываются более эффективными, чем испытания реальные;
- во-вторых, все более возрастающей функциональной оптимизацией изделий на основе мультидисциплинарных подходов инженерного анализа, обеспечивающих максимально адекватное реальности описание изделий и систем, что также способствует либо замене натуральных физических испытаний, либо минимизирует их объем.

В связи с этим следует еще раз подчеркнуть, что речь идет о наиболее наукоемком элементе PLM-технологий — Computer Aid Engineering (CAE). Последнее обусловлено тем обстоятельством, что современный компьютерный инжиниринг аккумулирует передовые подходы математической физики, универсальными инструментами которой являются краевые или начально-краевые задачи для уравнений в частных производных и методы их решения, опирающиеся на различные вариационные и проекционно-сеточные схемы — схемы методов конечных элементов.

Тренды развития сегмента CAE в России:

- интеграция CAD/CAE-систем как между собой (в современных CAD-системах, как правило, имеются модули для инженерных расчетов, а современные CAE-системы имеют развитые средства 3D геометрического и параметрического моделирования), так и с другими составляющими PLM-продуктов;
- рост интереса к решениям в области цифрового производства на основе 3D геометрических моделей и, что гораздо более важно, на основе 3D оптимальных моделей, полученных в результате применения мультидисциплинарных CAE-систем и программных систем для оптимизации элементов конструкций (параметрической, топологической, многокритериальной и т. д.);

Появление на предприятиях перечисленных выше продуктов стимулирует спрос на средства для их интеграции — PDM/PLM-системы.

⁴¹ В России приоритетное значение имеет коммерческий спрос, тогда как, например, в Великобритании спрос в значительной степени определяется государством, поскольку на уровне правительства заданы требования по предоставлению именно 3D-моделей и применению стандартов информационного моделирования зданий (BIM).

Тренды развития PDM/PLM-систем:

- решения для работы в географически распределенной среде⁴²;
- переход головных разработчиков военной и специальной техники на контракты полного жизненного цикла⁴³.

По мнению экспертов, главным стимулом для ускоренного CAE, как центрального эффективного ядра PLM-систем, и развития самих PLM-систем является конкуренция. Результаты такого внедрения и развития позволяют компаниям в сжатые сроки выходить на мировые рынки с изделиями и разработками, которые имеют уникальные характеристики, полученные в результате 3D математического моделирования и компьютерного инжиниринга. Это, в свою очередь, стимулирует переход на новые технологии и модели в процессе эксплуатации таких объектов, создавая основы для эффективных управленческих и финансовых решений. Данные, полученные в результате 3D моделирования и проектирования, а также собранные в процессе эксплуатации объектов, ложатся в основу управленческих и финансовых решений. Поскольку инвестиции в инфраструктуру весьма высоки, то от качества информации о продукции на всех этапах ее жизненного цикла непосредственно зависит экономическая эффективность самих проектов.

К сожалению, на российском PLM-рынке, особенно в части их наукоемкого CAD/CAE-ядра, проявляются факторы, которые не только не стимулируют, но и, более того, тормозят развитие, среди них:

- кадровый дефицит⁴⁴;
- сложность внедрения наукоемких CAE-систем, которое предполагает не только закупку специализированных CAE-технологий и высокопроизводительных вычислительных систем, но и сопутствующую настройку бизнес-процессов, которые в подавляющем большинстве случаев требуют их полномасштабной и коренной перестройки.

Обзор некоторых компаний отечественного сегмента разработчиков программного обеспечения для компьютерного инжиниринга представлен в таблице ниже⁴⁵.

⁴² Например, проект создания в ОДК нового семейства авиадвигателей ПД-14 для среднемагистрального самолета МС-21, реализуемый в распределенной среде: головным предприятием выступает пермский «Авиадвигатель», который взаимодействует с площадками, находящимися в Самаре, Уфе и Перми. Для эффективного взаимодействия и решения параллельных задач используется комплексное PLM-решение.

⁴³ Отметим, что Министерство обороны США перешло на соответствующую систему с начала 1990-х гг., однако для российского производственного сектора этот тренд актуален и в настоящее время.

⁴⁴ В связи с этим необходимо указать на проблемы, которые приобретают критическую важность. Во-первых, проблема, связанная с резким ослаблением фундаментального естественнонаучного образования в российской школе. Во-вторых, проблема высшей технической школы, где в последние годы произошло такое же ухудшение преподавания фундаментальных основ инженерного знания. Более того, внедрение и развитие преподавания технологий компьютерного инжиниринга идет, как правило, бессистемно и крайне медленно. Здесь же отметим, что с прекращением работы Президентской программы «Суперкомпьютерное образование» практически прекратилась поддержка работ в области прикладных и образовательных суперкомпьютерных технологий Минобрнауки России.

⁴⁵ Подробнее см. Приложение.

**Обзор российских компаний-разработчиков программного обеспечения
для компьютерного инжиниринга**

Компания	Рыночная ниша
АСКОН	Программное обеспечение для компьютерного инжиниринга, в первую очередь САПР КОМПАС-3D; управление инженерными и проектными данными, инженерная подготовка производства, управление производством.
Топ Системы	Программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции (CAD/CAM/CAE/CAPP/PDM/...), система управления проектами и планирования ресурсов, CRM, MES, TQIP и др.
Группа компаний ADEM	Программное обеспечение для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства
ТЕСИС	Программное обеспечение для математического моделирования в области механики жидкости и газа (FlowVision), ПО в области трансляции, валидации и контроля качества цифровой модели изделия (CAD-модели).
Компания «Фидесис»	Программное обеспечение в области механики деформируемого твердого тела и прочности
ЗАО НИЦ СтаДиО	Программное обеспечение для расчетов прочности и надежности конструкций и сооружений
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»	Инжиниринговые услуги, специализированное программное обеспечение имитационного моделирования, высокопроизводительные вычисления, суперЭВМ

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам СПбГПУ

IV. Характеристика рынка аппаратного обеспечения компьютерного инжиниринга

Как отмечалось ранее, аппаратная база для компьютерного инжиниринга не специализирована. Для выполнения инженерных работ по цифровому моделированию используются персональные компьютеры, ноутбуки, рабочие станции, вычислительные кластеры, планшеты, суперкомпьютеры. Современные тенденции развития программного обеспечения существенным образом трансформируют аппаратную инфраструктуру и каналы коммуникации в рамках PLM-систем. Один из важных трендов — стремительное развитие облачных сервисов, реализующих принципы распределённых вычислений. Это становится возможным благодаря широкому распространению как аппаратных средств, так и технологий и языков программирования, поддерживающих параллельные и распределенные вычисления⁴⁶.

В сфере параллельных и распределенных вычислений PLM-сектора наблюдается движение в сторону предоставления облачных услуг PaaS (Platform as a Service, «платформа как услуга»). Крупные поставщики ИТ-индустрии запускают «инженерные облака», предоставляющие как собственно вычислительные мощности, так и специализированное программное обеспечение. Например, компания Fujitsu предоставляет CAD- и CAM-пакеты, а также услуги по поддержке баз данных. К числу основных игроков рынка можно отнести SGI и Amazon (EC2). Облачная реализация PLM-системы запущена компанией Autodesk (Autodesk 360). На сегодня в целом около 22% промышленных предприятий развитых стран используют облачную инфраструктуру в качестве основной. По данным TechNavio, наиболее перспективным для использования облачных сервисов является сегмент cPDM.

Основные преимущества «облачной» ИТ-архитектуры следующие:

- снижение издержек на ИТ-инфраструктуру;
- снижение издержек на ИТ-персонал;
- хорошая масштабируемость и высокая производительность;
- возможность подбора функциональности, отвечающей требованиям предприятия.

Среди ключевых результатов развития облачных вычислений — снижение барьеров входа на рынок инженерного проектирования и сложной технической продукции для малых и средних предприятий, для которых содержание соответствующих аппаратных и инфраструктурных мощностей является невозможным. Основные барьеры — недостаточно развитые механизмы стандартизации облачных решений, а также проблемы с защитой коммерческой информации.

Некоторые специализированные задачи, связанные с необходимостью большого объема вычислений, могут быть наиболее эффективно решены с использованием суперкомпьютерных технологий (High Performance Computing, HPC).

Отметим, что сегмент инженерного HPC-моделирования на компьютерах из списка Топ-500 (наиболее мощных суперкомпьютеров мира⁴⁷) не играет определяющей роли на PLM-рынке (см. табл. 13).

⁴⁶ Стоит заметить, что между распределенными и параллельными вычислениями нельзя ставить знак равенства, так как первое понятие характеризует пространственную инфраструктуру компьютерных сетей (сюда относятся, в частности, грид-среды), а второе — парадигму развития параллельных вычислительных методов, на основе которой создаются как технологии программирования, так и передовые аппаратные системы.

⁴⁷ Подробнее см список <http://www.top500.org/lists/2013/11/>.

**Использование вычислительной мощности суперкомпьютеров из списка Топ-500
в различных отраслях**

Отрасль	Количество	Доля, %	Используемые вычислительные ресурсы, гигафлопс
Исследования	78	15,6	8545654
Финансовая сфера	47	9,4	1267612
Информационные услуги	34	6,8	993626
Геофизика	31	6,2	899325
Логистика	30	6,0	834971
Полупроводниковая промышленность	22	4,4	577740
Обработка информации	18	3,6	630036
Оборона	16	3,2	873812
Разработка ПО	16	3,2	432657
Телеком	11	2,2	277880
Услуги	10	2,0	242332
Базы данных	9	1,8	226633
Аэрокосмическая промышленность	7	1,4	369031
Энергетика	7	1,4	235760
Интернет	7	1,4	228485
Климатические исследования	6	1,2	386309
Ритейл	5	1,0	126834
Разработка компьютеров	5	1,0	205923
Прогнозирование погоды	3	0,6	130457
Медицина	3	0,6	141706
Автомобильная промышленность	3	0,6	85477
Медиа	3	0,6	80711
Развлечения	3	0,6	96474
Индустрия игр	2	0,4	49340
Бенчмаркинг	2	0,4	67795
Электронные медиа	2	0,4	46576
Науки о жизни	1	0,2	97071
Создание цифрового контента	1	0,2	22507
Консалтинг	1	0,2	43001
Не определено	117	23,4	9761765
Итого	500	100	27977501

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам доклада Агентства национальных исследований Франции

Здесь следует иметь в виду следующие обстоятельства. Во-первых, расчеты на мощных многопроцессорных вычислительных системах, не входящих в мировой рейтинг Топ-500, уже давно стали нормой у всех ведущих мировых компаний. Во-вторых, суперкомпьютеры из этого списка преимущественно используются для масштабных естественнонаучных исследований, для уникальных инженерных расчетов⁴⁸, сложных финансовых, логистических расчетов и пр.

Анализ списка Топ-500 суперкомпьютеров показывает весьма характерную деталь — среди первых 50 наиболее мощных систем только 4 относятся к промышленности, что вполне естественно, т.к. высокопроизводительные вычислительные системы с рекордными параметрами в первую очередь применяются в сфере исследований. В то же время суперкомпьютеры, занимающие 201–500 места в Топ-500, в подавляющем большинстве относятся к области промышленности. Аналогичный российский список Топ-50 наиболее мощных систем⁴⁹ показывает, что только единицы суперкомпьютеров принадлежат промышленному сектору. То же касается и российских суперкомпьютеров: большинство из них обслуживает академический сектор.

Рисунок 44.
Топ-6 российских суперкомпьютеров



* Межведомственный суперкомпьютерный центр РАН

** Многоцелевой вычислительный комплекс НИЦ «Курчатовский институт»

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам МСЦ РАН, НИВЦ МГУ, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

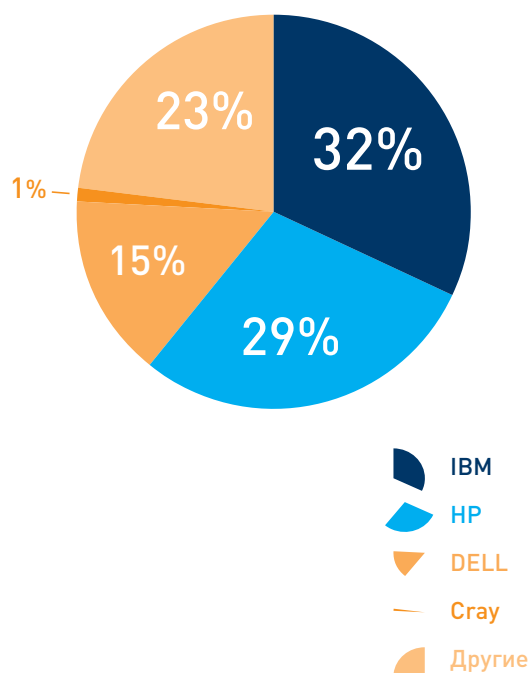
Рынок суперкомпьютерных технологий составляет порядка 30 млрд долл. и обладает достаточно высоким потенциалом роста (рост более 10% в год)⁵⁰. Крупные поставщики НРС-систем представлены на рис. 44.

⁴⁸ Согласно докладу Агентства национальных исследований Франции «La calcul intensif: technologie cle pour le futur», расчеты инженерных проблем (CAE и S&A — задачи) занимают около 10% времени работы суперкомпьютеров.

⁴⁹ Подробнее см <http://top50.supercomputers.ru/>.

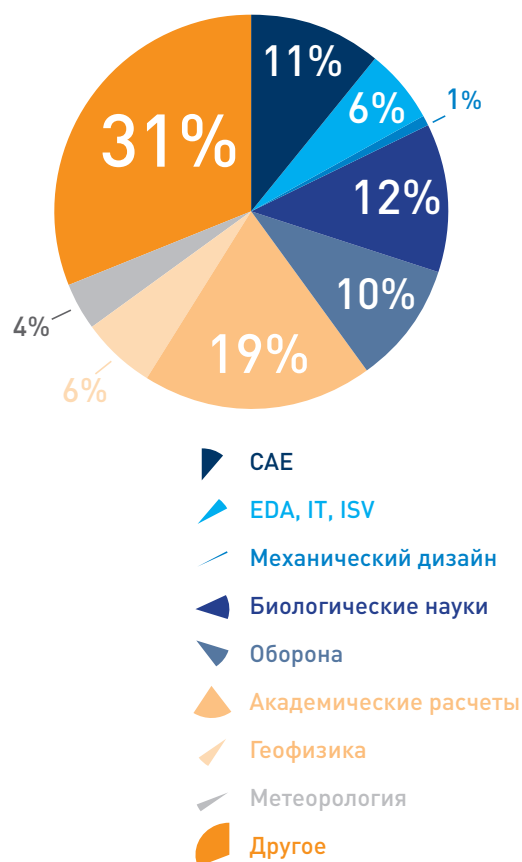
⁵⁰ Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IDC.

Рисунок 45.
Поставщики HPC-систем



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 46.
Структура рынка HPC-моделирования



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IDC

Объем рынка HPC-моделирования может быть косвенно оценен в 10,3 млрд долл., сегмент инженерного моделирования — около 2 млрд долл. (20%).

К числу решений в сфере аппаратного обеспечения для компьютерного инжиниринга следует отнести так называемые рабочие станции (workstation)⁵¹. Как правило, рабочие станции обладают следующими характеристиками:

- поддержкой высоконадежной памяти;
- большим количеством модулей памяти;
- многопроцессорностью (многоядерностью);
- возможностью отображения информации на нескольких мониторах;
- высокопроизводительной видеокартой.

Совокупная выручка участников рынка составляет около 7 млрд долл., а количество поставленных рабочих станций — чуть более одного миллиона. Темпы роста рынка невысоки — около 3–4% (2013 г.)⁵². Ключевым барьером роста выступает развитие облачных технологий и давление, ока-

⁵¹ Как правило, рабочие станции оптимизированы для визуализации и обработки различных типов данных, 3D-проектирования, математического моделирования и компьютерного инжиниринга. Тем не менее, происходит значительная унификация аппаратной части рабочих станций и персональных компьютеров. Эту тенденцию определяет широкий переход от RISC-процессоров к архитектуре x86-64.

⁵² Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам IDC.

зывается развитием ПК — high-end класса, характеристики которых приближаются к рабочим станциям. Предполагается, что в не столь отдаленной перспективе развитие облачных вычислений и рост мощности ПК будет оказывать еще более значительное давление на рынок специализированных рабочих станций. С другой стороны, наблюдается рост планшетных платформ как «тонких клиентов», предназначенных для мобильных пользователей, который, по всей видимости, является индикатором рождения нового сегмента мобильных решений для компьютерного инжиниринга.

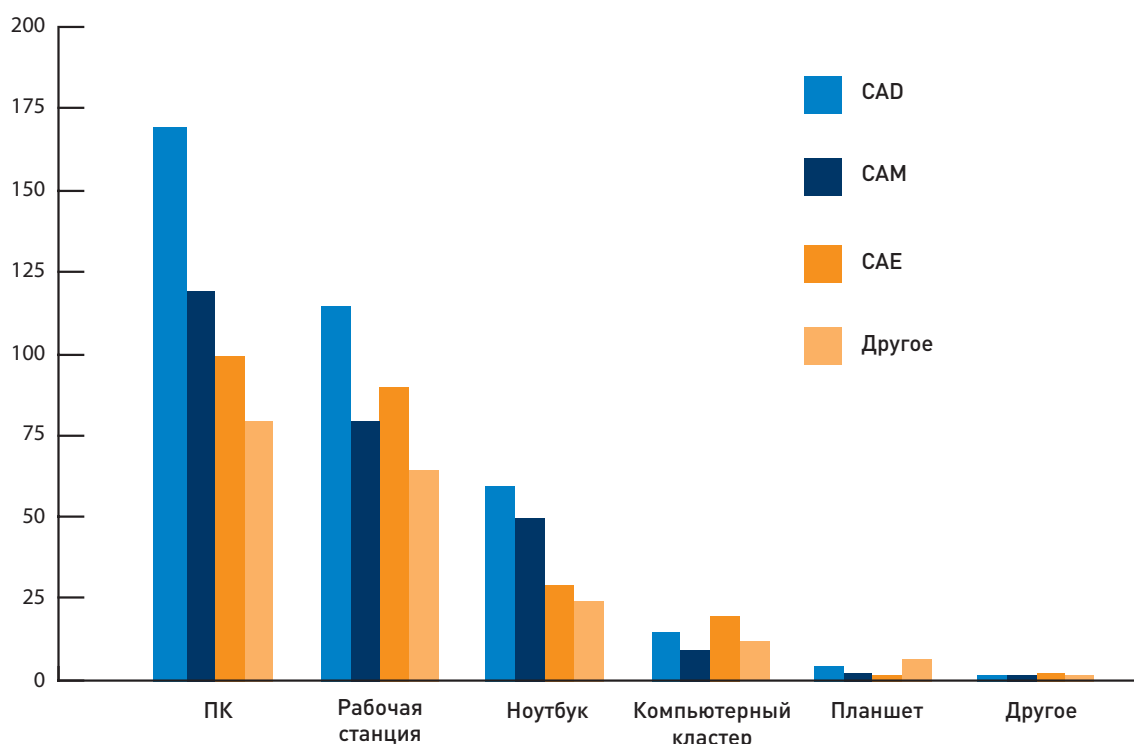
Коротко остановимся на возможных путях развития облачных сервисов как потенциально важной области распределенных вычислений. Облачные услуги в PLM-секторе могут предоставляться в рамках различных видов аппаратно-программных архитектур:

- клиент-серверная архитектура;
- компонент-модульная архитектура;
- сервис-ориентированная архитектура.

Клиент-серверные системы построены так, что база данных может находиться на центральном компьютере, функционирующем в качестве сервера, и совместно эксплуатироваться несколькими пользователями. Пользователи получают доступ к серверу через приложение клиента или сервера. Такая архитектура реализуется преимущественно в облачных сервисах — SaaS (Software as a Service, «программное обеспечение как сервис») и IaaS (Infrastructure as a Service, «инфраструктура как сервис»).

Рисунок 47.

Использование соответствующих аппаратных средств для работы в разных типах программных систем, случаи использования

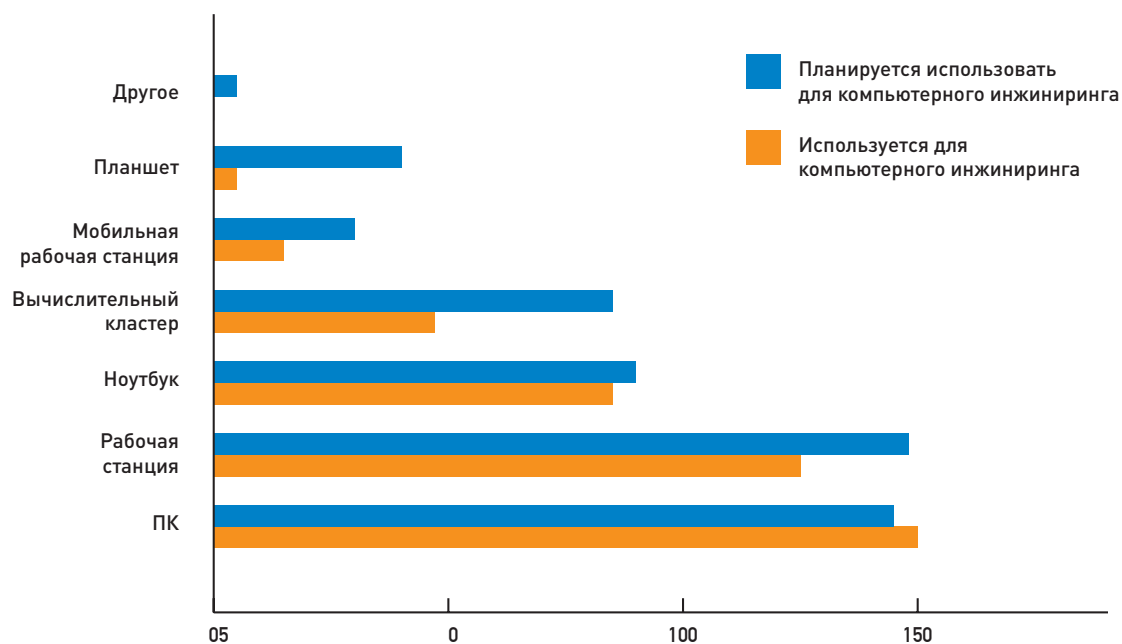


* Предполагается использование планшетов для просмотра результатов проектирования (документация, визуализация моделей, данные о продукте)

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам анкетирования организаций, 2014 г. N= 207

Рисунок 48.

Эксплуатируемое и планируемое к использованию аппаратное обеспечение



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам анкетирования организаций, 2014 г.

Компонент-модульная архитектура построена таким образом, что API (интерфейс программирования приложений) определяет функциональность, которую предоставляет программа (модуль), при этом API позволяет абстрагироваться от того, как именно эта функциональность реализована. Отдельные компоненты (функции) не могут быть использованы отдельно от приложения. Доступ к программному блоку осуществляется через строго определенный API.

Сервис-ориентированная архитектура (COA) реализуется как набор веб-служб, взаимодействующих по протоколу SOAP. Высокая детализация позволяет гибко отвечать на запросы пользователей и предоставлять только запрашиваемые функции. Соответственно, облачные PLM-системы, основанные на этой технологии, обладают высокой масштабируемостью и быстродействием. Пользователи COA — Siemens PLM Software, Oracle, PTC. Аппаратная часть облачных сервисов использует многопроцессорные системы, выполняющие большое количество относительно коротких операций и взаимодействующие с помощью передачи сообщений. Сервис-ориентированная архитектура PLM-систем представляет собой так называемую «третью компьютерную платформу»⁵³, включающую такие технологии, как облачные вычисления, мобильные технологии и др.

Опрос российских компаний, проведенный ЦСР «Северо-Запад», показал, что организациями используется весь спектр аппаратных решений. Компьютерные кластеры и рабочие станции наиболее востребованы для работы с тяжелыми CAE-системами (см. рис. 46). Спрос будет расти на мобильные аппаратные средства для решения широкого спектра инженерных задач (см. рис. 47).

В заключение отметим, что границы сегментов ПК, рабочих станций и суперкомпьютеров не являются жесткими. Более того, эти границы весьма подвижны в контексте очень высоких темпов роста производительности вычислительных систем, которая примерно удваивается каждые пять лет. Таким образом, непрерывный рост производительности процессоров позволяет отнести некоторые ПК к классу рабочих станций, а high-end рабочие станции к суперкомпьютерам. Но такое отнесение условно и является актуальным в данный момент времени, поскольку по его истечении, то, что было вчера супер ЭВМ, сегодня уже может являться многопроцессорной рабочей станцией.

⁵³ Этот термин предложила компания IDC — один из крупнейших аналитиков в сфере информационных технологий.

V. Прогноз рынка компьютерного инжиниринга⁵⁴

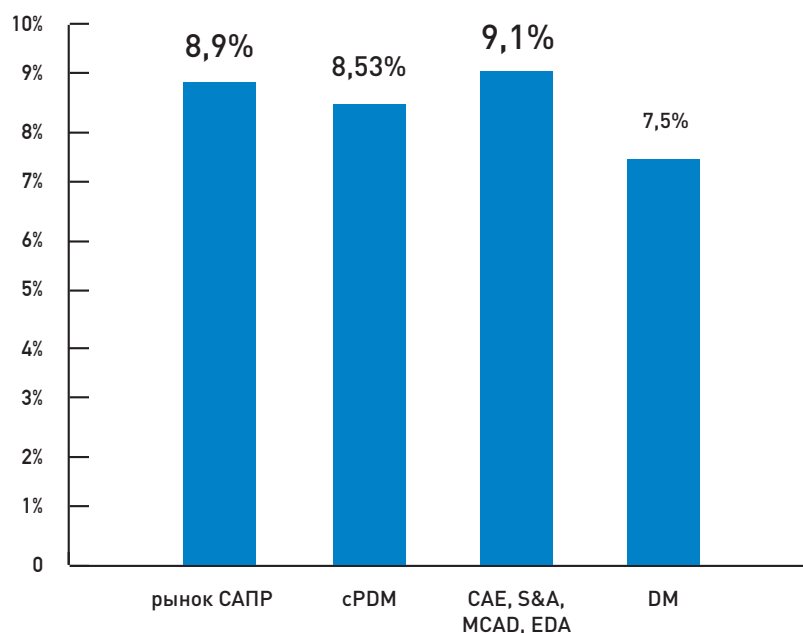
5.1. Прогноз глобального рынка компьютерного инжиниринга на 2014–2017 гг.

Динамика рынка ПО для компьютерного инжиниринга во многом определяется темпами технологических изменений в промышленных отраслях — освоением новых продуктов и оптимизацией существующих производственных цепочек. Тем не менее, темпы роста рынка за период 2014–2017 гг. будут превышать динамику мировой экономики в два-три раза. Это связано, во-первых, со стабильно высокими инвестициями крупнейших игроков — около 30% от выручки направляется на R&D, во-вторых, с растущим спросом со стороны развивающихся стран.

В 2014–2017 гг. ожидается ускорение темпов роста рынка инженерного ПО на 0,2%. Диспропорции роста отдельных его сегментов возрастут — продажи инструментов проектирования будут расти темпами более 9% в годовом выражении, в то время как рост cPDM не превысит значение для 2013 г. Опережающий рост сегмента «инструменты проектирования» отражает высокий спрос на средства инженерного анализа (CAE и S&A) и тенденцию снижения числа натуральных испытаний в рамках процессов разработки изделий.

Рисунок 49.

Среднегодовые темпы роста ключевых секторов рынка ПО для компьютерного инжиниринга в 2014–2017 гг.

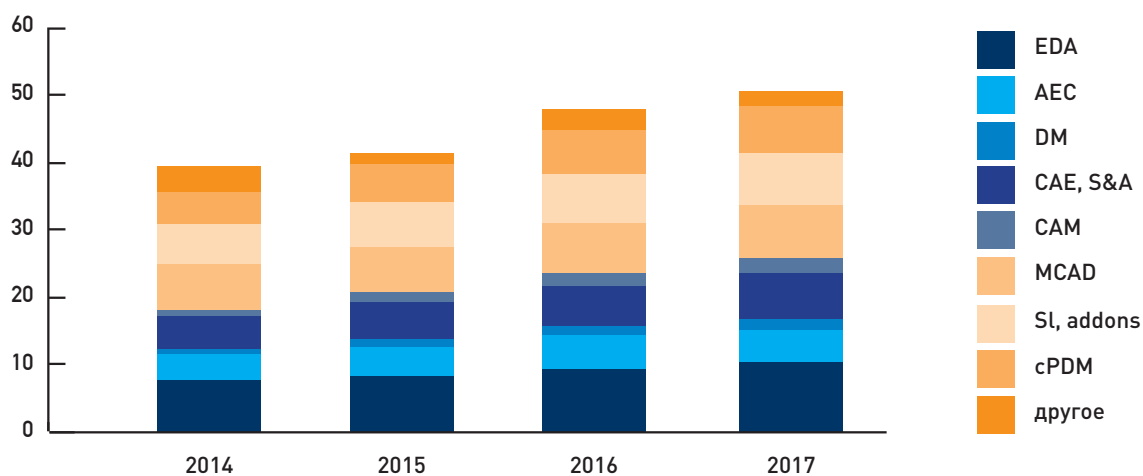


Источник: ЦСП «Северо-Запад» по материалам CIMdata

⁵⁴ Существует разнообразие подходов к маркетинговой оценке рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга: различаются методики сегментации рынка и итоговые объемные характеристики. Ключевыми аналитическими и маркетинговыми агентствами, которые систематически занимаются оценкой данного рынка, являются CIMData и ARC Advisory group. Данный раздел доклада в качестве фактологической базы использует оценки этих двух источников.

Рисунок 50.

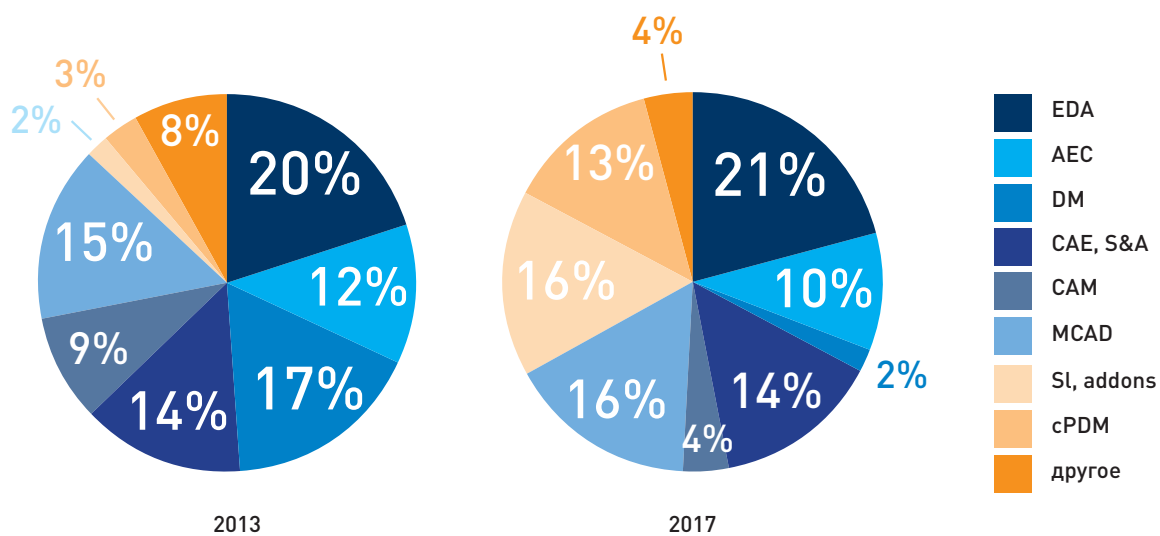
Динамика рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по ключевым сегментам, млрд долл., 2014–2017 гг.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам CIMdata

Рисунок 51.

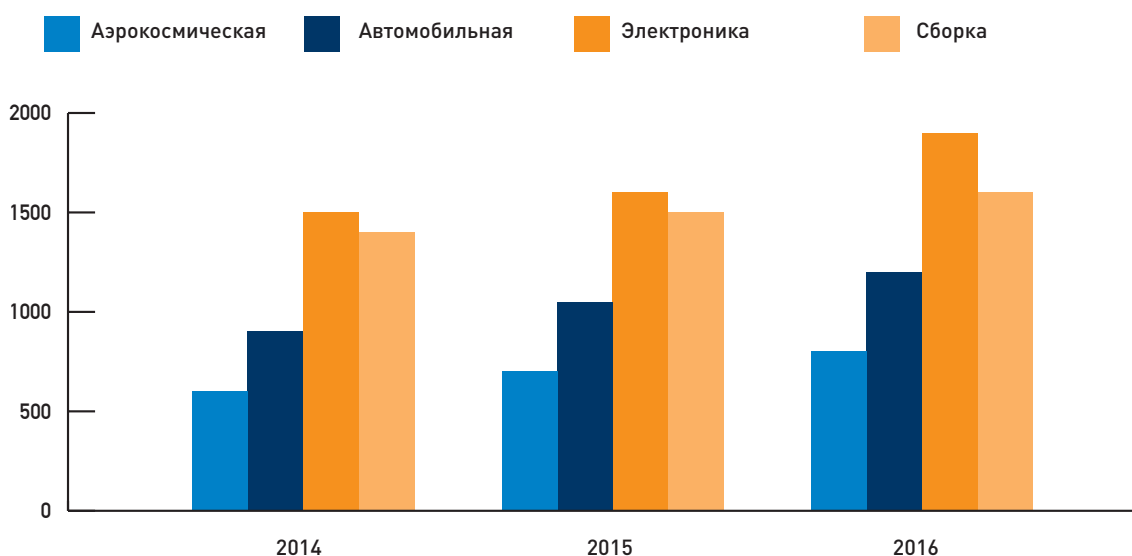
Прогноз структуры рынка программного обеспечения для компьютерного инжиниринга по основным продуктам на 2017 г.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам CIMdata

Рисунок 52.

Прогноз отраслевой структуры спроса на продукцию программного обеспечения для компьютерного инжиниринга в 2014–2016 гг.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам CIMdata

К 2017 г. рынок ПО для компьютерного инжиниринга достигнет 50 млрд долл., в 2014 г. приблизится к 40 млрд долл. Рост за период 2014–2017 гг. составит более 25 %. При этом структура рынка останется фактически неизменной.

В целом доли основных продуктов не претерпят значительных изменений. Наибольший рост будет наблюдаться в секторах CAE и S&A, а также в секторе интегрирующих продуктов и обновлений — к 2017 г. их доли соответственно увеличатся на 2 % и 1 % и достигнут 14 % и 16 %. Сегмент MCAD сократится на 1 %.

Спрос на продукцию специализированного ПО будет увеличиваться за счет сектора электронной промышленности. Объемы спроса традиционных потребителей продукции — аэрокосмической и автомобильной отраслей растут значительно медленнее. Ожидается снижение темпов роста продаж по сектору производства конечных изделий.

По данным ARC Advisory Group, автомобилестроение и авиастроение вновь станут передовыми потребителями комплексных решений в области инженерного ПО в ближайшее время, что связано с:

- ростом соответствующих секторов в развивающихся и (особенно) в странах БРИКС;
- выходом сектора на новую стадию роста — в том числе за счет внедрения новых продуктов (электромобили, композитные конструкции и т. д.).

Еще одним драйвером роста спроса на продукцию рынка компьютерного инжиниринга станет повышение спроса на использование мобильных устройств и соответствующего программного обеспечения в производственном процессе и при осуществлении удаленных операций, когда передаваемые между устройствами данные — не простая текстовая и графическая информация (сообщения и изображения), а комплексные инженерные модели, информация PDM платформ, данные о производственных процессах. Однако сегодня функциональность таких решений существенно ограничена, поскольку специализированные пакеты ПО должны соответствовать базовым системным требованиям, которые пока что невозможно обеспечить на широкой линейке мобильных устройств.

Сегодня одним из основных драйверов роста числа сложных технических систем является возникновение новых групп технологических сдвигов, связанных с распространением тенденций проникновения цифровых и информационно-коммуникационных технологий в промышленность — так называемой «четвертой промышленной революции».

Высокотехнологичные сектора, и не только они, впервые сталкиваются с новым масштабом сложности систем. К технологиям, порождающим новый уровень сложности систем, относятся автоматизация, интеллектуализация производств, переход к эпохе «виртуальных» заводов, сетевое взаимодействие посредством «интернета вещей», машино-машинных (M2M) и человеко-машинных (H2M) интерфейсов. Количество устройств «интернета вещей» (Internet of things, IoT), по оценкам Gartner Inc., в 2009 г. превысило порог в 1 млрд единиц. Cisco приводит цифры о более чем 6 млрд устройств, подключенных к IoT в 2008 г., а к 2015 г. прогнозирует рост их количества до 25 млрд единиц. По оценкам McKinsey Global Institute, потенциальный экономический эффект от «интернета вещей» составит от 2,7 млрд долл. до 6,8 млрд долл. ежегодно на период до 2025 г.

Сегодня мы наблюдаем активное проникновение информационных технологий нового поколения в промышленность, и этот процесс будет только прогрессировать, поскольку посредством новых решений радикально удешевляется и ускоряется производство. Например, уже существует индустриально ориентированное понятие «интернет вещей», содержание которого — в использовании интернета и компьютерных технологий для повышения эффективности производства и, как представляется в перспективе, ведет к созданию «промышленного интернета вещей» (от англ.: Manufacturing Internet of Things или MIoT). Термин MIoT описывает явление, основанное на применении технологий «интернета вещей» для производства, и охватывает аспекты, свойственные только производственной среде.

Другим примером, значительно расширяющим область применения компьютерного инжиниринга, является быстрое развитие технологий биоинжиниринга. Сложность биохимических систем и сопутствующие им масштабы потребностей как собственно в моделировании, так и в необходимых для моделирования вычислительных возможностях не позволяют достигнуть значимых результатов без использования суперкомпьютерных систем. К числу наиболее трудоемких и ресурсоемких задач относят моделирование молекулярной динамики и квантово-химическое моделирование. Среди основных программных продуктов в этой сфере можно назвать следующие: CAMD (computer-aided molecular design), CADD (computer-aided drug design). Предполагается, что роль биохимического и биофизического моделирования в процессе создания сложных технических систем будет возрастать, однако сегодня, как показывает мировая практика, насущной необходимостью является разработка, в первую очередь, фундаментальных моделей, удовлетворительно описывающих поведение биохимических и биофизических систем.

Важнейшим из драйверов роста рынка компьютерного инжиниринга является стремительно развивающийся инжиниринг материалов (materials engineering), о котором уже упоминалось выше и который опирается на моделирование молекулярной динамики, и квантово-химическое моделирование (нано — и метаматериалы). При этом качество полученных результатов в значительной мере зависит как от уровня математических моделей, так и от производительности вычислительных систем, что служит еще одним мощным стимулом развития вычислений на суперкомпьютерных системах. Чтобы подчеркнуть масштабы требуемых вычислительных ресурсов, укажем, что характерные расчеты свойств нового материала могут занимать несколько суток и недель на средней по производительности вычислительной системе. В целом, time-to-market (время коммерциализации) разработки нового материала составляет 15–20 лет, что создает значительные барьеры входа по капитальным вложениям и делает этот сектор привлекательным только для долгосрочных инвесторов (государство, крупные корпорации). Сокращение цикла разработки материалов на базе новых технологий моделирования — задача ближайшего времени.

На российском рынке экспансия PLM-решений ожидается в атомном машиностроении, ядерной энергетике и автомобилестроении, в сегменте транспортно-логистических систем. Определенный интерес к ним зарождается со стороны нефтегазовых и ритейловых предприятий на среднесрочном временном горизонте в 3–5 лет.

5.2. Проблемы и перспективы развития рынка компьютерного инжиниринга

Тенденции развития новых технологий в производственном секторе генерируют спрос на специализированные решения со стороны разработчиков программного обеспечения, однако существует ряд барьеров структурного и технологического характера, преодоление которых позволит вывести рынок на стадию более активного роста.

Среди основных сдерживающих рост рынка факторов следует назвать следующие нерешенные технологические проблемы:

- Недостаточность данных о материалах и комплексных математических моделей для цифрового проектирования материалов. Есть данные о поведении в разных условиях (под нагрузкой и проч.) для традиционных материалов, но даже эти базы данных несовершенны и требуют дополнения. Сейчас стоят задачи: 1) формирования такой базы для появляющихся и новых материалов; 2) сложного моделирования в материаловедении (например, программа США — Materials Genome Initiative). Сегодня в проектировании на уровне материалов коммерчески доступны лишь относительно простые решения.
- Существующие ПО для проектирования успешно решают задачи с однородными системами, однако плохо работают с комплексной геометрией и физикой (текстура поверхности, внутренняя структура, сочетание разных типов материалов, сочетание разных агрегатных состояний вещества).
- Задачи разработки новых материалов относятся к категории междисциплинарных, а значит, и вычислительно ресурсоемких, что требует как разработки новых вычислительных технологий, так и использования мощных суперЭВМ. Например, анализ сложного поведения образца при деформации может занять несколько дней или недель расчетов даже на базе многопроцессорного вычислителя.
- Кадровый дефицит. Передовые и масштабные инженерные расчеты требуют от современного инженера многих компетенций — от знания новейших моделей физических явлений и процессов до владения передовыми компьютерными (суперкомпьютерными) технологиями, и выходят далеко за пределы круга знаний выпускника — магистра подавляющего большинства российских технических вузов. К этому следует добавить и упоминавшуюся выше проблему общего падения уровня базового естественнонаучного фундамента инженерного образования.

В связи с задачами, стоящими перед современной промышленностью и перед разработчиками ПО для математического моделирования в инженерных отраслях, на данный момент требуется оптимизация средств проектирования в следующих направлениях:

- совершенствование средств анализа и техник моделирования сложных сетевых производственных систем для осуществления комплексной цифровой интеграции производства;
- повышение функциональности ПО для инженерного анализа и проектирования с одновременным упрощением пользовательских интерфейсов;
- разработка программных средств для проектирования объектов из разных типов материалов для реализации цифрового моделирования материалов с заданными свойствами (умные материалы), масштабирования мультиматериального аддитивного производства.

К числу одного из перспективных рынков инженерного программного обеспечения следует отнести сегмент средств молекулярного и квантово-химического моделирования. Среди основных разработчиков — лаборатории крупных университетов (Йельский, Калифорнийский, Московский), отдельные проектные команды (например, Gaussian), представители рынка CAx (Accerlys, Fujitsu), а также специализированные производители, предоставляющие проприетарное программное обеспечение (Equinox, Schrödinger, Wavefunction, inc. и др.). Кроме того, большую роль играет свободное программное обеспечение (GPL, BSD). Приблизительное соотношение программных продуктов по виду лицензий следующее: 37% — свободное ПО, 37% — академическое,

26 % — коммерческая лицензия. Это показывает, что определяющую роль играют академические и околоакадемические разработчики, ориентирующиеся в первую очередь на государственное и безвозмездное финансирование. Однако сегмент имеет значительный потенциал роста, что подтверждается интересом крупных инвесторов. Так, фонд Cascade Investment LLC, одним из руководителей которого является Билл Гейтс, вложил 20 млн долл. в Schrödinger, LLC.

Прогнозируемые тенденции развития ПО для компьютерного инжиниринга:

- значительное увеличение встроенных опций и инструментов;
- упрощение интерфейсов;
- параллелизация, которая позволяет ускорять разработку — на основе использования многопроцессорных вычислительных систем и технологий распределенных вычислительных сред (грид-среды), и осуществлять совместные разработки в географически распределенной среде;
- определяемые пользователем вариации операций, оптимизация программного продукта под ту или иную инженерную (исследовательскую) задачу;
- активное взаимодействие разработчиков с пользователями и интеграция запросов в готовый продукт;
- переход к мультифизическим (междисциплинарным) задачам, включающим, например, взаимодействие разных типов материалов, расчетные модели, объединяющие, например, как указывалось выше, гидродинамические, твердотельные и другие модели описания изделий и систем;
- программирование с открытым кодом и свободно распространяемое программное обеспечение без ущерба функциональным характеристикам, в том числе — на основе облачных технологий.

5.3. Вопросы компьютерной безопасности

При обсуждении темы компьютерного инжиниринга невозможно обойти вниманием такую проблему, как безопасность. Проникновение компьютерных технологий во все сферы жизни и деятельности человека, в системы жизнеобеспечения и инфраструктуры делает сегодня проблему компьютерной безопасности особенно актуальной. Значительно выросший в последнее время размер потенциального ущерба, который может быть нанесен в результате спланированной кибератаки, на корпоративном, национальном или даже глобальном уровнях приближается или близок, как в случае применения оружия массового поражения, к категории «неприемлемого ущерба». Из года в год растет и количество преступлений, связанных с информационными и компьютерными системами. Кроме криминальных группировок и отдельных преступников, взломом компьютерных систем занимаются разведсообщества разных стран и крупные корпорации. Понятия кибертерроризм, кибершпионаж, киберпреступность, кибероружие прочно вошли в обиход и вызывают озабоченность и ответные действия на уровне государств⁵⁵.

Можно выделить два основных вида угроз, связанных с компьютерной безопасностью:

- кража информации;
- намеренный вывод из строя технических систем и объектов инфраструктуры.

В связи с цифровизацией всех стадий жизненного цикла продуктов и автоматизацией производства, оба этих вида угроз получили новое наполнение и возможности для реализации.

Так, получив доступ к комплексной цифровой модели продукта, включая технологические коды и исполнительные модули для АСУ ТП, станков ЧПУ и пр., злоумышленники получают практически всю необходимую для производства информацию в компактном виде. Развитие облачных технологий также потенциально повышает уязвимость данных.

⁵⁵ Директива по кибербезопасности ЕС, 2013 г., Директива Президента США по безопасности и надежности критических инфраструктур, 2013 г., и др.

Недокументированные функции (закладки), «черные входы» в программном обеспечении, контроллерах, микросхемах открывают широкие возможности для нарушения нормальной работы любых сложных систем и производственных линий по удаленной команде извне.

Развитие «интернета вещей» делает сценарии компьютерных преступлений еще более угрожающими, а опасности манипулирования с использованием технологий Big Data или «умных сетей» еще не осознаны в достаточной мере даже в экспертном сообществе. Новые технологии часто несут новые уязвимости в части компьютерной безопасности.

В контексте компьютерного инжиниринга можно выделить следующие направления компьютерной безопасности:

- разработка и интеграция специальных решений в области безопасности на стадии проектирования компонентов, продуктов и систем, реализация концепции встроенной безопасности;
- разработка и внедрения систем безопасности для существующих систем;
- защита собственно инструментов компьютерного инжиниринга и его продуктов в процессе проектирования.

По данным исследователей из Института программного инжиниринга Университета Карнеги — Меллон, США, проектирование подсистем безопасности на ранней стадии жизненного цикла разработки системы (на стадии подготовки требований) обойдется в 5 раз дешевле варианта, когда вопросы безопасности начинают решать на заключительном этапе разработки системы. По данным компании Microsoft, учет требований безопасности на всех этапах жизненного цикла разработки операционной системы Vista в результате привел к снижению общего уровня уязвимости на 45%.

Ежегодно в мире крадется интеллектуальной собственности на сумму около \$ 1 триллиона⁵⁶.

В связи с возросшим объемом задач по защите информации и систем, а также растущими требованиями к безопасности со стороны заказчиков, сегодня можно говорить о возникновении отдельного направления в инжиниринге, связанного с компьютерной безопасностью.

⁵⁶ Gartner & McAfee, Jan 2009

VI. Государственная политика в области компьютерного инжиниринга

6.1. Рынок компьютерного инжиниринга как предмет государственного регулирования

Технологии компьютерного инжиниринга сегодня играют ключевую роль как в процессах комплексного обновления и оптимизации высокотехнологичных отраслей промышленности, так и в новых отраслях по созданию высокотехнологичных продуктов. Для решения задачи промышленного обновления в ряде стран технологии компьютерного проектирования и инжиниринга выделены в специальный предмет управления и поддержки.

Технологии компьютерного инжиниринга являются одним из распространенных объектов управления в национальных документах технологического развития, исследовательских и прикладных кооперационных проектах многих стран.

Укажем причины выделения в специальную область:

- межотраслевое значение сектора и невозможность развития в одном из отраслевых блоках (рассматриваемая группа технологий является актуальной для целого ряда промышленных отраслей);
- высокий потенциал экономической и ресурсной эффективности;
- высокий потенциал возрождения старых отраслей через новые технологии;
- возможность занять лидирующие позиции на зарождающихся самостоятельных рынках продуктов с высокой добавленной стоимостью на стыке индустриально-технологических и научных вопросов;
- высокий спрос на новые классы технологических решений в связи с реструктуризацией технологической базы производственного сектора, углубление связей промышленности и сектора ИКТ;
- форсирование роста ряда смежных рынков – таких как рынок суперкомпьютеров, рынок высокопроизводительных вычислений, рынок облачных сервисов, которые также являются приоритетными предметами государственного регулирования.

Все проекты Евросоюза, одним из направлений которых является компьютерный инжиниринг, интегрированы в инициативу «Производства будущего» (проекты запущены в 2010 г.) и в деятельность европейских технологических платформ, в первую очередь, платформы *Manufacture*, основным направлением работы которой является формирование архитектуры производства будущего. Одним из результатов инициативы станет создание производственной информационной системы на основе стандарта обмена информацией, который позволит осуществлять сетевую передачу производственных данных между отдельными лицами и устройствами, поэтому проекты ориентированы в целом на решение следующих задач: оптимизацию алгоритмов числового программного управления, включая программные логические контроллеры и внедрение технологий *SCADA*;

- оптимизацию алгоритмов числового программного управления, включая программные логические контроллеры и внедрение технологий SCADA;
- усовершенствование системы управления производственным процессом (MES), обеспечивающее комплексную автоматизацию производства с одновременным повышением энерго- и ресурсоэффективности;
- сокращение времени вывода на рынок и масштабирования продукта;
- сокращение затрат на обслуживание жизненного цикла продукта;

внедрение единых источников информации о производственном процессе от разрозненных систем управления производствами в рамках горизонтальных и вертикальных моделей управления жизненным циклом (PLM, ERP).

В связи с этими обстоятельствами финансирование сектора в рамках 7-й рамочной программы Евросоюза распределено между бюджетами финансирования на проекты по направлению «Информационно-коммуникационные технологии» и «Нанотехнологии, материалы, новые технологии производства» и составляет более 600 млн евро, которые напрямую или косвенно стимулируют развитие компьютерного инжиниринга и комплексных решений в области управления жизненным циклом.

Государственная политика по поддержке сектора в США была запущена в начале 1990-х годов и сегодня реализуется в основном через инициативу Advanced Manufacturing Partnership. В качестве смежной области политики можно выделить программы по поддержке инновационных научно-исследовательских и прикладных проектных инжиниринговых центров. Финансирование происходит коммерческим сектором, технологическое движение обеспечивается за счет инжиниринговых центров Национального научного Фонда, а также разработок лабораторий Министерства обороны США, которое является одним из крупнейших держателей компетенций в сфере математического и компьютерного моделирования технических систем.

Отдельно следует выделить инициативу Президента США в сфере цифрового моделирования материалов – Materials Genome Initiative, направленную на существенное сокращение цикла разработки новых материалов и выходы конечных продуктов на рынок, а также на сопутствующее совершенствование средств компьютерного инжиниринга материалов⁵⁷.

В целом стоит отметить, что политика поддержки сектора компьютерного инжиниринга реализуется в форме комплексных коллаборационных проектов прикладных разработок либо на базе построения инновационных инфраструктур. В качестве отдельного целевого направления поддержки сектор не выделяется ни в США, ни в Европе. Причиной этому является его межотраслевой характер, проникновение компьютерного инжиниринга во все этапы создания технической системы. Специфика проектов поддержки состоит также в их прикладной ориентированности на решение конкретных задач (в основном – с целью обеспечения возможности удаленного многопользовательского взаимодействия и улучшения алгоритмов связей между устройствами и программами).

Особо следует отметить запуск в 2013 г. отдельных программ и инициатив по кибербезопасности в Евросоюзе и США.

⁵⁷ Подробнее об инициативе см. Materials Innovation. Электронный ресурс. <http://materialsinnovation.tms.org/genome.aspx>

6.2. Обзор государственных программ поддержки целевых рынков в России

В России политика по поддержке компьютерного инжиниринга находится на стадии запуска: в предыдущие годы проведена работа по включению в повестку национальной инновационной и промышленной политики общего сектора инжиниринга как одного из ключевых в процессе системного обновления производственного сектора.

В настоящее время ведомством, стимулирующим развитие компьютерного инжиниринга, является Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, по инициативе которого в 2013-2014 гг. был принят ряд стратегически значимых документов, в частности, План мероприятий («дорожная карта») в области инжиниринга и промышленного дизайна, а также подпрограмма «Развитие инжиниринговой деятельности и промышленного дизайна» в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности»⁵⁸.

В соответствии с протоколом заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 16 сентября 2014 года № 5, программное обеспечение в сфере сопровождения жизненного цикла создания промышленных продуктов вошло в состав новых производственных технологий, а его разработка должна стать частью национальной технологической инициативы «Новые производственные технологии». Отдельным пунктом протокола является решение о разработке подпрограммы «Разработка отечественного инженерного программного обеспечения», проект которой должен быть подготовлен Минпромторгом России совместно с Минкомсвязью России до 2 июня 2016 г.

В Таблице 14 приведены ключевые государственные инструменты (инициативы и программы) поддержки отрасли инжиниринга с 2010 г. до настоящего времени и перспективе по 2018 г.

Таблица 14

Инициативы и программы поддержки отрасли инжиниринга со стороны органов государственной власти и институтов развития в России с 2010 по 2018 гг.

Документ	Состав мероприятий
Министерство промышленности и торговли Российской Федерации	
План мероприятий («дорожная карта») в области инжиниринга и промышленного дизайна	<p>Комплекс инструментов государственной поддержки:</p> <ul style="list-style-type: none"> создание совета (ассоциации) для координации действий и открытого обсуждения проблем и необходимых действий с экспертным сообществом; формирование открытого реестра компаний-участников рынка инжиниринговых услуг и оборудования, применяемого при оказании инжиниринговых услуг; разработка мер налогового стимулирования; разработка мер финансирования на базе таких организаций, как государственная корпорация «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)», ОАО «Российская венчурная компания», ФГАУ «Российский фонд технологического развития», некоммерческая организация Фонд развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий, ОАО «РОСНАНО»; разработка мер стимулирования спроса на продукцию национальных поставщиков оборудования и услуг в области инжиниринга и промышленного дизайна.

⁵⁸ Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 июля 2013 г. № 1300-р. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 года №328.

Документ	Состав мероприятий
<p>Подпрограмма «Развитие инжиниринговой деятельности и промышленного дизайна» в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности»</p>	<p>Мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> • совершенствование государственного регулирования индустрии инжиниринга и промышленного дизайна; • стимулирование создания и развития ИЦ на базе российских вузов и научных организаций, находящихся в ведении ФОИВ; • стимулирование создания и обеспечения деятельности региональных центров инжиниринга для субъектов МСП; • стимулирование создания и развития ИЦ на базе частных компаний; • развитие компьютерного инжиниринга; • создание и развитие механизмов координации деятельности организаций индустрии инжиниринга и промышленного дизайна.
<p>Правила предоставления субсидий из федерального бюджета российским организациям на компенсацию части затрат на реализацию пилотных проектов в области инжиниринга и промышленного дизайна в рамках подпрограммы «Развитие инжиниринговой деятельности и промышленного дизайна» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», утвержденные Постановлением Правительства Российской Федерации от 22 февраля 2014 г. № 134</p>	<p>В Правилах предусматривается предоставление из федерального бюджета субсидий на компенсацию части затрат на уплату процентов по кредитам, полученным в 2014 - 2016 годах в российских кредитных организациях или в государственной корпорации «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)», на реализацию пилотных проектов в области инжиниринга и промышленного дизайна.</p>
<p>Правила предоставления субсидий из федерального бюджета российским операторам услуг на возмещение части затрат на приобретение специализированного инжинирингового программного обеспечения с целью повышения доступности специализированного инжинирингового программного обеспечения для конечных пользователей индустрии инжиниринга и промышленного дизайна в рамках подпрограммы «Развитие инжиниринговой деятельности и промышленного дизайна» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 14 ноября 2014 г. № 1200</p>	<p>Субсидии предоставляются при условии предоставления операторами услуг скидки конечным пользователям индустрии инжиниринга и промышленного дизайна при приобретении ими по лицензионным договорам специализированного инжинирингового программного обеспечения.</p> <p>Субсидии предоставляются операторам, прошедшим отбор на право получения субсидии. Отбор проводится не менее одного раза в год Министерством промышленности и торговли Российской Федерации.</p>

Документ	Состав мероприятий
<p>Приказ Минпромторга России от 9 апреля 2014 г. № 653 «Об утверждении Плана мероприятий, направленных на разработку стандартов, нормативов, правил в области инжиниринга»</p>	<p>Разработка стандартов в области инжиниринга реализуется во исполнение пункта 9 Плана мероприятий («дорожной карты») в области инжиниринга и промышленного дизайна в рамках мероприятия Подпрограммы «Разработка новых (пересмотр, изменения) стандартов в области инжиниринга и промышленного дизайна».</p>
<p>Совместный приказ Минпромторга России и Росстата от 18 сентября 2014 г. № 1838/570 «Об утверждении Плана мероприятий по разработке и созданию системы мониторинга рынка инжиниринговых услуг и промышленного дизайна, включая организацию федерального статистического наблюдения»</p>	<p>Формирование комплексной системы мониторинга индустрии инжиниринга и промышленного дизайна, включая организацию федерального статистического наблюдения.</p>
Министерство образования и науки Российской Федерации	
<p>Постановление Правительства Российской Федерации № 218 от 9 апреля 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства»</p>	<p>Выделение субсидий производственным предприятиям для финансирования комплексных проектов организации высокотехнологичного производства, выполняемых совместно производственными предприятиями и высшими учебными заведениями. Субсидия предоставляется на конкурсной основе. Срок предоставления субсидии от 1 до 3-х лет. Объем финансирования до 100 млн рублей в год. Предприятие должно вложить в проект средства в объеме не менее 100% от размера субсидии. Конкурсы на распределение субсидий проводятся ежегодно с 2010 г. В 2013 г. из 262 заявок 30 были признаны победителями. Общий размер запрошенных средств субсидии составил более 4,5 млрд рублей. По результатам предыдущих конкурсов реализуется поддержка 158 проектов. Общий размер выделенных средств федерального бюджета составляет более 28 млрд рублей.</p>
<p>Постановление Правительства Российской Федерации № 218 от 9 апреля 2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства» Федеральная целевая программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 гг.», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 21 мая 2013 г. № 426</p>	<p>Основная цель заключается в формировании конкурентоспособного и эффективно функционирующего сектора исследований и разработок в области прикладных исследований, включая следующие группы мероприятий, которые непосредственным образом связаны с поддержкой развития отрасли компьютерного инжиниринга.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Мероприятие 3.1 «Обеспечение развития материально-технической инфраструктуры», которая включает в себя, в частности, Мероприятие 3.1.2 «Поддержка и развитие Центров коллективного пользования научным оборудованием».е 3.1 «Обеспечение развития материально-технической инфраструктуры», которая включает в себя, в частности, Мероприятие 3.1.2 «Поддержка и развитие Центров коллективного пользования научным оборудованием»; Центры коллективного пользования (ЦКП) – это научно-организационные структуры, созданные в федеральных научно-исследовательских организациях и высших учебных заведениях, располагающие сложным дорогостоящим исследовательским оборудованием, высококвалифицированными кадрами и обеспечивающие проведение исследований и оказание услуг в интересах этих организаций и учебных заведений, а также внешних пользователей. • Мероприятие 3.2 «Обеспечение развития информационной инфраструктуры».

Документ	Состав мероприятий
<p>ПРОТОКОЛ заседания межведомственной рабочей группы по реализации при ведущих инженерных и технических вузах пилотных проектов по созданию инжиниринговых центров и компаний от 16 октября 2013 г.</p>	<p>Совместный проект Минобрнауки России и Минпромторга России по созданию и развитию в Российской Федерации инжиниринговых центров на базе ведущих технических вузов страны. Проведенный конкурс выявил 11 вузов-победителей, которые начали работы в 2013 г. В их числе: НИТУ «МИСиС», НИЯУ «МИФИ», МФТИ, УрФУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, КНИТУ, КНИТУ-КАИ, ИГТУ, СПбПУ, ВлГУ, МГТУ «СТАНКИН».</p> <p>Среди победителей – единственный в России Инжиниринговый центр «Центр компьютерного инжиниринга» на базе СПбГПУ, который в марте 2014 г. на XX Международной выставке-конгрессе «Высокие технологии. Инновации. Инвестиции» завоевал Гран-при в номинации «Лучший инновационно-технологический центр» (этот проект был представлен на конкурс совместно тремя организациями: ФГБОУ ВПО СПбГПУ, ООО «Лаборатория «Вычислительная механика» и ООО «Политех-Инжиниринг»).</p>
Министерство труда и социальной защиты Российской Федерации	
<p>Протоколы проведения аукционов на выполнение работ по разработке профессиональных стандартов в области инжиниринга и промдизайна</p>	<p>Разработке подлежат следующие профстандарты: дизайнер малых форм, дизайнер транспортных средств и др.</p>
Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии	
<p>Приказ Росстандарта от 18.08.2014 № 1284 «О создании Проектного технического комитета по стандартизации «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии»</p>	<p>Организацией, ведущей секретариат ТК, является ОАО «Т-Платформы»</p>
ГК «Банк развития и внешнеэкономической деятельности (Внешэкономбанк)»	
<p>В рамках проектной деятельности ГК</p>	<p>Внешэкономбанк финансирует крупные инвестиционные проекты, направленные на развитие инфраструктуры и реализацию инновационных проектов. Проект должен соответствовать отраслевым приоритетам Внешэкономбанка, к которым относятся, в том числе атомная промышленность, оборонно-промышленный комплекс, стратегические компьютерные технологии и программное обеспечение, информационно-коммуникационные системы.</p> <p>Общая стоимость проекта должна составлять не менее 2 млрд рублей. Минимальный размер кредита Внешэкономбанка клиенту – 1 млрд рублей. Срок окупаемости проекта не менее 5 лет.</p> <p>Внешэкономбанк участвует в реализации 66 проектов, направленных на развитие инноваций, реализуемых в 21 отрасли промышленности, в сфере инфраструктуры и в оборонно-промышленном комплексе.</p>

Документ	Состав мероприятий
ОАО «Российская венчурная компания»	
Программа «Развитие сервисной инфраструктуры инновационно-венчурной экосистемы»	<p>Одной из целей программы является сокращение инфраструктурных издержек инновационных компаний для повышения их конкурентоспособности на глобальном рынке. Для достижения цели планируется развитие инфраструктурных компаний, предоставляющих универсальные услуги для инновационных компаний.</p> <p>Программа реализуется в партнерстве с ОАО «РОСНАНО», Фондом развития Центра разработки и коммерциализации новых технологий (Фонд «Сколково»), Фондом содействия развитию малых форм предпринимательства в научно-технической сфере</p>
Программа «Развитие сервисной инфраструктуры инновационно-венчурной экосистемы» ОАО «РОСНАНО»	
Программа по созданию технологических инжиниринговых компаний (ТИК)	<p>Фонд заинтересован в финансировании ТИК, занимающихся технологическим инжинирингом (продуктовым инжинирингом) и разрабатывающих оригинальные технологические решения, которые впоследствии могут стать финальным продуктом, либо могут быть встроены в технологическую цепочку производства финального продукта.</p> <p>Фонд осуществляет финансирование проектов через участие в уставном капитале или через предоставление денежных средств в форме льготного займа. Общий объем финансирования со стороны Фонда не может превышать 75% от заявленного бюджета проекта. Выбор ТИК для финансирования осуществляется на конкурсной основе.</p> <p>В 2011–2012 гг. Фонд провел 2 открытых конкурса по отбору проектов создания технологических инжиниринговых компаний. По результатам конкурсов были отобраны три проекта. В июне-июле 2013 г. состоялся первый отбор заявок в рамках тематического лота «Создание инжинирингового центра по разработке и прототипированию изделий из искусственно созданных композиционных материалов»</p>
ФГАУ «Российский фонд технологического развития»	
В рамках проектной деятельности	<p>Российский фонд технологического развития занимается финансированием прикладных научно-технических проектов, направленных на создание высокотехнологичных производств. Проекты должны осуществляться при поддержке научных учреждений государственных академий наук. Финансирование предоставляется на конкурсной основе. Размер займа, предоставляемого Фондом, составляет от 30 до 100 млн рублей. Сумма чистых активов заявителя должна превышать сумму запрашиваемого займа.</p> <p>В 2013 г. поступило 25 заявок, из них на этап экспертизы были допущены 12.</p>

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам открытых источников

Одной из перспективных организационных форм, на базе которых возможно разворачивание комплекса проектов «нового типа», аналогичных тем, которые реализуются за рубежом, являются российские технологические платформы. Обзор деятельности технологических платформ, близких по содержанию к проблематике компьютерного инжиниринга и смежным технологиям, представлен в табл. 15.

Таблица 15

Обзор направлений деятельности российских технологических платформ, на базе которых возможен запуск проектов поддержки компьютерного инжиниринга

Название	Релевантные направления деятельности
Национальная суперкомпьютерная технологическая платформа	Вычислительная математика и математическое моделирование на базе суперЭВМ, грид-сетей и систем облачных вычислений
Технологии мехатроники, встраиваемых систем управления, радиочастотной идентификации и роботостроение	<ul style="list-style-type: none"> • Технология непрерывной информационной поддержки жизненного цикла изделий: создания, эксплуатации, ремонта и утилизации с использованием 2D- и 3D-моделей и 6D-технологий. • Технология создания и применения единого виртуального пространства, основанная на использовании методов математического и имитационного моделирования и информационно-моделирующей среды. • Группа технологий ситуационного управления и информационной поддержки принимаемых решений на основе единого виртуального пространства. • Группа технологий интеграции сложных технических систем, в том числе диагностических, измерительных и тренажерных средств на основе взаимодействия открытых систем на прикладном уровне и уровне передачи данных. • Базирующаяся на перечисленных выше технологиях инновационная технология планирования и организации процесса подготовки специалистов

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам технологических платформ

Альтернативной формой реализации комплексных проектов в области компьютерного инжиниринга являются проектные консорциумы. В настоящее время Минпромторг России совместно с Минкомсвязи России, другими федеральными ведомствами и институтами развития приступили к формированию предложений по созданию проектных консорциумов в области новых производственных технологий, в частности, в области разработки отечественного программного обеспечения в сфере сопровождения жизненного цикла создания промышленных продуктов⁵⁹.

В таблице 16 представлен порядок поддержки IT-проектов, в том числе в сфере разработки инженерных программных решений, федеральными институтами развития

⁵⁹ В соответствии с решениями по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 16.09.2014 г. Электронный ресурс. URL: <http://government.ru/orders/14911/> (дата обращения: 04.12.2014.)

Порядок поддержки IT-проектов федеральными институтами развития

Порядок поддержки IT-проектов, в том числе в сфере разработки инженерных программных решений, федеральными институтами развития	Процедура отбора	Требования к проектам	Стадия развития проекта и объемы соинвестирования	Доля в структуре собственности компании	Реализованные проекты в сфере инженерного ПО
Росинфокоминвест	<ol style="list-style-type: none"> 1. УК Лидер (доверительный управляющий резервами Фонда) отбирает партнеров 2. Партнеры представляют проекты в УК Лидер 3. УК Лидер принимает решение о соинвестировании 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Соответствие требованиям по №127-ФЗ 2. Проект = ИКТ-организация 3. Норма доходности >50% 4. Срок окупаемости до 4 лет 5. 3 письма от потенциальных потребителей 	От 8 до 100 млн руб. на стадии round A	50%	Нет
ФРИИ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Регистрация на сайте ФРИИ 2. Заполнение заявки 3. Заполнение анкеты 4. Заполнение реквизитов компании 5. Подписание документов 6. Начало программы 	<ul style="list-style-type: none"> • Наличие команды с бизнес опытом и компетенциями в маркетинге, IT и развитии бизнеса, юр. лицо, готовый продукт, V рынка присутствия = \$100 млн 	От 1,5 до 300 млн руб. в зависимости от стадии (Pre-seed, seed, round A)	От 7 до 50% в зависимости от стадии	Нет
Сколково	<ol style="list-style-type: none"> 1. Презентация по проекту – решение Фонда о принятии к рассмотрению 2. Грантовый меморандум – проверка Фондом комплектности 3. Проверка и внешняя экспертиза Фондом – результаты рассмотрения Участнику 4. Заседание Грантового комитета и решение о выделении гранта 	<p>Требования различаются в зависимости от стадии по направлениям:</p> <ul style="list-style-type: none"> • R&D • Продукт: маркетинг и внедрение • Охрана ИС • Кадры • Инвестиции и финансовые 	От 5 до 300 млн руб. в зависимости от стадии (идея, pre-seed, seed, round A)	Не предполагается (грантовые средства являются безвозмездными и безвозвратными)	6 продуктов на рынке, в том числе продукты Fidesys, Datadvance, SDI Solutions. 16 компаний-участников* с компетенциями в разработке инженерного Datadvance, SDI Solutions. 16 компаний-участников* с компетенциями в разработке инженерного
* Энжи, Альтаир, СиРус, Лаборатория Кинтех, НТЦ АПМ, Рок Флоу Динамикс, Композит Солюшен, Каде-сис, СЗД Лабс, Морские инновации, Матдизайн, Экстремальное прикладное ПО, Центр вычислительного моделирования, SDI Solution, Datadvance, Фидесис					

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам Росинфокоминвест, ФРИИ, Сколково

VII. Проблемы российского рынка, требующие государственного участия

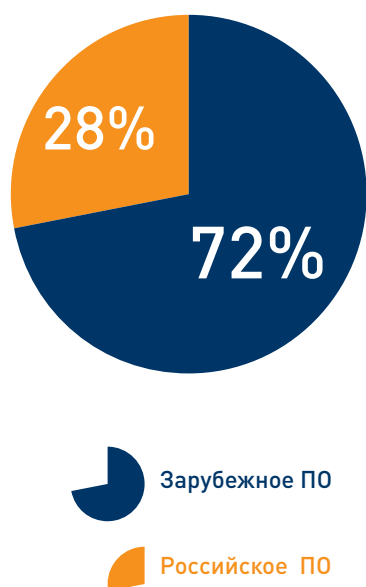
Проблема 1. Компьютерный инжиниринг не является самостоятельным объектом управления со стороны государства. Деятельность отдельных ведомств в этой области не синхронизирована. Отсутствует стратегия развития и последовательных действий по сохранению и целенаправленному развитию соответствующих отечественных компетенций и технологий

МИНПРОМТОРГ РОССИИ	МИНКОМСВЯЗЬ РОССИИ	МИНТРУД РОССИИ	РОССТАНДАРТ	РОССТАТ
ДОКУМЕНТЫ				
<p>ПМ («дорожная карта») в области инжиниринга и промышленного дизайна. ГП «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности на период до 2020 г.» (ПП № 19)</p>	<p>ПМ («дорожная карта») «Развитие отрасли ИТ». Стратегия развития отрасли ИТ в Российской Федерации на 2014–2020 гг. и на перспективу до 2025 г. ГП «Информационное общество (2011–2020 гг.)»</p>	<p>ПС «Специалист по проектированию и конструированию космических аппаратов и систем». ПС «Инженер по приборам ориентации, навигации и стабилизации летательных аппаратов в ракетно-космической промышленности»</p>	<p>ГОСТ 23501.101-87 САПР. Основные положения. ГОСТ 34.003-90. ИТ. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения ГОСТ 2.052-2006. ЕСДК. Электронная модель изделия. ГОСТ 2.053-2006. ЕСДК. Электронная структура изделия. ГОСТ Р ИСО/ТС 8000-1-2009 «Качество информационных данных. Часть 1. Обзор»</p>	<p>Форма № 1 технология «Сведения о разработке и использовании передовых производственных технологий». Форма № -3 информ «Сведения об использовании ИКТ и производстве вычислительной техники, ПО и оказания услуг в этих сферах»</p>
ПРИОРИТЕТЫ				
<p>Совершенствование госрегулирования, в т. ч. пересмотр тарифов страховых взносов. Создание и развитие центров инжиниринга на базе вузов, регионов, компаний. Развитие КИ за счет предоставления доступа к ПО через «облако». Создание и развитие механизмов координации деятельности</p>	<p>Льготы по страховым взносам компаниями. Развитие технологий анализа больших массивов данных, в т. ч. ПО для моделирования. Ключевые направления исследований: автоматизация проектирования и производства, имитационное моделирование. Стимулирование появления лидеров отрасли ИТ. Создание национальной программной платформы</p>	<p>Требования по наличию у специалистов умений выполнять операции, предполагающие использование специализированного ПО</p>	<p>Определение систем автоматизированного проектирования (САПР). Определение электронного макета изделия. Определение CAD, CAE, CAM, PDM. Требование о включении в данные о продукции информации по CAM, CAD, CAE, PDM и др.</p>	<p>Использование ППТ в проектировании и инжиниринге. Наличие спец. ПС для проектирования, управления автоматизированным производством. Затраты на приобретение программных средств</p>

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам ведомств

Проблема 2. Компании — потребители ПО оказываются под давлением внешнеполитической обстановки (возможность или фактическое наличие санкций). Им может быть недоступно ПО зарубежных разработчиков. Прямые аналоги российского производства отсутствуют

Рисунок 53.
Спрос на программные средства российских и зарубежных разработчиков, по доле опрошенных организаций, %



Зарубежное ПО
Российское ПО

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 54.
Продукты, предлагаемые участниками российского рынка САПР



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам компаний

Характеристики российского ПО⁶⁰:

- узкоспециализированное;
- плохоинтегрируемое;
- нестандартизованный интерфейс.

⁶⁰ По результатам интервью с экспертами.

Российские компании-разработчики инженерного программного обеспечения⁶¹

Компания	Специализация			
	CAD	CAM	CAE	PDM
АСКОН	Компас-3D			Лоцман
Топ Системы	T-FLEX CAD	T-FLEX ЧПУ	T-FLEX Анализ, T-FLEX Динамика	T-FLEX DOCs
Группа компаний ADEM	ADEM	ADEM		
ТЕСИС	ViewVidia, 3DTransVidia-for- FlowVision, 3DTransVidia, CompareVidia		FlowVision	
Компания «Фидесис»			CAE Fidesys	
ЗАО НИЦ СтаДиО			СТАДИО, АСТРА- НОВА	
ЗАО «Нанософт»	Нанокад			
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»	ЛОГОС		ЛОГОС, НИМФА, ДАНКО+ГЕПАРД	
НТЦ «Гемма»		Гемма-3D		
НТЦ «АПМ»			APM WinMachine, APM Civil engineering, APM FEM и др.	

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам компаний

⁶¹ Компании, продукция которых используется организациями — участниками анкетирования.

Рисунок 55.

Матрица потребностей российского производственного сектора в отечественном инженерном ПО

Отрасли наибольшего спроса на ПО для КИ	CAD	CAM	CAE	PDM	Другое	
Авиастроение	Отраслевая PLM-платформа					ОАК
Судостроение			CAE-решения			
Автомобилестроение	Отраслевая PLM-платформа					Камаз
Двигателестроение			CAE-решения			
Приборостроение			Универсальная CAE-система			
Станкостроение	Отраслевые программные продукты					
Электроника и микроэлектроника						
Отрасли высоких технологий: фармацевтика, биотехнологии и т.д.				Отраслевые программные продукты		
Товары массового потребления (одежда, аксессуары, хозтовары и т.д.)	Отраслевые программные продукты					
Атомная промышленность	PLM-платформа разработки ФГУП РЯЦ-ВНИИЭФ и АСКОНА					
ОПК	PLM-платформа под требования ОПК					?
Все дискретные производства	Универсальная национальная PLM-платформа					АСКОН, Топ Системы, МГТУ

- Высокая потребность**
- Средняя потребность**
- Потребность отсутствует**
- Потенциальные участники консорциумов, по итогам экспертных мероприятий**

Тесис, Фидесис, НТЦ АПМ, РЯЦ-ВНИИЭФ

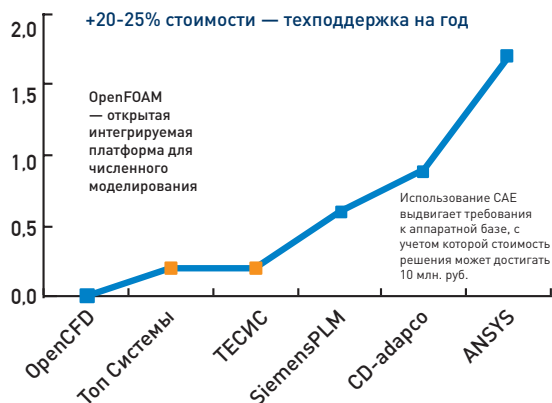
Для верификации потребностей в отраслевом инженерном ПО необходимо провести серию проектных семинаров с представителями производственных предприятий

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по результатам экспертных мероприятий и интервью с представителями производственного сектора

Проблема 3. Специализированное программное обеспечение недоступно для большого числа малых/средних производственных компаний

Рисунок 56.

Минимальная стоимость годовой лицензии на пользование САЕ-системами российских и зарубежных производителей, млн руб.



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам открытых источников

Рисунок 57.

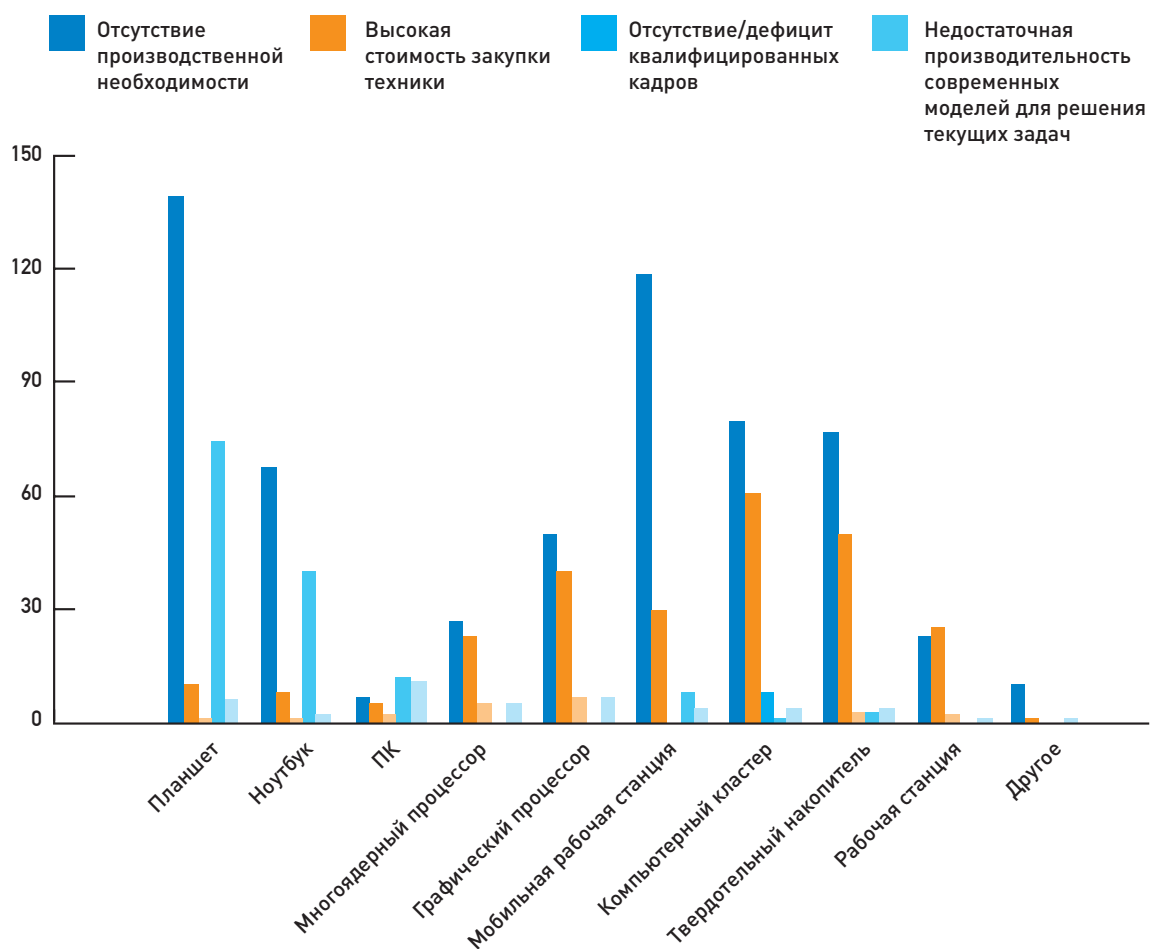
Ключевые проблемы в области компьютерного инжиниринга, выделенные экспертами, по доле опрошенных, %



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

Рисунок 58.

Причины, по которым компании не используют разные типы аппаратного обеспечения



Источник: ЦСР «Северо-Запад» по итогам анкетирования организаций, 2014 г. N*=207

VIII. Рекомендации по формированию инструментов и механизмов поддержки рынка компьютерного инжиниринга

Направленность деятельности	Решения	Примеры	Эффекты	Риски
Формирование объекта управления	<ol style="list-style-type: none"> 1. Запуск деятельности по обновлению системы стандартов по разработке, проведению испытаний и производству продукции с учетом тенденций развития компьютерного инжиниринга; 2. Разработка требований и стандартов по компьютерной безопасности в промышленности; 3. Создание единой базы данных используемого организациями ПО для инжиниринга. 	Аналоги ISO и других стандартов	Учет, аудит и стимулирование деятельности в области КТ	Высокая ресурсоемкость
Поддержка производителей ПО для КИ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поддержка компаний-разработчиков по вопросам, связанным с ослаблением налоговой нагрузки, возможностью получения кредитов на пополнение оборотных средств, субсидированием платежей по кредитным процентам, преференциями для работы на внутреннем рынке, поддержкой выхода на внешние рынки и т.д.; 2. Координация деятельности производителей и потребителей ПО по формированию требований к отечественному инженерному программному обеспечению; 3. Создание отечественного инженерного программного обеспечения с учетом требований производителей организаций. 	<p>Программная платформа для атомной отрасли (ФГУП РФЯЦ ВНИИЭФ).</p> <p>Программа «Materials Genome Initiative» (США).</p> <p>Проект МААХИМУС (ЕС)</p>	<p>Снижение импортной зависимости.</p> <p>Создание кастомизированной программной платформы</p>	Сжатые сроки, дефицит компетенций
Поддержка потребителей ПО для КИ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Предоставление ПО в аренду или обеспечение гибкого лицензирования ПО; 2. Создание центров коллективного пользования ПО, предоставление доступа к ПО через «облачные» сервисы; 3. Субсидирование ПО и аппаратной базы; 4. Организация образовательных программ для инженерных кадров. 	<p>Система «жетонов» для доступа к программной платформе Altair Engineering.</p> <p>National Digital Engineering and Manufacturing Consortium (NDEMC), США.</p> <p>Проект «CloudFlow», ЕС.</p> <p>Advanced Technological Education program Национального научного Фонда, США</p>	<p>Увеличение числа организаций –пользователей ПО для КИ.</p> <p>Повышение компетенций инженерных кадров</p>	<p>Отсутствие практик предоставления ПО в аренду.</p> <p>Отсутствие спроса на «облачные» технологии</p> <p>Ведомственные требования на использование российского ПО для КИ.</p>

Источник: ЦСР «Северо-Запад»

Глоссарий терминов в области компьютерного инжиниринга

2D — от англ. 2-dimensional — двухмерный.

3D — от англ. 3-dimensional — трехмерный.

AEC (Architecture engineering & Construction) — архитектурный инжиниринг и строительство.

AMT — от *англ.* Advanced manufacturing technologies — передовые производственные технологии.

BIM — компьютерная информационная модель здания.

CAD — Computer-aided design. Компьютерное проектирование, системы автоматизированного проектирования (САПР), компьютерные технологии проектирования, система геометрического моделирования.

CADD — от *англ.* Computer-aided drug design — компьютерное проектирование лекарственных препаратов, автоматизированное проектирование лекарственных препаратов.

CAE — Computer-aided engineering. Компьютерный инжиниринг в «узком» смысле, инженерные расчеты, виртуальные испытания.

CAM — Computer-aided manufacturing. Подготовка технологического процесса производства с использованием ЭВМ.

CAMD — от *англ.* Computer-aided molecular design — компьютерное молекулярное проектирование, автоматизированное молекулярное проектирование.

CAX — Computer-aided technologies. Совокупность технологий многофункционального проектирования (CAM, CAE, CAD и проч.), совокупность систем автоматизированного проектирования.

CFD — от *англ.* Computational fluid dynamics — вычислительная гидродинамика.

CNC (Computer numerical control) — числовое программное управление (ЧПУ).

CRM — Customer Relationship Management — управление взаимоотношениями с клиентами, бизнес-стратегия, ориентированная на нужды заказчика; CRM-система — корпоративная информационная система, предназначенная для улучшения обслуживания клиентов путем сохранения информации о клиентах и истории взаимоотношений с клиентами, установления и улучшения бизнес-процедур на основе сохраненной информации и последующей оценки их эффективности.

cPDM — от *англ.* Collaborative product definition (development) management — совместное управление разработкой продукта, параллельное/совместное проектирование.

DM (Digital manufacturing) — цифровое производство.

EDA (Electronic Design Automation) — автоматизированное проектирование электронных приборов и устройств.

EPC/EPCM — Engineering — Procurement — Construction — Management — комплексный контракт на управление с проектированием, закупками и строительством.

ERP — Enterprise Resource Planning — планирование ресурсов предприятия — концепция, появившаяся в результате развития планирования производственных ресурсов; ERP-системы — информационные управляющие системы, которые интегрируют и объединяют множество бизнес-процессов, связанных с операционными или производственными аспектами деятельности предприятия.

ES — Engineering Services — инжиниринговые услуги.

ESO — от *англ.* Engineering Services Offshoring/Outsourcing — Аутсорсинг инжиниринговых услуг, офшорный инжиниринг.

FEA — от *англ.* Finite element analysis — конечно-элементный анализ, анализ методом конечных элементов.

FLOPS — Floating-point Operations Per Second — внесистемная единица, используемая для измерения производительности компьютеров, показывающая, сколько операций с плавающей запятой в секунду выполняет вычислительная система (суперкомпьютер); MFLOPS — мегафлопс — 106FLOPS (достигнута в 1964 г.), GFLOPS — гигафлопс — 109FLOPS (1987), TFLOPS — терафлопс — 1012FLOPS (1997), PFLOPS — петафлопс — 1015FLOPS (2008), EFLOPS — эксафлопс — 1018FLOPS (~2016).

HPC — от *англ.* High-Performance Computing — высокопроизводительные вычисления, вычисления с помощью суперЭВМ.

IoT — от *англ.* Internet of Things — Интернет вещей.

Learning by doing — от *англ.* «обучение действием» или «обучение в деятельности».

MBSE — Model-Based Systems Engineering — методология моделирования, сопровождающая все стадии жизненного цикла продукции (от её концептуального проекта через проектирование (CAD), анализ и компьютерный инжиниринг (CAE), верификацию и валидацию до завершающих фаз жизненного цикла) на основе применения математических моделей разных классов и уровней сложности, обеспечивающих разные уровни адекватности описания реальных объектов; в некоторых случаях можно трактовать как «инжиниринг на основе математического моделирования», понимая под инжинирингом — компьютерный инжиниринг (CAE), а под математическим моделированием, в первую очередь, — математическое моделирование на основе моделей, описываемых нестационарными нелинейными дифференциальными 3D-уравнениями в частных производных.

MCAD (Mechanical computer-aided design) — автоматизированное проектирование механических устройств, машиностроительные САПР.

MIoT — от *англ.* Manufacturing Internet of Things — промышленный Интернет вещей.

OEM — от *англ.* Original equipment manufacturer — оригинальный производитель оборудования.

Outsourcing — аутсорсинг (от *англ.* outsourcing: (outer-source-using) использование внешнего источника/ресурса) — передача организацией, на основании договора, определённых бизнес-процессов или производственных функций на обслуживание другой компании, специализирующейся в соответствующей области. В отличие от услуг сервиса и поддержки, имеющих разовый, эпизодический, случайный характер и ограниченных началом и концом, на аутсорсинг передаются обычно функции по профессиональной поддержке бесперебойной работоспособности от-

дельных систем и инфраструктуры на основе длительного контракта (не менее 1 года). Наличие бизнес-процесса является отличительной чертой аутсорсинга от различных других форм оказания услуг и абонентского обслуживания.

PDM — от *англ.* Product data management — управление данными о продукте.

PLM — от *англ.* Product lifecycle management — управление жизненным циклом (УЖЦ).

R&D — от *англ.* Research&Development — исследования и разработки, НИР и ОКР.

S&A — от *англ.* Simulation&Analysis — моделирование и анализ, имитационный анализ, исследование методом моделирования.

SCM — Supply Chain Management — управление цепочками поставок — процесс планирования, осуществления и контроля операций в цепи или в сети поставок, логистической сети, основная цель которого — удовлетворить требования заказчика максимально эффективно.

SI — от *англ.* Systems integrator/integration — системный интегратор/интеграция.

Аддитивное производство — производство, в котором используются аддитивные технологии.

Аддитивные технологии — (AM — Additive Manufacturing), или технологии послойного синтеза, сегодня одно из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства. Существует множество технологий, которые можно назвать аддитивными, объединяет их одно: построение модели происходит путем добавления материала (от *англ.* add — «добавлять») в отличие от традиционных технологий, где создание детали происходит путем удаления «лишнего» материала. Классической и наиболее точной технологией является SLA-технология (от Stereolithography Apparatus), или стереолитография, — послойное отверждение жидкого фотополимера лазером. Существует много видов фотополимерных композиций, поэтому спектр применения прототипов, полученных по SLA-технологии, очень широк: макеты и масштабные модели для аэро- и гидродинамических испытаний, литейные и мастер-модели, дизайн-модели и прототипы, функциональные модели и т. д. Селективное лазерное спекание — SLS-технология (Selective Laser Sintering), Selective Laser Melting) — еще одно важное направление аддитивных технологий. Здесь строительным (модельным) материалом являются сыпучие, порошкообразные материалы, а лазер является не источником света, как в SLA-машинах, а источником тепла, посредством которого производится сплавление частичек порошка. В качестве модельных материалов используется большое количество как полимерных, так и металлических порошков. Порошкообразный полиамид применяется в основном для функционального моделирования, макетирования и изготовления контрольных сборок. Полистирол используется для изготовления литейных выжигаемых моделей. Отдельным направлением является послойное лазерное спекание (сплавление) металlopорошковых композиций. Развитие этого направления AF-технологий стимулировало и развитие технологий получения порошков металлов. На сегодняшний день номенклатура металлических композиций имеет широкий спектр материалов.

Вендор ПО — организация, занимающаяся распространением программного обеспечения.

Виртуальный прототип — виртуальная технология определения модели реального продукта, состоящая из коллекции трехмерных геометрических моделей (взятых из базы данных), размещенных в пространстве в соответствии с представлением о форме продукта, с каждой из которых связана ведомость материалов (BOM), над которыми можно проводить виртуальные инженерные испытания.

Геометрическое ядро трёхмерного моделирования — это программная компонента, предназначенная для использования в качестве базового инструментального средства при разработке программных систем, связанных с точным компьютерным моделированием физических трёхмер-

ных объектов. Конечными продуктами, которые могут быть разработаны на основе такого решения, являются системы автоматизированного проектирования (CAD), подготовки производства (CAM), инженерного анализа (CAE) и многих других приложений инженерного программного обеспечения. Во всех таких системах требуется точный и высокопроизводительный инструмент для работы с моделью — формирования данных, хранения, восстановления, средства анализа, специализированные расчёты и многое другое.

Грид-технологии — грид-вычисления (от *англ.* grid — решётка, сеть) — это форма распределённых вычислений, в которой «виртуальный суперкомпьютер» представлен в виде кластеров соединённых с помощью сети, слабосвязанных, гетерогенных компьютеров, работающих вместе для выполнения огромного количества заданий (операций, работ). Эта технология применяется для решения научных, математических задач, требующих значительных вычислительных ресурсов. Грид-вычисления используются также в коммерческой инфраструктуре для решения таких трудоёмких задач, как экономическое прогнозирование, сейсмоанализ, разработка и изучение свойств новых лекарств. Грид с точки зрения сетевой организации представляет собой согласованную, открытую и стандартизованную среду, которая обеспечивает гибкое, безопасное, скоординированное разделение вычислительных ресурсов и ресурсов хранения информации, которые являются частью этой среды, в рамках одной виртуальной организации.

Компьютерный инжиниринг — комплекс услуг по разработке продукта, проведению расчетов и автоматизации производственных процессов с использованием специализированного инженерного программного обеспечения.

Компьютерная модель — компьютерная программа, работающая на отдельном компьютере, суперкомпьютере или множестве взаимодействующих компьютеров (вычислительных узлов), реализующая представление объекта, системы или понятия в форме, отличной от реальной, но приближенной к алгоритмическому описанию, включающей и набор данных, характеризующих свойства системы и динамику их изменения со временем.

Параметрическая модель (проектирование) с использованием параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами.

Передовые производственные технологии (*англ.* Advanced Manufacturing Technologies, AMT) — понимается группа промышленных технологий, обеспечивающая прогресс в сфере производства и его соответствие ряду требований глобального технологического развития:

1. Передовые технологии обеспечивают рост скорости, экономической эффективности производственных процессов.
2. Передовые технологии обеспечивают новую функциональность выпускаемой продукции.
3. Передовые технологии, а также основанные на них производственные процессы должны отвечать целому набору ценностных требований: экологичность, ресурсоэффективность, доступность и пр. В целом внедрение данных технологий возможно только в обществах и производственных системах, базирующихся на идеологии «устойчивого развития».
4. Использование передовых производственных технологий предполагает обладание целым рядом различных квалификаций и компетенций и организационную готовность предприятия к управлению инженерными рисками, а также по подготовке и переподготовке кадров.

Программные средства — все или часть программ, процедур, правил и соответствующей документации системы обработки информации.

Рабочая станция — стационарный компьютер повышенной мощности (по сравнению с персональными компьютерами), но не на пике современных вычислительных мощностей (по сравнению с суперкомпьютером) по своим производительным характеристикам оптимизированный под решение задач компьютерного инжиниринга с установленным соответствующим программным обеспечением.

Средства инжиниринга — технические устройства и (или) системы (включая программное обеспечение), предназначенные одновременно как для создания продуктов инжиниринговой деятельности, так и для передачи, приема, обработки, хранения, визуализации и создания необходимой информации.

Цифровой макет (DMU — *англ.* Digital Mock-Up) — виртуальная технология определения модели реального продукта, состоящая из коллекции трехмерных геометрических моделей (взятых из базы данных), размещенных в пространстве в соответствии с представлением о форме продукта, с каждой из которых связана ведомость материалов (BOM).

Библиография

1. A Roadmap to 21st Century Engineering. / The Millennium Project, University of Michigan. Электронный ресурс. – URL: http://milproj.dc.umich.edu/publications/EngFlex_report/download/MITEngFlexRoadmap.pdf (дата обращения: 16.12.13).
2. Agile Systems Engineering. - INCOSE, Northrop Grumman. Электронный ресурс. URL: http://www.incose.org/chesapek/Docs/2011/Presentations/2011_09_21_Johnson_AgileEngineering.pdf (дата обращения: 12.12.13).
3. Ambition logicielle Grenoble: un programme dédié à l'innovation dans la filière logicielle. Электронный ресурс. URL: <http://www.inria.fr/centre/grenoble/actualites/lancement-du-programme-ambition-logicielle-grenoble> (дата обращения: 12.01.2014).
4. CADMASTER № 5/2013. Электронный ресурс. Режим доступа: http://www.cadmaster.ru/assets/files/articles/cm_72_23.pdf (дата обращения: 12.12.13).
5. Case Study: Applying Agile Software Methods to Systems Engineering. Электронный ресурс. URL: https://www.thecsiac.com/journal_article/case-study-applying-agile-software-methods-systems-engineering#.UtKoLrDw2Y (дата обращения: 12.01.2014).
6. CIMdata PLM Glossary. Электронный ресурс. URL: <http://www.cimdata.com/en/resources/about-plm/cimdata-plm-glossary#PLM> (дата обращения: 31.01.2014).
7. Cooper Charles, Kaplinsky Raphael. Technology and Development in the Third Industrial Revolution. This edition published in the Taylor & Francis e-Library, 2005. – 109 p.
8. Creative Knowledge Centre (CKC) Living Lab. Электронный ресурс. URL: <http://www.openlivinglabs.eu/livinglab/creative-knowledge-centre-ckc-living-lab> (дата обращения: 10.01.2014).
9. Deborah D. Stine. Science and Technology Policymaking: A Primer. / Congressional Research Service. – 42 p.
10. Engineering Services Outsourcing. A research on drivers and trends. / Barry-Wehmiller International Resources. – 8 p.
11. Engineering the Future -a vision for the future of UK engineering. / Engineering council UK. – 13 p.
12. Fast computation of power series solutions of systems of differential equations by A. Bostan, F. Chyzak, F. Ollivier, B. Salvy, E. Schost, A. Sedoglavic. Электронный ресурс. URL: <http://www.csd.uwo.ca/~eschost/publications/BCOSSS07.pdf> (дата обращения: 14.02.2014).
13. Fog computing. / Хабрахабр. – Электронный ресурс. URL: <http://habrahabr.ru/post/135568/> (дата обращения: 10.01.14).
14. Global ER&D. Accelerating Innovation with Indian Engineering. / NASSCOM, booz&co., 2010 – 12 p.
15. IBISWorld Industry Report 54133 Engineering Services in the US. / IBISWorld, 2012 – 37 p.
16. ISO/IEC 15288:2002 «System engineering — System lifecycle processes (IDT)». Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.novsu.ru/file/977849> (дата обращения: 26.12.2013).

17. ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering--Vocabulary;
18. Jaguar Land Rover And EPSRC Announce £10m Virtual Engineering Research Programme. Электронный ресурс. URL: http://newsroom.jaguarlandrover.com/en-gb/jlr-corp/news/2013/06/jlr_epsrc_060613/ (дата обращения: 10.01.2013).
19. Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation. / McKinsey global Institute, 2012. – 184 p.
20. Matthew R. Kennedy, David A. Umphress, Ph.D., An Agile Systems Engineering Process The Missing Link? - PEOPLE SOLUTIONS TO SOFTWARE PROBLEMS. Электронный ресурс. URL: <http://www.crosstalkonline.org/storage/issue-archives/2011/201105/201105-Kennedy.pdf> (дата обращения: 12.01.2014).
21. Minalogic lance Easytech et Ambition logicielle, 2 nouveaux programmes en faveur du développement des PME. Электронный ресурс. URL: http://www.grenoble-ecobiz.biz/jcms/rec_145049/fr/minalogic-lance-easytech-et-ambition-logicielle-2-nouveaux-programmes-en-faveur-du-developpement-des-pme (дата обращения: 10.01.14).
22. Monica Bordegoni, Caterina Rizzi. Innovation in Product Design. From CAD to Virtual prototyping. – Springer, London, 2011. – 203 p.
23. North Bridge Venture Partners Future Of Cloud Computing Survey: SaaS Still The Dominant Cloud Platform. Электронный ресурс. URL: <http://softwarestrategiesblog.com/category/platform-as-a-service/> (дата обращения: 16.12.13).
24. Pressman Roger S. Emerging Trends in Software Engineering. - R.S. Pressman & Associates, Inc., 2009. Электронный ресурс. URL: <http://www.jasst.jp/archives/jasst09e/pdf/A1.pdf> (дата обращения: 16.12.13).
25. Product lifecycle management from Systems Integrator`s view. Электронный ресурс. URL: <http://atos.net/content/dam/global/documents/investor-presentations/atos-fieldtrip-plm-societe-generale-paris-07-05-20-iso-8859-1Q13-luca-benporath.pdf> (дата обращения: 31.01.2014).
26. PROGRAMME « AMBITION LOGICIELLE »: L'AFDEL MILITE EN FAVEUR DU BIG DATA ET DU SAAS. Электронный ресурс. URL: <http://www.itespresso.fr/programme-ambition-logicielle-lafdel-milite-en-faveur-du-big-data-et-du-saas-62334.html> (дата обращения: 10.01.14).
27. Realising an innovation economy. An analysis of the engineering skills shortage in Australia. Practical recommendations for the Australian Government to frame a response. / Australian National Engineering Taskforce (ANET). – 64 p.
28. Report to the President on capturing domestic competitive advantage in advanced manufacturing. / Executive office of the President, President`s Council of Advisors on Science and Technology, 2012. – 70 p.
29. 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.
30. S. Mekid, T. Schlegel, N. Aspragathos and R. Teti. Foresight formulation in innovative production, automation and control systems. / Foresight vol. 9 № 5, 2007 – p. 36-47.
31. Santonu Sarkar. Software Engineering Challenges- IT Services Industry Perspective. – презентация в рамках «29th Int. Conference on Software Engineering», 26.05.2007. Электронный ресурс. URL: <http://web4.cs.ucl.ac.uk/icse07/fileadmin/template/icse07/presentations/ICSE2007Infosys.pdf> (дата обращения: 16.12.13).

32. Scott W. Ambler. Scaling Agile: An Executive Guide. / IBM. Agility @ Scale Whitepaper/ Электронный ресурс. URL: <http://public.dhe.ibm.com/common/ssi/ecm/en/raw14211usen/RAW14211USEN.PDF> (дата обращения: 16.12.13).
33. Simulation-Based Engineering Science. Revolutionizing Engineering Science through Simulation. May 2006. Report of the National Science Foundation. - 88 p.
34. Survey of Model-Based Systems Engineering (MBSE) Methodologies. / International Council on Systems Engineering, 2007, 2008. – 80 p. Электронный ресурс. URL: http://www.incose.org/productspubs/pdf/techdata/mttc/mbse_methodology_survey_2008-0610_revb-jae2.pdf (дата обращения: 16.12.13).
35. Tech-Clarity Perspective: Developing Software-Intensive Products. / Tech-Clarity Inc., 2012 – 20 p.
36. The future of PLM. Электронный ресурс. URL: <http://www.slideshare.net/filosser/the-future-of-plm> (дата обращения: 31.01.2014).
37. The Future of PLM: Validating the Physical World through the Virtual Experience. Электронный ресурс: <http://www.arcweb.com/strategy-reports/2014-01-17/the-future-of-plm-validating-the-physical-world-through-the-virtual-experience.aspx> (дата обращения: 31.01. 2014).
38. Tokyo Virtual Living Lab: Designing Smart Cities Based on the 3D Internet. - Internet Computing, IEEE (Volume:17 , Issue: 6), Nov.-Dec. 2013, 30-38.
39. Trends in manufacturing to 2020 A foresighting discussion paper. Industry Innovation Council, 2011. – 42 p.
40. Un charge de mission «Ambition Logicielle» au rôle de compétitivité Minalogic. Электронный ресурс. URL: http://www.l embarque.com/un-charge-de-mission-ambition-logicielle-au-pole-de-competitivite-minalogic_001060 (дата обращения: 10.01.14).
41. Virtual Engineering Centre Capabilities. Электронный ресурс. URL: <http://www.virtualengineeringcentre.com/index.php/capabilities> (дата обращения: 10.01.2014).
42. VIRTUAL LABS. An Initiative of Ministry of Human Resource Development (MHRD)
43. Under the National Mission on Education through ICT. - Электронный ресурс. URL: <http://www.vlab.co.in/index.php> (дата обращения: 10.01.2014).
44. What are the significant trends shaping technology relevant to manufacturing? - Future of Manufacturing Project: Evidence Paper 6. // Foresight, Government Office for Science, 2013.
45. What is Dassault Systemes' 3DEXPERIENCE Platform? – Engineering.com. Электронный ресурс. URL: <http://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/6663/What-is-Dassault-Systemes-3DEXPERIENCE-Platform.aspx> (дата обращения: 10.01.2014);
46. Аддитивные технологии в российской промышленности. //Конструктор. Электронный ресурс. URL: <http://konstruktor.net/podrobnее-det/items/additivnyе-tехnоlogii-v-rossijskoj-promyshlennosti.html> (дата обращения 10.01.14).
47. Баркли Браун. Системный инжиниринг на основе моделей: революция или эволюция? / IBM, 2011. – 16 с.
48. Бобровский С. Очередной облачный тренд: Fog Computing. / PCWeek. Электронный ресурс. URL: <http://www.pcweek.ru/its/blog/its/5586.php> (дата обращения: 10.01.14).

49. Болдырев Ю.Я. Роль суперкомпьютерных технологий в инженерном образовании Научно-технические ведомости СПбГПУ Информатика. Телекоммуникации. Управление № 162 2012 СПб., Изд-во Политехнического ун-та, С.: 9-15. ISSN: 1994-2354
50. Болдырев Ю.Я. Суперкомпьютерные технологии как современное воплощение междисциплинарного подхода в научно-образовательной деятельности. СПб. Научно-технические ведомости СПбГПУ. № 4, 2010. (вып. «Информатика. Телекоммуникации. Управление»). С. 99-106.
51. Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Викторов Е.Д., В.А. Пальмов и др. «Комплекс работ по внедрению современных компьютерных технологий инженерного анализа и проектирования в отечественный Автопром» Отчет по итогам научного мероприятия, выполненного по заказу Департамента промышленной и инновационной политики в машиностроении Минпромнауки России – СПб.: СПбГПУ, 2003. 271 с.
52. Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Глухов В.В. Интегрированные информационные технологии инженерного и экономического анализа// Тез. докл. Всероссийской конференции «Интеграция науки и высшего образования России». – Самара, Казань. 2001. Ч.2. С. 139-141.
53. Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Заборовский В.С., Стрелец М.Х. Вчера, сегодня и завтра суперкомпьютерных технологий в СПбГПУ для промышленности и высшей школы. Книга. Суперкомпьютерные технологии в науке и образовании и промышленности (ред. В.А.Садовничий, Г.И.Савин, В.В.Воеводин). Изд-во МГУ, Москва, 2013 г., с. 2-8.
54. Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Кочуров В.А., Л.В. Курч и др. «Основные направления развития информационных технологий в БНТУ». Белорусский национальный технический университет. Информационные материалы. – Минск, 2003. 66 с.
55. Болдырев Ю.Я., Замотин К.Ю., Петухов Е.П., Чурилова М.А. К разработке учебных курсов по тематике суперкомпьютерного инжиниринга Труды Форума «Суперкомпьютерные технологии в образовании, науке и промышленности» Высокопроизводительные параллельные вычисления на кластерных системах. Материалы XII Всероссийской конференции Нижний Новгород, ННГУ 14–16 ноября 2013 г. Электронное издание, стр. 47-51. ISBN 978-5-91326-304-9.
56. Болдырев Ю.Я., Огнев В.В. Компьютерный инжиниринг в технологическом перевооружении машиностроительного предприятия. – СПб.: Турбины и компрессоры, № 3-4 (24-25), 2003, С. 54-58.
57. Болдырев Ю.Я., Петухов Е. П. Суперкомпьютерные технологии и их приложения. Учебное пособие. СПбГПУ, 2011, С.92.
58. 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 г.
59. 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 г.
60. 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.

61. 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.
62. Боровков А.И. PLM-технологии: вчера, сегодня, завтра. Каталог САПР. Программы и производители 2011-2012. - М.: Солон-Пресс, 2011.
63. 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.
64. Боровков А.И., Болдырев Ю.Я., Заборовский В.С. Суперкомпьютерный инжиниринг. Труды Международной суперкомпьютерной конференции Научный сервис в сети Интернет: все грани параллелизма. Направление 1: Параллельные вычисления и их приложения. Г. Новороссийск, 23-28 сентября 2013 г. Изд-во МГУ, 2013. Электронное издание, стр. 436-437.
65. Васильев Ю.С., Болдырев Ю.Я. Критические CAE-технологии – важнейшее направление развития высокопроизводительных вычислений. Материалы научно-технического совещания «Высокопроизводительные вычислительные ресурсы России: состояние и перспективы развития». – Уфа, 2003. С. 106-110.
66. Велихов Е.П., Бетелин В.Б. Промышленность, инновации, образование и наука Российской Федерации / Вестник РАН, 2008, т. 78, № 6, 500 – 512.
67. Велихов Е.П., Бетелин В.Б., Кушниренко А.Г. Промышленность, инновации, образование и наука в России. – М., «Наука», 2009, 140 с.
68. Генеративный дизайн. / PLMpedia. Электронный ресурс. URL: http://plmpedia.ru/wiki/Генеративный_дизайн (дата обращения 10.01.14).
69. Гершман М.А. Российские инжиниринговые организации: подходы к идентификации и оценке эффективности деятельности. // Вопросы статистики, № 2 / 2013, С. 53-62.
70. ГОСТ Р15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство и патентные исследования. Содержание и порядок проведения. 01.07.1996. – 20 с.
71. Инновационное суфле. - Эксперт-Урал №46(534) от 19.11.2012. Электронный ресурс. URL: <http://www.expert-ural.com/1-576-11814/> (дата обращения: 16.12.13).
72. Интеграция данных, интеграция деятельности: федеративные PLM-системы. – Блог Анатолия Левенчука. Электронный ресурс. URL: <http://ailev.livejournal.com/977531.html> (дата обращения: 16.12.13).
73. Княгинин В.Н. Модульная революция: распространение модульного дизайна и эпоха модульных платформ: учеб. пособие / под ред. М. С. Липецкой, С. А. Шмелевой» — (Серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации») – СПб., 2013. — 80 с.
74. Компьютерный инжиниринг: учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]» — (Серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации») — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 93 с.

75. Левенчук А. 8 инженерных трендов 2014 г. / Компьютерра. Электронный ресурс. URL: <http://www.computerra.ru/91020/8-inzhenernyih-trendov-2014-goda/> (дата обращения: 10.01.14).
76. Материалы сайта www.FEA.ru за период 2003-2012 гг.
77. Митин В. Big Data – это не проблема. Это возможность. Но как её реализовать СМБ-предприятиям?. / PCWeek/. Электронный ресурс. URL: <http://www.pcweek.ru/infrastructure/blog/infrastructure/4929.php> (дата обращения 10.01.14).
78. Ноу-хау «МЗ-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».
79. Обзоры Isicad. Электронный ресурс. URL: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=16645; http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=15843 (дата обращения: 10.01.2014).
80. Облачно, местами бигдато. / The Runet. Электронный ресурс. URL: http://therunet.com/special_projects/cloud (дата обращения 10.01.14).
81. Облачные и программные службы Autodesk. Электронный ресурс. URL: <http://www.autodesk.ru/subscription/cloud-services> (дата обращения: 12.01.2014).
82. Основные направления налоговой политики Российской Федерации на 2013 г. и на плановый период 2014 и 2015 гг. – Министерство финансов Российской Федерации. Электронный ресурс. URL: http://www.minfin.ru/common/img/uploaded/library/2013/06/ONNP_2013-06-05.pdf (дата обращения: 16.12.13).
83. Открытые и закрытые инновации: сравнительный анализ национальных практик. // М. Френц, Р. Ламберт. - Форсайт, № 3 (7) 2008. Электронный ресурс. URL: http://foresight-journal.hse.ru/data/2010/12/31/1208181708/04_16-31.pdf (дата обращения 10.01.14).
84. 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.
85. 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.
86. Павлов С.И. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть I. // CAD/CAM/CAE Observer, 2013, № 5, 69–79.
87. Павлов С.И. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть II. // CAD/CAM/CAE Observer, 2013, № 6, 77–88.
88. Павлов С.И. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть III. // CAD/CAM/CAE Observer, 2013, № 8, 77–89.
89. Павлов С.И. Системы высокопроизводительных вычислений в 2012–2013 годах: обзор достижений и анализ рынков. Часть IV. // CAD/CAM/CAE Observer, 2014, № 1, 89–95.
90. Промышленный дизайн Российской Федерации: возможность преодоления «дизайн-барьера»: учеб. пособие / Под ред. М. С. Липецкой, С. А. Шмелевой; » — (Серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации») — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012. — 80 с.

91. Управление жизненным циклом технических систем / В.К. Батоврин, Д.А. Бахтурин; ред. И.С. Мацкевич, М.С. Липецкая; Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад» — (Серия докладов в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Российской Федерации») — СПб., 2012. — Вып. 1. — 59 с.
92. Федоров М.П., Болдырев Ю.Я., Боровков А.И., Пальмов В.А.. CAE-технологии – критические технологии Российской Федерации// Труды СПбГПУ Материалы VI Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» СПб.: СПбГПУ, 2002. С.17-24.
93. <http://isicad.ru/ru/> - информационно-аналитический портал и форум сообщества пользователей и экспертов инженерного ПО в России
94. <http://www.cadcamcae.lv/> - Информационно-аналитический журнал «CAD/CAM/CAE Observer
95. <http://www.cadmaster.ru/> - «CADmaster» – журнал для профессионалов в области САПР
96. <http://www.sapr.ru/> - журнал «САПР и графика»
97. <http://www.gartner.com/technology/home.jsp> - исследовательская и консалтинговая компания Gartner
98. frost.com – Technical Insights Alert Services – раздел компании Frost & Sullivan, посвященный самому актуальному в области развития технологий
99. <http://cadcam-insider.com/> - британский журнал, публикует интервью с вендорами и разработчиками «из первых рук», не осуществляя редакторской правки материалов.
100. http://minpromtorg.gov.ru/activities/cross_tech/docs/design/ - подпрограмма № 19 «Развитие инжиниринговой деятельности и промышленного дизайна» государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».
101. <http://government.ru/docs/3338> - Дорожная карта (план мероприятий) в области инжиниринга и промышленного дизайна.

Приложение 1. Обзор государственных инициатив и проектов в области компьютерного инжиниринга

Направление	Примеры политик	Цели и задачи, в том числе принятые решения	Заказчик политики	Стоимость реализации
Программа инжиниринговых исследовательских центров (1987 — по настоящее время)	Финансовая поддержка деятельности инжиниринговых центров	<ul style="list-style-type: none"> Усиление конкурентной позиции американских фирм в мировой торговле. Форсирование инжиниринговых исследований и инженерного образования США. Развитие взаимодействия между правительством, инженерным и академическим сообществом 	Национальная академия наук США	За 2011 г.— 298,02 млн долларов
Федеральная поддержка исследовательских центров (FFRDCs)	Финансирование деятельности Инжинирингового центра (Национальная безопасность)	<ul style="list-style-type: none"> Поддержка разработки и испытания электронных систем ПВО 	Национальный научный фонд, Министерство обороны США	
Исследования новых материалов и инжиниринговые центры (Materials Research Science and Engineering Centers, 2004)	Гранты, Соглашения о сотрудничестве	<ul style="list-style-type: none"> Поддержка междисциплинарных исследований материалов и образования. Способствование активному сотрудничеству между университетами и другими секторами. Создание национальной сети университетских центров в материалах 	Национальный научный фонд, США	26 млн долларов
Оборонная исследовательская и инженерная сеть (The Defense Research and Engineering Network, 2002)	Финансовая поддержка сети инжиниринговых центров	<ul style="list-style-type: none"> Сеть суперкомпьютерных центров коллективного пользования. Сеть доступна любому субъекту промышленности или исследовательских работ США, предоставляя не только вычислительные, но и программные ресурсы 	Министерство обороны, США	
Исследовательская программа «Сложные системы и продвинутые компьютерные технологии»	Гранты, консорциумы	<ul style="list-style-type: none"> Поддержка исследования в области передовых компьютерных технологий, встроенных систем. Инжиниринг производственных процессов на базе ИКТ. ИКТ для промышленности 	Европейская комиссия	95 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
Проект «CloudFlow»	ГЧП, консорциум компаний	<ul style="list-style-type: none"> Формирование «облачной инфраструктуры» удаленного доступа к программным продуктам CAD CAE CAM. Удаленный доступ к высокопроизводительным вычислениям. Взаимодействия и интеграция в рамках международного проекта по созданию Интеллектуальных Производственных систем 	Европейская комиссия	8,7 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
Проект «Linked design»	ГЧП, консорциум компании	<ul style="list-style-type: none"> Формирование инженерно-производственной платформы, ориентированной на контекстное взаимодействие, интеграцию данных, совместный доступ к информации. Выработка единого видения форматов работы с данными, людьми и процессами по всему ЖЦ. Модели управления данными о системе, ориентированные на пользователя. Обеспечение междисциплинарного взаимодействия 	Европейская комиссия	12,5 млн евро в рамках 7-й рамочной программы

Направление	Примеры политик	Цели и задачи, в том числе принятые решения	Заказчик политики	Стоимость реализации
Проект I-CONIK (платформа инжиниринга)	ГЧП, консорциум компании	<ul style="list-style-type: none"> • Формирование платформы на базе ИКТ, интегрирующей весь комплекс инструментов компьютерного инжиниринга для совместных разработок. • Разработка механизмов интеграции инженерных знаний в области компьютерного инжиниринга, управления информацией о системе, управления жизненным циклом. • Оптимизация (упрощение, повышение скорости) интерфейсов взаимодействия между инженерами и рабочими 	Европейская комиссия	9,7 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
AMERLM (Продвинутая платформа производственного инжиниринга и УЖЦ)	ГЧП, консорциум компании	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка открытой инжиниринговой платформы с акцентом на интероперабельность и интеграцию элементов. • Формирование открытой платформы инжиниринга на базе существующих инструментов и библиотек данных. • Разработка инструментов, облегчающих процесс разработки, анализа, виртуального тестирования и оптимизации продукта. • Разработка модуля визуализации для осуществления междисциплинарного сотрудничества/ удаленных форм работы 	Европейская комиссия	4,5 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
VISTRA	ГЧП, консорциум компании	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка платформы виртуального моделирования и обучения процессам сборки. • Обеспечение виртуального документооборота и моделирование всего процесса сборки для возможности обучения работников посредством работы с виртуальным прототипом производственной линии и продукта до его физического воплощения 	Европейская комиссия	5,4 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
SIMP7OSIUM	ГЧП, консорциум компании	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка численных моделей неразрушающего контроля. • Мультидисциплинарные техники высокопроизводительных вычислений. • Обмен данными между CAD-данными, механическими кодами и материальными моделями 	Европейская комиссия	5,9 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
TERRIFIC	ГЧП, консорциум компании	<ul style="list-style-type: none"> • Разработка моделей перехода от CAD к FEA • Обеспечение интероперабельности CAD и FEA 	Европейская комиссия	5,2 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
Future Fashion Design	ГЧП, консорциум компании	<ul style="list-style-type: none"> • Внедрение технологий виртуального прототипирования в индустрии производства текстиля и одежды. • Повышение эффективности 	Европейская комиссия	3,5 млн евро в рамках 7-й рамочной программы
MASI — Modeling and simulation	Государственная поддержка	<ul style="list-style-type: none"> • Трансфер технологий моделирования в практику компаний 	Агентство технологического развития Финляндии Tekes	100 млн евро на 5 лет (из них Tekes предоставил 53 млн)

Источник: ЦСР «Северо-Запад» по материалам открытых источников

Приложение 2. Примеры реализованных проектов поддержки рынка инженерного ПО в России

Создание и внедрение отечественного ПО имитационного моделирования

В 2010 г. была создана широкая кооперация организаций (Госкорпорация «Росатом», организации РАН, Минобрнауки России, промышленные предприятия, коммерческие организации) и распределены задачи по созданию и внедрению отечественного ПО имитационного моделирования.

В декабре 2011 г. Московский государственный технологический университет «Станкин» (МГТУ «Станкин») победил в тендере Минпромторга РФ, проводившемся в рамках ФЦП «Национальная технологическая база» на 2007–2011 г. Компания Топ Системы стала соисполнителем первого уровня и осуществляла основное техническое руководство проектом. Также субподрядчиками выступили такие компании как ЛЕДАС (проводит разработки наукоемких программных компонентов ПО для компьютерного инжиниринга), Сингулярис, ВолгГТУ, УрФУ и другие.

Конкурс проводился за право сформировать 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» получил на разработку 3D-ядра 690 млн рублей (при курсе 30 руб. за 1 доллар стоимость разработки составила 23 млн долларов).

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 Топ Системы С.А. Кураксина, «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 американской Siemens PLM Software (Parasolid) и французской Dassault Systemes (CGM, ACIS). Следует при этом указать, что 3D-ядра, которые лежат в основе этих программных систем, обе компании начали разрабатывать более 20 лет назад.

Внедрение суперкомпьютерных технологий в отечественную промышленность

В настоящее время уровень внедрения и использования суперкомпьютерных технологий (СКТ) в отечественной промышленности низок. Внедрение же суперкомпьютерных технологий на предприятиях ОПК и в гражданских отраслях в среднесрочной и долгосрочной перспективе позволит обеспечить конкурентоспособность продукции многих отраслей, поскольку, как уже указывалось, позволит резко ускорить сроки разработок, повысить их качество и создавать материалы, машины и системы с наилучшими характеристиками и уникальными свойствами.

При этом если в части создания высокопроизводительных вычислительных систем (суперкомпьютеров) имеются определенные успехи (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», Т-Платформы, Т-Сервисы, РСК и др.), то в области разработки отечественного программного обеспечения для математического моделирования и компьютерного инжиниринга ситуация, несмотря на определенные успехи в последние 2–3 года, значительно хуже, что, безусловно, связано со слабой государственной поддержкой данного направления. Такие разработки будут особо актуальны для организаций отечественного ОПК, которые имеют ограничения на приобретение лицензий на зарубежное ПО.

Россия, по данным на ноябрь 2013 г., занимает 9 место по количеству эксплуатируемых суперкомпьютерных систем (8 систем в списке). Лидирует по этому показателю США — 250 систем. Самый мощный суперкомпьютер России «Ломоносов» находится на 26-м месте рейтинга Топ-500 наиболее мощных суперкомпьютеров мира. В 2013 г. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» представил компьютер производительностью в 1000 терафлопс (1 петафлопс), который стал лидером среди российских суперкомпьютеров.

В РФЯЦ-ВНИИЭФ разработаны математические модели, которые позволяют реализовать передовые технологии проектирования современных образцов техники. При этом создаваемое РФЯЦ-ВНИИЭФ отечественное ПО делает реальным создание в России всей линейки ПО для большинства направлений инженерных расчетов как в гидроаэродинамике и механике деформируемого твердого тела, так и в ряде других важных научных направлений, что будет способствовать импортозамещению зарубежного ПО.

Разработанные и созданные во ВНИИЭФ компактные суперЭВМ терафлопсного класса — уникальные высокопроизводительные вычислительные системы, которые могут быть широко востребованы как в научных лабораториях, так и в конструкторских бюро.

В 2010 г. был запущен 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»⁶². В проекте были задействованы более 40 участников: РАН, отраслевые КБ, НИИ и предприятия, Минобрнауки России (ННГУ, КГУ и др.), IT-компании. В результате этого 3-х летнего проекта был создан САЕ-продукт ЛОГОС (отечественный аналог ANSYS), который только начинает внедряться на отечественных предприятиях.

⁶² ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» — крупнейший научно-технический центр России, в состав которого входят несколько институтов: теоретической и математической физики, экспериментальной газодинамики и физики взрыва, ядерной и радиационной физики, лазерно-физических исследований, научно-технический центр физики высоких плотностей энергии и направленных потоков излучений, а также конструкторские бюро и тематические центры, объединенные общим научным и административным руководством.

Приложение 3. Продукты и услуги российских компаний рынка компьютерного инжиниринга

Компания	Продукты/услуги	Рыночная ниша
АСКОН	<p>КОМПАС-3D — система трехмерного моделирования, построенная на собственном математическом ядре.</p> <p>КОМПАС-График — универсальная система автоматизированного проектирования.</p> <p>ЛОЦМАН: PLM — система управления инженерными данными и жизненным циклом изделия.</p> <p>ЛОЦМАН: PPS — система управления проектными данными.</p> <p>ВЕРТИКАЛЬ — система автоматизированного проектирования технологических процессов</p> <p>ГОЛЬФСТРИМ — система автоматизированного управления производством</p>	<p>Специализированное ПО (управление инженерными и проектными данными, инженерная подготовка производства, управление производством)</p>
ЗАО «Топ Системы»	<p>CAD — T-FLEX CAD — система автоматизации черчения, параметрического проектирования и трехмерного параметрического твердотельного и поверхностного моделирования.</p> <p>PDM — T-FLEX DOCs 2010 — программный PLM-комплекс для решения задач конструкторско-технологического документооборота, организационно-распорядительного документооборота и комплексного управления инженерными данными предприятия.</p> <p>CAE — Расчетные инженерные программы.</p> <p>CAPP — T-FLEX Технология 2010 — система для автоматизации технологической подготовки производства, обладающая гибкими современными средствами разработки технологических проектов любой сложности.</p> <p>CAM — Модули подготовки программ для станков с ЧПУ</p>	<p>Специализированное ПО (управление ЖЛЦ, проектами, планирование ресурсов)</p>
Группа компаний ADEM	<p>Интегрированная CAD/CAM/CAPP/PDM система</p>	<p>Специализированное ПО (для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства)</p>

Компания	Продукты/услуги	Рыночная ниша
ТЕСИС	<p>FlowVision — расчетный комплекс последнего поколения, предназначенный для моделирования трехмерных турбулентных течений жидкости и газа.</p> <p>3DTransVidia — средство трансляции цифровой модели между различными машиностроительными системами геометрического моделирования (CAD-системы).</p> <p>CompareVidia — инструмент валидации цифровой модели изделия, позволяющий сравнивать оригинальную и деривативную CAD-модель с точки зрения геометрического представления, топологии и технических требований для производства (PMI-данных).</p> <p>ViewVidia — инструмент просмотра CAD-моделей, в полной мере поддерживающий концепцию MBD (Model Based Definition) и позволяющий работать с геометрическим представлением, PMI-данными, требованиями по допускам и посадкам (GD&T), а также с атрибутами на уровне детали или сборки.</p> <p>3DTransVidia-for-FlowVision — препроцессор для подготовки расчетной модели в системе FlowVision. Может использоваться в качестве подготовки расчетной модели для других программ инженерных расчетов.⁶³</p>	<p>ПО для инженерных расчетов в области вычислительной аэро- и гидродинамики, а также в области трансляции, валидации и контроля качества цифровой модели изделия (CAD-модели).</p>
Компания «Фидесис»	<p>Консалтинговые услуги в области прочностного анализа, вычислительной математики, математического моделирования, параллельных вычислений.</p> <p>Разработка механических моделей.</p> <p>Решения прочностных задач.</p> <p>Программирование.</p> <p>Параллельные вычисления.</p> <p>Программный продукт — CAE Fidesys — позволяющий осуществить полный цикл прочностного инженерного анализа</p>	<p>Инжиниринговые услуги, специализированное ПО (прочностной анализ)</p>

⁶³ Дополнительно компания ТЕСИС представляет на российском рынке зарубежные программные продукты для автоматизации процесса проектирования и поддержки жизненного цикла продукции (CAD/CAM/CAE/CAI/PLM):

- SIMULIA Abaqus (Dassault Systemes, Франция) — многофункциональный конечно-элементный комплекс прочностного анализа.
- DEFORM (SFTC, США) — программный комплекс моделирования процессов ковки, объемной штамповки и термической обработки.
- AutoForm (AutoForm Engineering GmbH, Швейцария) — специализированный программный комплекс моделирования процессов листовой штамповки и термической обработки, используемых в автомобилестроении.
- Stampack (Quantech, Испания) — универсальный программный комплекс моделирования процессов листовой штамповки.
- EnSight (CEI Software, США) — один из самых распространенных универсальных постпроцессоров для расчетных программ автоматизации инженерных расчетов (CAE), включая FlowVision и Abaqus.

Компания	Продукты/услуги	Рыночная ниша
<p>ЗАО НИЦ Стадио</p>	<p>СТАДИО™ — расчеты температурных, фильтрационных и иных полей, напряженно-деформированного состояния (НДС) и прочности произвольных комбинированных систем. АСТРА-НОВА™ — автоматизированное проектирование и комплексный прочностной расчет произвольных разветвленных и протяженных низко — и высокотемпературных трубопроводов атомных и тепловых (энергетических установок, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, тепловых сетей). СиМонЭкст™ — (совместная разработка с НИИЭС) — информационно-диагностическая система мониторинга и экспертной оценки безопасности эксплуатируемых сооружений</p>	<p>Специализированное ПО (инженерные расчеты, мониторинг безопасности эксплуатируемых сооружений)</p>
<p>ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»</p>	<p>Аппаратная часть: Разработка архивных систем. Разработка вычислительных систем среднего класса. Разработка высокопроизводительных ЭВМ. Создание защищенных сетей. Создание физических моделей. Развитие численных методов для математического моделирования. Программное обеспечение: Системное и прикладное ПО. ПО для обработки и представления результатов расчетов. Прикладные программные комплексы. Проведение моделирования по заказам сторонних организаций</p>	<p>Специализированное ПО (имитационное моделирование). Инжиниринговые услуги. Высокопроизводительные вычисления. СуперЭВМ</p>
<p>ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ»</p>	<p>Разработка приборов и оборудования (оптические детали, сборка лазерных систем). Услуги ядерной медицины. Поставка суперЭВМ. Расчетные технологии</p>	<p>Приборы и оборудование. Медицинские услуги. СуперЭВМ. Специализированное ПО (учет и управление энергоресурсами предприятия)</p>

Источник: ЦСР «Северо-Запад», СПбПУ по материалам компаний

О ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

ФГУП «Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» (РФЯЦ-ВНИИЭФ) — Федеральное государственное унитарное предприятие Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». Институт основан в 1946 г. для реализации советского атомного проекта. Здесь были разработаны первые отечественные атомная и водородная бомбы.

В настоящее время РФЯЦ-ВНИИЭФ — крупнейший научно-технический центр России, который успешно решает оборонные, научные и народнохозяйственные задачи. Основной задачей РФЯЦ-ВНИИЭФ было и остается обеспечение надежности и безопасности ядерного оружия России.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» обладает мощной расчетной, экспериментальной, испытательной, технологической и производственной базой, что позволяет оперативно и качественно решать возлагаемые на него задачи.

В состав ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» входят несколько институтов: теоретической и математической физики, экспериментальной газодинамики и физики взрыва, ядерной и радиационной физики, лазерно-физических исследований, научно-технический центр высоких плотностей энергии, а также конструкторские бюро и тематические центры, объединенные общим научным и административным руководством.

Адрес: 607188, Нижегородская обл., г. Саров, пр. Мира, 37

Тел.: 8 (83130) 2-48-02

Факс: 8(83130) 2-94-94

Email: staff@vniief.ru

<http://www.vniief.ru>

0 Саровском инновационном территориальном кластере

Саровский инновационный территориальный кластер расположен в Нижегородской области, которая является одним из крупнейших регионов Центральной России. Территорию Саровского инновационного кластера составляют территории закрытого административно-территориального образования г. Саров (Нижегородская область) и Технопарка «Саров», расположенного в 5 км от г. Саров в Дивеевском районе Нижегородской области.

Приоритетные рынки для развития предприятий кластера Сарова:

Рынок суперкомпьютеров (вычислительных машин и услуг, предоставляемых на базе суперкомпьютерных вычислений).

Рынок лазерных установок.

Рынок программного обеспечения.

Рынок ядерной медицины.

Рынок медицинского оборудования.

Другие, включая рынок космических технологий, материаловедения, услуг автоматизации, услуг проектирования и моделирования и проч.

На сегодняшний день РФЯЦ-ВНИИЭФ и компании малого и среднего бизнеса г. Сарова реализовали около двух тысяч проектов и контрактов в рамках международных программ сотрудничества, таких как Инициатива по предотвращению распространения (IPP), Инициатива ядерных городов (NCI), Российско-британская программа «Партнерство атомных городов» (NCP), сотрудничество в рамках Международного научно-технического центра (МНТЦ) и др. Осуществляется экспорт продукции более чем в 60 стран мира.

О Санкт-Петербургском государственном политехническом университете

Сегодня Санкт-Петербургский государственный политехнический университет — один из ведущих национальных исследовательских университетов России, единственный инженерно-технический вуз в СЗФО, победивший во всех конкурсных отборах ведущих российских вузов, проводимых Минобрнауки России в период с 2007 по 2013 гг. СПбГПУ — победитель конкурса инновационных образовательных программ в рамках Приоритетного национального проекта «Образование» (2007 г.), программ развития университетов, в отношении которых устанавливается категория «национальный исследовательский университет» (2010 г.), конкурсов в соответствии с постановлениями Правительства Российской Федерации №№ 218, 219 и 220 от 9 апреля 2010 г. (2010–2013 гг.).

СПбГПУ вошел в число 15 вузов России, ставших победителями конкурсного отбора на право получения субсидии Минобрнауки России в целях повышения их конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров — Программа «5-100-2020». Стратегическая цель СПбГПУ — модернизация и развитие университета как глобально конкурентоспособного научно-образовательного центра, интегрирующего мультидисциплинарные научные исследования и технологии мирового уровня и входящего в число ведущих мировых университетов.

В СПбГПУ обучается около 30 000 студентов и слушателей, более 850 аспирантов и докторантов. Общий контингент иностранных граждан, обучающихся в СПбГПУ, составляет более 3 000 человек из 98 стран. Численность сотрудников университета — более 6 000 человек. В подготовке студентов принимают участие более 3 000 преподавателей, свыше 500 профессоров, докторов наук, 25 академиков и членов-корреспондентов РАН. Доля преподавателей в возрасте от 30 до 49 лет составляет 30%.

СПбГПУ входит в число 500 ведущих университетов в мире, занимая 451–460 место в рейтинге лучших мировых университетов QS World University Rankings.

В 2013 г. пилотный проект СПбГПУ по созданию и развитию Инжинирингового центра «Центр компьютерного инжиниринга» победил в конкурсе Минобрнауки и Минпромторга по отбору пилотных проектов по созданию и развитию инжиниринговых центров на базе ведущих университетов России. Инжиниринговый центр СПбГПУ — один из 11 проектов-победителей в России, единственный Инжиниринговый центр в Санкт-Петербурге, единственный Инжиниринговый центр в области компьютерного инжиниринга в России.

С 2012 г. университетом осуществляется развитие стратегической инициативы «Профессиональное сообщество практик «Материаловедение — Инжиниринг — Промышленный дизайн» (ПСП МИП), поддержанной Президентом Российской Федерации В. В. Путиным, председателем наблюдательного совета АНО «Агентство стратегических инициатив по продвижению новых проектов».

СПбГПУ является участником 20 программ инновационного развития госкомпаний, в том числе: ГК «Ростехнологии», ГК «Росатом», «Газпром», «АВТОВАЗ», «ОПК «Оборонпром», «ОАК», «ОСК», «Нефтяная компания «Роснефть», «РусГидро», «РКК «Энергия» им. С.П. Королева», «ФСК ЕЭС», «Холдинг МРСК», «Концерн «МПО-Гидроприбор», «ЦТСС» и др.; семи технологических платформ; членом Ассоциации ведущих университетов России и ассоциации «Консорциум опорных вузов ГК «Росатом»; участником девяти инновационных территориальных кластеров Санкт-Петербурга; 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 высокотехнологичных 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>

О Фонде «Центр стратегических разработок «Северо-Запад»»

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

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>