Системы высокопроизводительных вычислений в 2011–2012 годах: обзор достижений и анализ рынка

Часть I

Сергей Павлов, Dr. Phys.

Источником вдохновения для подготовки наших ежегодных двухчастных обзоров систем высокопроизводительных вычислений **(ВПВ)** или *High-Performance Computing* **(*HPC*)**, как и прежде, является ***Top500*** – мировой рейтинг, который дважды в год, начиная с июня 1993 г., ранжирует самые мощные суперкомпьютеры. Таким образом, нынешний 2012-й год, с его недавно опубликованным 39-м и грядущим в ноябре 40-м списками *Top500*, замыкает первое 20-летие систематически документированной гонки за *флопсами*. Планка достижений повышается с завидной регулярностью, примерно раз в 11 лет: 1997 год – терафлопс, 2008 год – петафлопс… Следующая веха ожидается в 2019 году – *экзафлопсный* суперкомпьютер с быстродействием 10^{18} *FLOPS*.

Однако прогресс не довольствуется даже этим, и уже началось обсуждение возможности построения суперкомпьютера с производительностью еще на три порядка больше – в один *зеттафлопс* (1 *ZFLOPS* = 10^{21} *FLOPS*). Если темпы роста показателей сохранятся, то такой супервычислитель должен появиться в 2030 году. Ключевым здесь является вопрос о границах возможностей существующих технологий и об их достаточности для решения подобной задачи, поскольку высказываются мнения, что *S*-кривая развития современных технологий уже вышла на стадию насыщения.

В качестве зачина, дабы оценить прогресс вычислительной техники за истекшие 20 лет, сравним размеры суперкомпьютера, возглавившего 1-й список *Top500*, с современной рабочей станцией (рис. 1). Реальная производительность обеих систем составляет порядка 100 *GFLOPS*.

Ну а теперь плавно перейдем к обзору достижений и анализу….

Первая часть статьи будет посвящена преимущественно финансовым вопросам: характеристикам *HPC*-рынка как сегмента серверного и процессорного рынков, а также доходам “королей” – поставщиков *HPC*-систем и процессоров для них (к *HPC*-“королям” мы относим многопрофильные компании-мультимиллиардеры).

Во второй части, которая будет подготовлена к завершающему этот год номеру журнала, мы сосредоточимся на достижениях, зафиксированных в весеннем и осеннем рейтингах *Top500*.

Начало нашего обзора будет несколько необычным – мы ознакомимся с положением дел на рынках,

Progress stages: a – installed at Los Alamos National Laboratory supercomputer CM-5/1024 from Thinking Machines Corporation, leader of Top500 the 1st list in 1993 with peak speed 131 GFLOPS; b – released in 2012 workstation Z1 (form-factor All-in-one), based of quad-core Intel Xeon E3-1280 processor with speed 112 GFLOPS

Источник: *IT Clips*

Источник: *Hewlett Packard*

Рис. 1. Этапы прогресса: a – установленный в Лос-Амамосской национальной лаборатории суперкомпьютер CM-5/1024 от Thinking Machines Corporation, лидер списка №1 Top500 в 1993 году, с пиковой производительностью 131 GFLOPS; b – рабочая станция Z1 (форм-фактор All-in-one) на базе 4-ядерного процессора Intel Xeon E3-1280 (112 GFLOPS), и выпущенная в 2012 году

которые ранее не рассматривались в обзорах по ВПВ, однако в ближайшем будущем, благодаря достижениям **мобильной революции**, могут оказать значительное влияние на, если так можно выразиться, *мейнстримизацию* ВПВ. (Напомним, что мобильная революция, как **третий этап VI информационной революции,** характеризуется массовым распространением технологий для мобильного использования всевозможного цифрового контента – см. статью "В 2011 году фондовый рынок впервые оценил высокотехнологичную компанию выше нефтяной", *Observer #2/2012*.)

Progress stages: a – personal computer (form-factor tower) based on Pentium 4 Extreme Edition processor (speed 9726 MIPS) released in 2003; b – smartphone based on Qualcomm Krait processor (speed 9900 MIPS) released in 2011

Источник: *Samsung*

Рис. 2. Этапы прогресса: a – персональный компьютер (форм-фактор tower) с процессором Pentium 4 Extreme Edition (быстродействие 9726 MIPS) 2003 года выпуска; b – смартфон на базе процессора Qualcomm Krait (9900 MIPS) 2011 года выпуска

Мобильная революция: что это означает для *CAE*?

Благодаря достижениям в сфере информационных технологий, в руках (в прямом смысле этого слова!) инженера-аналитика и конструктора появились новые инструменты – ноутбуки (*laptop*), планшетники (*tablet*), смартфоны и мобильные телефоны. Еще совсем недавно такая вычислительная мощь и возможности визуализации были доступны на стационарном компьютере в основном для продвинутых пользователей. Теперь же подобные мобильные устройства рассчитаны на массовое применение самым широким кругом пользователей.

Чтобы в этом убедиться, посмотрим на рис. 2: современный смартфон оснащен процессором, быстродействию которого лет десять назад мог позавидовать профессионал, работающий на офисной рабочей станции. Прогресс в развитии вычислительных систем на базе графических процессов позволяет отображать с высоким разрешением даже на экране смартфона пространственные модели крайне сложных машиностроительных изделий (рис. 3).

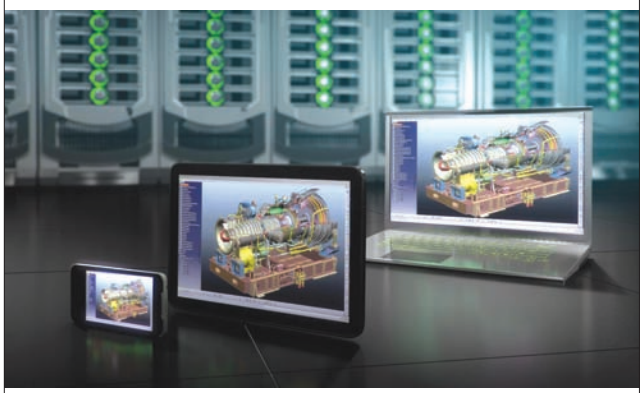
Ключевое дополнение к вычислительной и графической мощности мобильных систем – это средства телекоммуникаций, обеспечивающие выход в интернет. В какой бы точке мира ни находился конструктор или инженер-аналитик, это открывает ему доступ к информационным и вычислительным ресурсам, обеспечивает возможность подключения к корпоративной сети.

Конечно, серьезные ресурсоёмкие инженерные расчеты на мобильных системах вряд ли когда-либо будут производиться – для этого разумнее дистанционно обратиться к вычислительным ресурсам территориально удаленного суперкомпьютерного центра. Тем не менее, ресурсов и планшетника, и смартфона, не говоря уже о ноутбуке, уже сейчас вполне достаточно для того, чтобы обеспечивать инженеру-аналитику и конструктору, например, такие действия:

- обращение к хранящейся на корпоративном сервере базе данных об изделии;
- подготовка данных для многовариантных расчетов;
- запуск *солвера* системы инженерного анализа;
- контроль над процессом вычислений;
- просмотр результатов моделирования процессов – как графических изображений в статике, так и анимационных фильмов, демонстрирующих параметры изучаемого процесса в динамике.

Чтобы выяснить, как пользователи *CAE*-систем относятся к применению мобильных систем для

Aviation engine 3D model at smartphone, tablet and notebook displays using VGX technology from NVIDIA



Источник: *NVIDIA*

Рис. 3. Отображение 3D-модели авиационного двигателя на экране смартфона, планшетника и ноутбука с использованием технологии VGX от NVIDIA

инженерных расчетов, аналитическая компания *CIMdata* провела опрос под названием, которое вынесено в заголовок этого раздела – *The mobility revolution: What does it mean for CAE?*

В качестве респондентов выступили, как обычно, посетители сайта *CIMdata*. Хотя аналитики *CIMdata*, традиционно предупреждают, что результаты опроса являются *anecdotal*, то есть не систематичными (просьба не путать с дословным переводом ☺), по ним вполне можно судить об отношении корпоративной администрации к проблемам безопасности данных и режиму удаленного доступа к ним, а также получить представление о гаджетных вкусах инженеров-аналитиков. Итак:

- У меня нет необходимости во внешнем (извне корпоративного брандмауэра) доступе к данным – 23%;
- В нашей компании внешний доступ к данным моделирования процессов запрещен – 33%;
- В нашей компании внешний доступ к данным разрешен только с использованием принадлежащих компании ноутбуков через *Virtual Private Network* (*VPN*) – 40%;
- Я имею доступ к данным с моего домашнего ПК – 20%;
- Я имею доступ к данным с любого публичного компьютера – 13%;
- Я имею беспроводной доступ к данным с предоставленного компанией мобильного устройства (планшетника или смартфона) – 13%;
- Я имею беспроводной доступ к данным с моего собственного, а не предоставленного компанией, мобильного устройства (планшетника или смартфона) – 17%;
- Я думаю, что политика нашей компании, касающаяся разрешения доступа извне к *CAE*-данным и другой корпоративной информации с использованием мобильных устройств, в ближайшее время изменится – 20%.

О распространенности применения мобильных устройств в *PLM*-среде позволяет судить еще один опрос компании *CIMdata*:

- Мобильные устройства (смартфоны, планшетники и др.) уже опробованы в качестве пользовательских инструментов при работе в нашей корпоративной *PLM*-среде – 13%;
- Возможности мобильных устройств впечатляют, и их интеграция в нашу корпоративную *PLM*-среду уже началась – 46%;
- Возможности мобильных устройств впечатляют, однако в ближайшее время они не будут использоваться в нашей корпоративной *PLM*-среде – 30%;
- У мобильных устройств есть свое место в бизнесе, но не в нашей корпоративной *PLM*-среде – 11%.

Рынок мобильных устройств

Приведенные результаты опроса свидетельствуют о росте популярности мобильных устройств среди продвинутых пользователей корпоративных *CAE*- и *PLM*-систем. Конечно, число устройств, приходящихся на подобных потребителей, составляет относительно небольшую часть объема мировых поставок мобильных устройств. Тем не менее, для этого сегмента рынка проявляются, по всей вероятности, те же тенденции, что и для рынка в целом. Этим обстоятельством объясняется наш интерес к рынку мобильных устройств.

*PC market's shipment and growth rates for 2010÷2012 as well as forecast for 2012÷2016 (marked with *)*

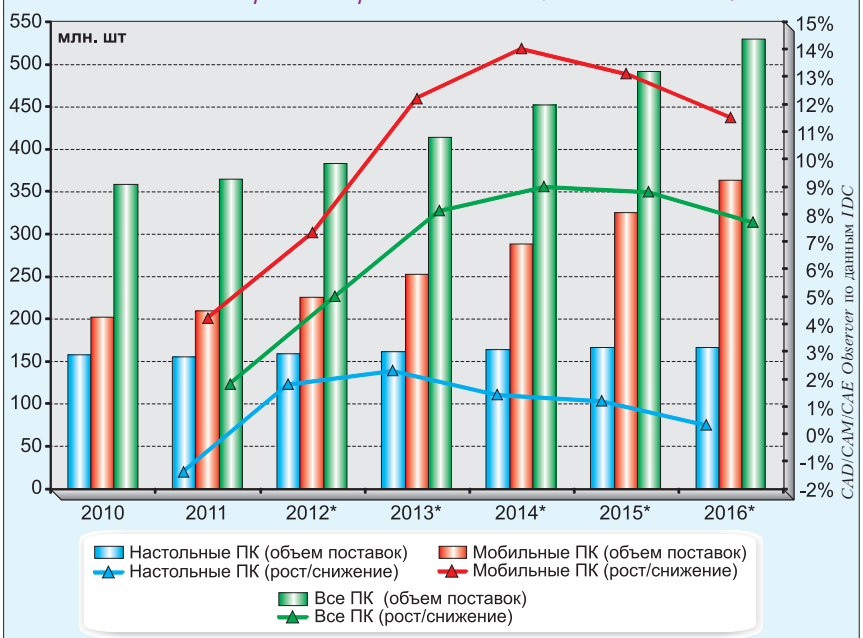


*Рис. 4. Объем поставок и темпы роста/снижения объема поставок ПК в 2010–2011 гг., а также прогноз на 2012–2016 гг. (отмечены *)*

✓ Мобильные ПК

Если рассматривать всю номенклатуру мобильных устройств, то, наверное, наиболее сформировавшимся здесь является рынок мобильных ПК, как сегмент рынка ПК. Систематические наблюдения здесь ведутся компанией *IDC*. Её аналитики недавно подготовили прогноз до 2016 года (рис. 4), который предусматривает существенно более высокие темпы роста поставок мобильных ПК по сравнению с настольными ПК. Кроме того, рис. 4 иллюстрирует развитие тенденции **превышения объемов поставок мобильных ПК над объемами поставок настольных ПК**, впервые зафиксированной еще в 2009 году.

На рынке ПК лидируют компании *Hewlett-Packard* (*HP*), *Lenovo*, *Dell*, *Acer Group* и *ASUSTeK Computers* (*ASUS*) (рис. 5), среди которых по предыдущим обзорам нам хорошо знакомы *HP* и *Dell* – как поставщики серверов и *HPC*-систем. Отметим, что определенное время производителем ПК была и компания *IBM* – пока не продала этот бизнес компании *Lenovo*. Подобный шаг хотела сделать и

компания *HP*. И вот сейчас, после завершения периода падения продаж (который начался, когда было объявлено о выделении бизнеса, связанного с производством ПК, в отдельную компанию; об отказе от этих планов сообщило уже новое руководство компании), *HP* снова смогла возглавить список лидеров рынка ПК.

✓ Планшетные компьютеры

На рынке планшетников безраздельно господствует компания *Apple* (рис. 6), которая в 2010 году вывела на рынок инновационное изделие *iPad*. Отметим, что аналитики *IDC* к рынку планшетников присовокупили рынок электронных книг (*e-reader*). Скорее всего, в обозримом будущем, по мере расширения числа производителей планшетников, а также становления рынка в целом, необходимость в таком объединении отпадет. А пока среди вендоров, выпускающих планшетные компьютеры, на втором месте идет *Samsung*.

Рынок планшетных компьютеров быстро растет, и о его привлекательности можно судить, например, по устремлениям лидеров софтверной *IT*-индустрии – *Microsoft* и *Google*. Недавно эти компании представили свои собственные разработки, заявив, таким образом, о своих хардверных амбициях. Компания *Microsoft* будет оснащать свои планшетники новой версией операционной системы *Windows 8*, подготовленной в двух вариантах – для процессоров с системами команд *x86* и *ARM*. Еще один миллиардер, компания *Intel*, производящая процессоры *x86*, решила для конкуренции с планшетниками вообще сформировать особый рынок – *ультрабуков* (хотя этот форм-фактор скорее можно отнести к классу мобильных ПК).

Как бы то ни было, этот рынок еще только формируется, так что распределение долей пятерки лидеров, а также её состав, будут меняться от квартала к кварталу. Сейчас сложно прогнозировать, чей *девайс* окажется по вкусу пользователям, и кому из вендоров удастся поколебать прочные позиции *Apple*.

✓ Смартфоны

Рынок смартфонов начал бурно расти в 2007 году, после выпуска компанией *Apple* своего прорывного изделия *iPhone*, во многом определившего направление развития целого класса мобильных устройств.

По данным компании *IDC*, **в IV кв. 2010 г. квартальный объем поставок смартфонов впервые**

PCs market leaders' shipment and shares in 1st quarter 2012

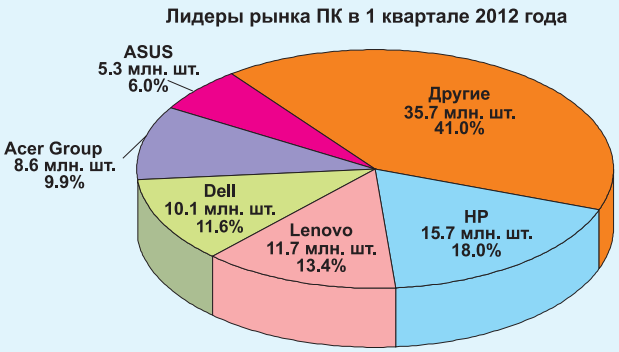


Рис. 5. Объем поставок ПК и рыночные доли лидеров в I кв. 2012 г.

Media tablets and e-readers market leaders' shipment and shares in 4th quarter 2011

Рис. 6. Объем поставок планшетников и электронных книг и рыночные доли лидеров в IV кв. 2011 г.

CAD/CAM/CAE Observer по данным IDC

Smartphones market leaders' shipment and shares in 1st quarter 2012

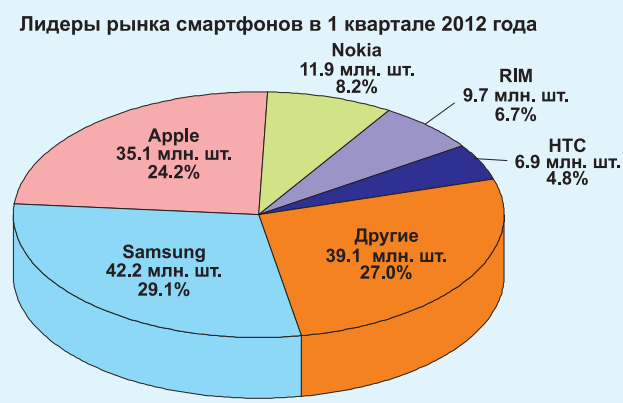


Рис. 7. Объем поставок смартфонов и рыночные доли лидеров в I кв. 2012 г.

Mobile phones market leaders' shipment and shares in 1st quarter 2012

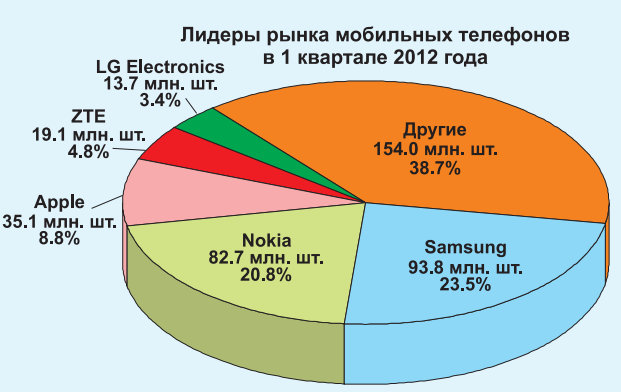


Рис. 8. Объем поставок мобильных телефонов и рыночные доли лидеров в I кв. 2012 г.

CAD/CAM/CAE Observer по данным IDC

IBM Sequoia with real speed 16.325 PFLOPS, the champion of world's supercomputers Top500 list in June 2012, have been mounted with 98304 sixteen-core processors Power BQC 16C 1.6GHz

Источник: Lawrence Livermore National Laboratory

Рис. 9. IBM Sequoia с реальным быстродействием 16.325 PFLOPS, рекордсмен суперкомпьютерного рейтинга Top500 в июне 2012 года, смонтирован из 98304 шестнадцатиядерных процессоров Power BQC 16C 1.6GHz

превысил объем поставок ПК – 100.9 и 92.1 млн. штук соответственно. В соответствии с прогнозом *IDC*, в 2012 году такая ситуация ожидается и для годовых объемов поставок. Эта тенденция отмечена и другими аналитическими компаниями (их данные отличаются друг от друга в зависимости от применяемой методики оценки). Как бы то ни было, аналитики компании *Canalys* объявили о победе смартфонов уже в 2011 году.

Возглавляет список лидеров рынка смартфонов компания *Samsung* (рис. 7), недавно обошедшая *Apple*. Помимо них, в первую пятерку входят *Nokia*, *Research In Motion* (*RIM*) и *High Tech Computer* (*HTC*).

Рынок смартфонов, как и рынок планшетников, сегодня крайне привлекателен. Так, среди вендоров замечены *HP*, *Dell* и *Fujitsu*, а недавно о выпуске своего смартфона объявила и компания *Intel*. Последняя уже давно стремится выйти на этот рынок и, будучи производителем процессоров с системой команд *x86*, вступить в открытую конкуренцию с устройствами на базе процессоров с архитектурой *ARM*, которая пока является безраздельным лидером для коммуникационных устройств.

✓ Мобильные телефоны

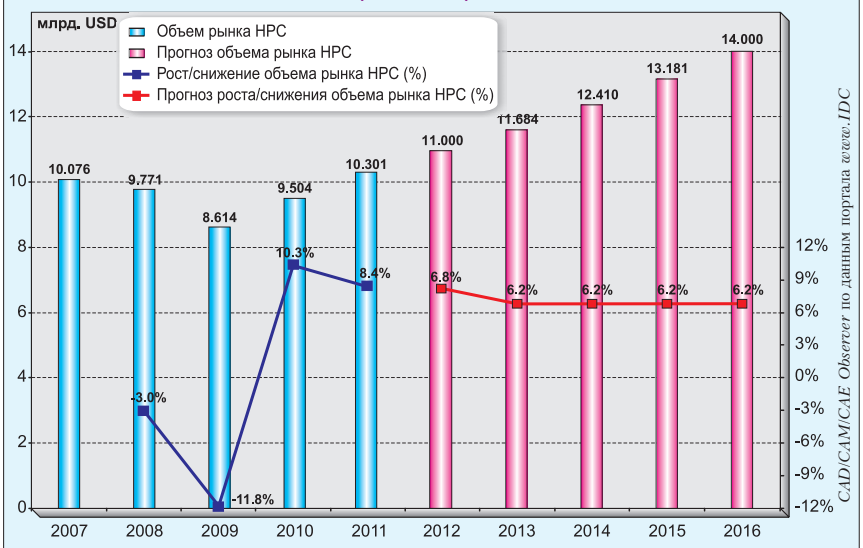
Что касается рынка мобильных телефонов, на развитие которых сильное влияние оказывают повышающаяся вычислительная мощь процессоров и расширяющаяся функциональность смартфонов, то первое место на нём принадлежит *Samsung* (рис. 8). Эта компания недавно опередила многолетнего лидера – *Nokia*. Помимо них, в первую пятерку входят компании *Apple*, *ZTE* и *LG Electronics*.

За бурными изменениями последних лет, которые сопровождаются перераспределением капитала между рынками мобильных телефонов и смартфонов, пока не могут угнаться компании *Nokia* и *RIM*. Руководство этих компаний обсуждает и реализует различные варианты оздоровления, а аналитики предрекают возможное их поглощение другими производителями. К примеру, такой акулой может оказаться компания *Microsoft*, которая, вслед за планшетником, захочет удивить мир выпуском своего смартфона, несмотря на неудачный опыт недавнего прошлого и на заверение, что в планах компании выпуск смартфона не значится.

И в завершение краткого экскурса в мир мобильных устройств еще одно важное замечание. Для обеспечения эффективного функционирования мобильных устройств и доставки контента, необходимого пользователю, в любую географическую точку, где этот пользователь находится, требуется соответствующая инфраструктура, и даже более того – экосистема. Построение такой инфраструктуры базируется на облачной концепции.

В наших последующих обзорах мы обратимся также и к облачной тематике. Поскольку интересы автора связаны с развитием методов инженерного анализа и моделирования процессов, то первыми в число объектов исследования попадут организация вычислений с применением мобильных устройств и достижения в сфере облачных вычислений в наступившей “эре после ПК”. Своему рождению этот новый термин (по-английски – *Post-PC Era*) обязан стремительному росту использования мобильных устройств для решения разнообразных, в том числе и инженерно-технических,

HPC market's size and growth rates for 2007÷2011 as well as forecast for 2012÷2016



CAD/CAM/CAE Observer по данным портала *www.IDC*

Рис. 10. Объем и темпы роста/снижения объема рынка ВПВ в 2007–2011 гг., а также прогноз на 2012–2016 гг.

задач в сравнении с настольными компьютерами.

Лидеры мирового рейтинга суперкомпьютеров *Top500*

Теперь перейдем к традиционной тематике наших обзоров. Сначала рассмотрим некоторые достижения *HPC*-индустрии, зафиксированные в 39-м списке мирового рейтинга *Top500*.

По показателю реальной производительности к июню 2012 года петафлопсовый барьер преодолело два десятка супервычислителей из семи стран: США (7 систем), Япония (4), Германия (2), Китай (2), Италия (1), Франция (2), Великобритания (2).

Если принимать во внимание пиковую производительность, то можно добавить к ним еще 9 систем; при этом в списке стран окажется и Россия.

Приведем основные параметры нового рекордсмена и систем, вошедших в первую десятку.

Servers' and HPC systems' markets sizes and growth rates for 2007÷2011

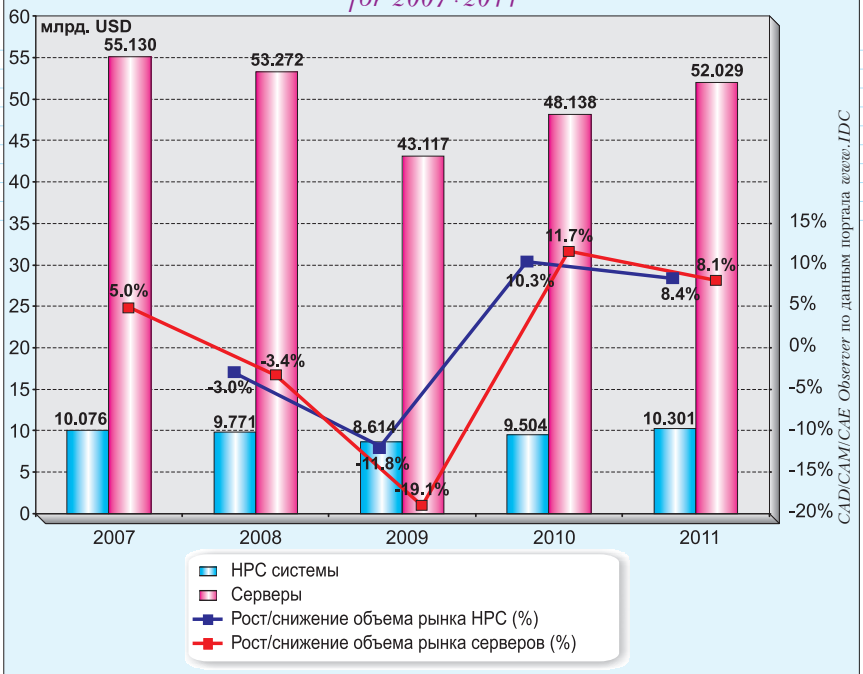


Рис. 11. Объемы и темпы роста/снижения объемов рынков серверов и систем ВПВ в 2007–2011 гг.

1 Впервые с ноября 2009 года рейтинг возглавил американский суперкомпьютер – построенный в 2012 году компанией *IBM* супервычислитель ***Sequoia*** с архитектурой *Blue Gene/Q* (рис. 9). Он установлен в Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса (*Lawrence Livermore National Laboratory*) в Калифорнии.

Система *Sequoia* построена на базе 16-ядерных процессоров *Power BQC 16C* (тактовая частота 1.6*GHz*) собственного айбиэмовского производства. Чтобы обеспечить реальное быстродействие **16.325 *PFLOPS*,** понадобилось в общей сложности 1 572 864 ядер. Вычислительная эффективность – отношение реальной и пиковой производительности – составила 81%.

Энергоэффективность "Секвойи" составляет 2069.04 *MFLOPS/W*, что обеспечило ей 19-е место по этому показателю среди всех систем, включенных в *Top500*, и 3-е место, если рассматривать только первую десятку.

2 Лидер двух предыдущих рейтингов, японский ***"K computer"*** компании *Fujitsu*, первым в мире преодолевший рубеж в 10 квадриллионов операций с плавающей точкой в секунду и достигший производительности **10.51 *PFLOPS*** (пиковое значение – 11.28 *PFLOPS*), оказался на втором месте.

Для строительства этого супервычислителя на базе Института физико-химических исследований (*RIKEN*) в городе Кобе потребовалось 88 128 восьмиядерных процессоров *SPARC64 VIIIfx*, содержащих в общей сложности 705 024 ядра.

По энергоэффективности система занимает всего лишь 57-е место с показателем 830.18 *MFLOPS/W*.

HPC market segments of HPC systems' price for 2007÷2011

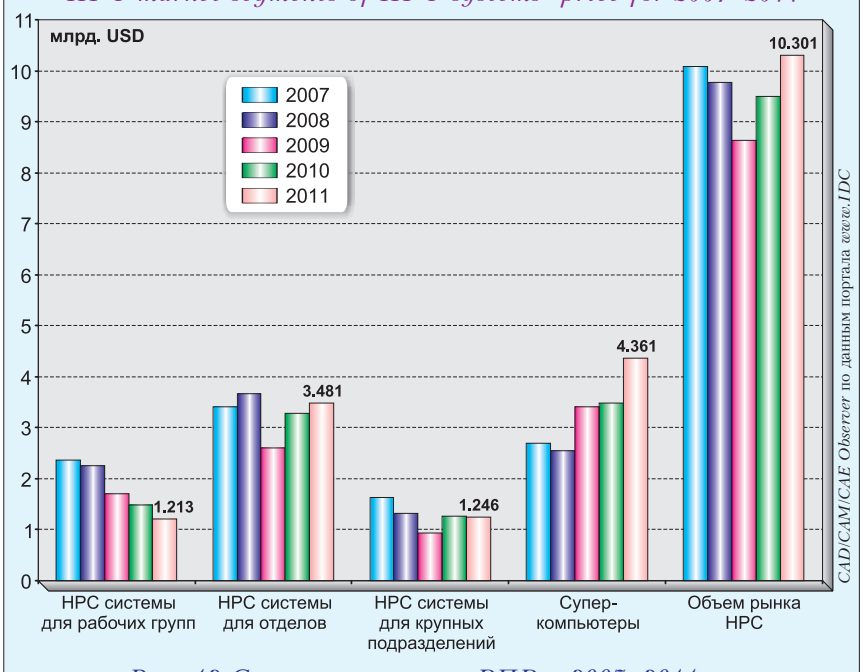


Рис. 12 Структура рынка ВПВ в 2007–2011 гг. в разрезе стоимости систем ВПВ

HPC market segments of HPC systems' price in 2011

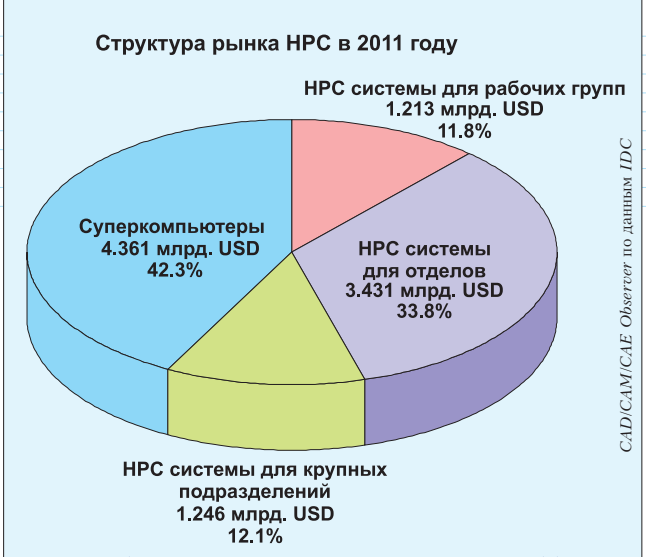


Рис. 13. Структура рынка ВПВ в 2011 г. в разрезе стоимости систем ВПВ

3 Третьим призером стал суперкомпьютер ***Mira***, построенный в 2012 году компанией *IBM* для Аргонской национальной лаборатории (*Argonne National Laboratory*). Система базируется на архитектуре *Blue Gene/Q*. Реальное быстродействие – **8.153 *PFLOPS***, что обеспечивается 16-ядерными процессорами *Power BQC 16C* с общим числом ядер 786 432.

4 На 4-е место в топе поднялся самый мощный европейский суперкомпьютер ***SuperMUC*** с быстродействием **2.897 *PFLOPS*** и вычислительной эффективностью 91%. Система с архитектурой *IBM iDataplex* создана в 2012 году на базе процессоров от *Intel* и размещена в Суперкомпьютерном центре им. Лейбница (*Leibniz Supercomputing Centre*) в Гархинге (федеральная земля Бавария, ФРГ).

5 На 5-е место опустился лидер 36-го списка – китайский суперкомпьютер ***Tianhe-1A***, установленный в Национальном суперкомпьютерном центре (*National Supercomputing Center*) в гор. Тяньцзинь. Реальное быстродействие, зафиксированное тестами *LINPACK*, составляет **2.566 *PFLOPS***, а пиковый (расчетный) показатель – 4.701 *PFLOPS*.

Напомним, что *Tianhe-1A* является собственной китайской разработкой Национального университета оборонных технологий (*National University of Defense Technology – NUDT*). Система относится к гибридным, и в ней сочетаются центральные процессоры *Intel Xeon X5670* и графические процессоры *NVIDIA*.

6 Шестое место теперь занимает лидер 34-го и 35-го списков – суперкомпьютер ***Jaguar*** от компании *Cray*, который после апгрейда, выполненного в 2012 году, обеспечивает реальное быстродействие **1.941 *PFLOPS*** (пиковое – 2.628 *PFLOPS*). Система установлена в Окриджской национальной лаборатории (*Oak Ridge National Laboratory*), расположенной в штате Теннеси (США).

7 На седьмом месте оказался суперкомпьютер ***Fermi*** с архитектурой *IBM BlueGene/Q*, построенный в 2012 году для ***CINECA*** – консорциума, куда входит порядка 50-ти итальянских университетов. Быстродействие системы – **1.725 *PFLOPS*** (пиковое – 2.097 *PFLOPS*).

8 На восьмое место поднялся супервычислитель ***JuQUEEN*** с архитектурой *IBM BlueGene/Q*, установленный в 2012 году в Исследовательском центре Юлих (*Forschungszentrum Juelich*) в Германии. Реальное быстродействие системы – **1.38 *PFLOPS*** (пиковое – 1.678 *PFLOPS*).

Servers market segments of operating systems in 2011

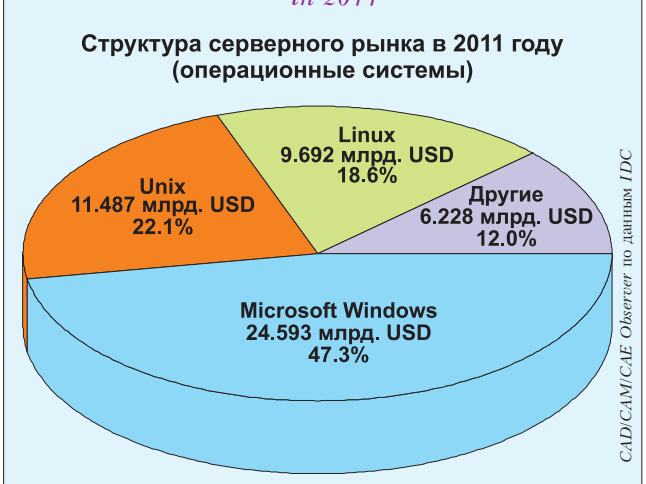


Рис. 14. Структура рынка серверов в 2011 г. в разрезе применяемых операционных систем

Servers market segments of processor command systems in 2011

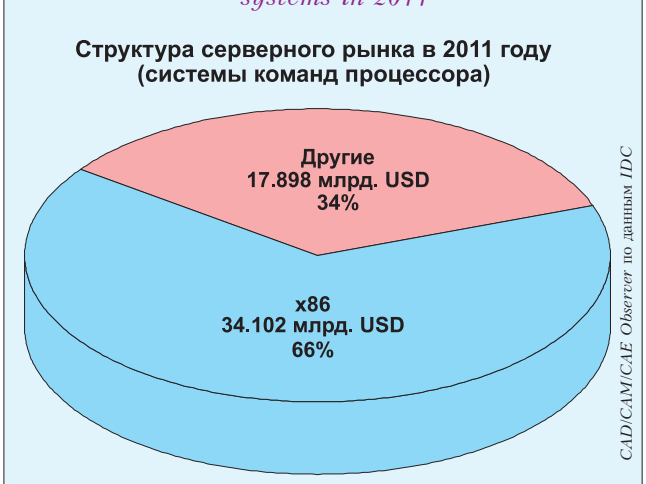


Рис. 15. Структура рынка серверов в 2011 г. в разрезе систем команд применяемых процессоров

9 Французский суперкомпьютер ***"Curie thin nodes"*** занимает 9-е место. Его вычислительная мощь составляет **1.359 *PFLOPS*** (пиковое значение – 1.667 *PFLOPS*). Система установлена в вычислительном центре *Très Grand Centre de Calcul* (*TGCC*) в местечке *Bruyères-le-Châtel* близ Парижа (Франция). Супервычислитель построен в 2012 году на базе "лезвий" от французской компании *Bull*, в которых применяется процессор *Intel Xeon E5-2680 8C*.

10 С 4-й позиции на 10-ю переехал супервычислитель ***Nebulae*** с быстродействием **1.271 *PFLOPS*** (пиковое – 2.984 *PFLOPS*), который первым из китайских суперкомпьютеров преодолел петафлопсовый барьер. Напомним, что система является гибридной и построена на процессорах *Intel X5650* и графических процессорах *NVIDIA Tesla C2050*.

Рекордсменом первой десятки рейтинга является компания *IBM*, построившая пять суперкомпьютеров с общей производительностью 30.49 *PFLOPS*.

HPC systems vendors' revenues and HPC market size for 2007÷2011

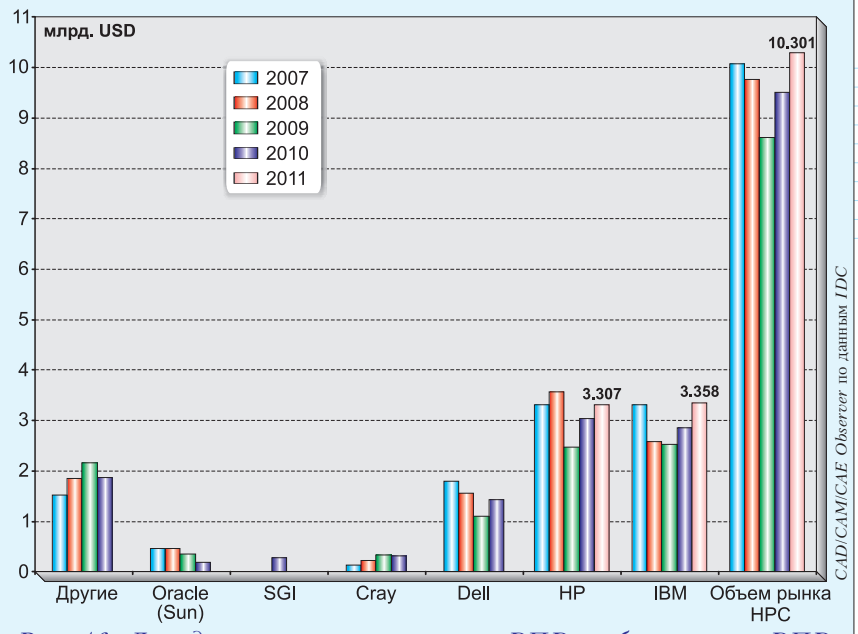


Рис. 16. Доходы поставщиков систем ВПВ и объем рынка ВПВ в 2007–2011 гг.

Состояние мирового рынка *HPC* и серверного рынка

Теперь перейдем к анализу состояния рынка *HPC* и финансовых показателей его лидеров. Напомним, что **источником цифровых данных является компания *IDC***, изучающая рынок *HPC* как сегмент серверного рынка, начиная с 1999 года. На построенных автором графиках данные *IDC* сопоставляются начиная с 2007 года, когда компания усовершенствовала свой аналитический инструментарий, что позволило более точно определять долю *HPC*-сегмента в общем "пироге" серверного рынка.

Напомним также еще раз, что с эволюцией оценок и прогнозов рынка, которые компания *IDC* сделала с помощью старой методики, можно ознакомиться в наших предыдущих обзорах. При этом приведенные ниже цифры могут незначительно отличаться от опубликованных в более ранних наших обзорах, поскольку компания *IDC* постоянно уточняет свои прежние данные (хотя и не акцентирует на этом внимания читателей своих отчетов).

По результатам 2011 года, объем рынка *HPC* вырос до 10.301 млрд. долларов (рис. 10), что означает **увеличение на 8.4%** в сравнении с 2010 годом. В первом послекризисном году объем рынка *HPC* вырос, в сравнении с предыдущим, 2009 годом, на 10.3% – до 9.504 млрд. долларов. До того, в кризисном 2009-м, рынок ужался на 11.8% в сравнении с 2008 годом – до 8.614 млрд. В свою очередь, в 2008 году объем рынка уменьшился до 9.771 млрд. – то есть на 3% в сравнении с 2007 годом (в 2007 г. компания *IDC* с помощью новой методики сделала переоценку объема рынка до величины 10.076 млрд. долларов). Таким образом, в 2011 году объем рынка впервые превысил лучший докризисный показатель 2007 года.

В соответствии с обновленным прогнозом аналитиков компании *IDC*, объем рынка *HPC* будет расти в среднем на 6.2% в год и к 2016 году достигнет 14 млрд. долларов (рис. 10).

Динамика серверного рынка, сегментом которого является рынок *HPC*, показана на рис. 11. **Доля *HPC*-систем составляет без малого пятую часть объема серверного рынка**: в 2009, 2010 и 2011 годах – 19.98%, 19.74% и 19.8% соответственно. Ранее, в 2007 и 2008 гг., эта доля была несколько меньше и составляла соответственно 18.28% и 18.34%.

HPC market leaders' revenues and shares in 2011

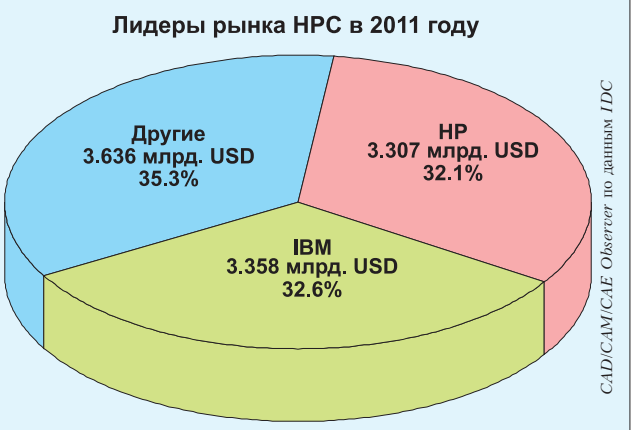


Рис. 17. Доходы и доли лидеров рынка ВПВ в 2011 г.

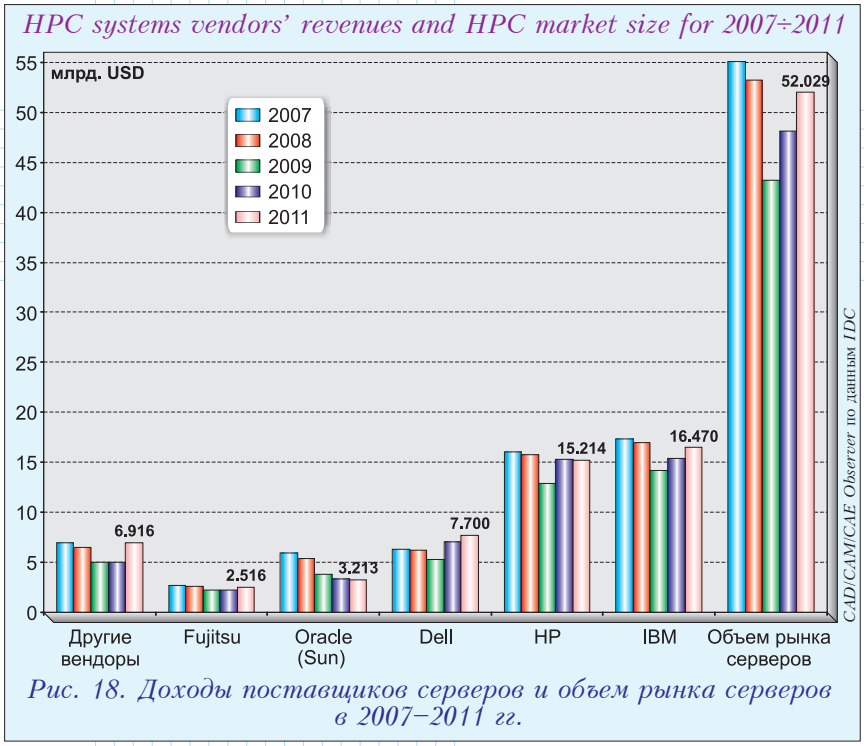


Рис. 18. Доходы поставщиков серверов и объем рынка серверов в 2007–2011 гг.

В 2011 году объем серверного рынка вырос, по сравнению с 2010 годом, на 8.1% – до 52.029 млрд. долларов (рис. 11). Это несколько ниже темпов роста в первый посткризисный 2010 год: тогда объем серверного рынка вырос в сравнении с 2009 годом на 11.7% – до 48.138 млрд. Напомним, что в период кризиса этот рынок существенно сжался: в 2009 году его объем составил 43.1 млрд. – падение на 19.1% по сравнению с 53.3 млрд. в 2008 году или на 21.8% по сравнению с 55.1 млрд. в 2007 году.

И по годовым, и по квартальным данным можно сделать заключение, что полного восстановления показателей рынка серверов еще не произошло: максимальный докризисный объем (15.674 млрд. долларов) был зафиксирован в IV кв. 2007 года, а максимальный послекризисный объем пока был достигнут в IV кв. 2010 года – 14.959 млрд. долларов (рис. 20).

Структура рынка *HPC* и серверного рынка

✓ Классификация *HPC*-систем по стоимости

Структура рынка *HPC* анализируется компанией *IDC* на базе своей классификации по стоимости *HPC*-систем (в скобках даны оригинальные названия сегментов на английском языке):

- суперкомпьютеры (*supercomputers*) имеют стоимость свыше 500 тыс. долларов;
- системы для крупных подразделений (*divisional*) – от 250 до 500 тыс. долларов;
- системы для отделов (*departmental*) – от 100 до 250 тыс. долларов;
- системы для рабочих групп (*workgroup*) – до 100 тыс. долларов.

Если сравнивать объем сегментов рынка *HPC* в денежном выражении в 2011 году с докризисными показателями 2007 года, получается следующая картина. Бурный рост в размере 62.5% наблюдается в сегменте *supercomputers* – с 2.7 до 4.4 млрд. долларов (рис. 12). Почти на половину уменьшился объем сегмента *workgroup* – до 1.2 млрд. (то есть на 48.8%), а сегмент *divisional* похудел почти на четверть – до 1.25 млрд. (на 23.3%). Объем сегмента *departmental* чуть-чуть вырос – до уровня 3.5 млрд. долларов (на 2.4%).

Между системами *HPC* различной стоимости по результатам 2011 года рыночный "пирог" поделился следующим образом (рис. 13): *supercomputers* – 42.3%; *departmental* – 33.8%; *divisional* – 12.1%; *workgroup* – 11.8%.

✓ Операционные системы для серверов

В 2011 году при оснащении серверов преимущество отдавалось операционной системе *Microsoft Windows* – 47.3% или 24.6 млрд. долларов (рис. 14). Далее следуют *Unix* и *Linux* – 22.1% (11.5 млрд. долл.) и 18.6% (9.7 млрд. долл.) соответственно.

Любопытно, что на подавляющем большинстве суперкомпьютеров из *Top500* инсталлируется ОС *Linux*, тогда как *Windows* управляет работой всего двух систем.

✓ Системы команд процессоров, применяемые в серверах

В 2011 году доля стоимости серверов на базе процессоров с системой команд *x86* составила примерно две трети – 66% или 34.1 млрд. долларов (рис. 15). Серверы на базе процессоров с альтернативными системами команд обошлись пользователям, в общей

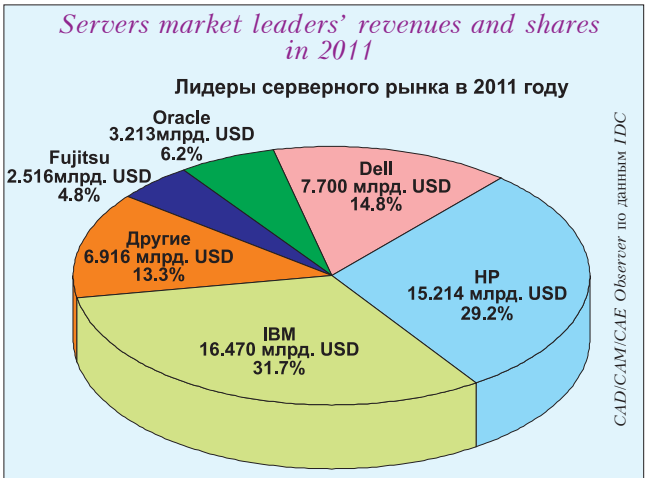


Рис. 19. Доходы лидеров рынка серверов и их рыночные доли в 2011 г.

сложности, в сумму 17.9 млрд. долларов (34% объема рынка).

Ожидается, что положение дел в ближайшие год-два может поменяться, поскольку уже началось тестирование серверов на базе *ARM*-процессоров (пока с 32-битной адресацией); экспериментальные образцы созданы компаниями *HP* и *Dell*.

Напомним, что *ARM* лидирует на рынке процессоров для мобильных и встроенных систем, где счет поставляемых процессоров идет на миллиарды. Благодаря своим показателям энергоэффективности, *ARM*-процессоры привлекли внимание и серверных вендоров. Однако в период ожидания 64-битного процессора от *ARM* пока идет только накопление, как теперь стало модно выражаться, "экспертизы" (то бишь, старого доброго опыта), поскольку переписывать 64-битное программное обеспечение на 32 бита, а затем обратно – как-то не с руки.

Servers vendors' quarterly revenue and server markets quarterly size for 2007÷2012

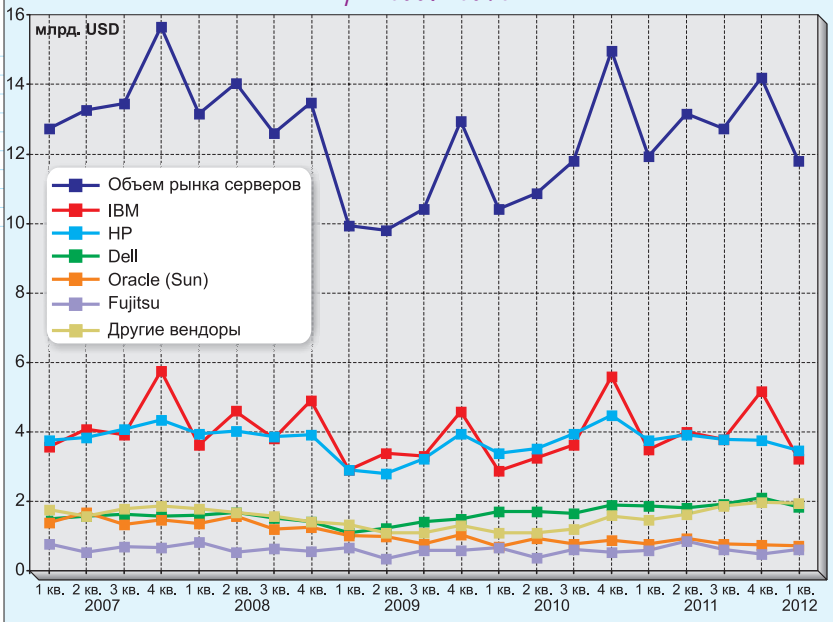


Рис. 20. Квартальные доходы поставщиков серверов и квартальные объемы рынка серверов в 2007–2012 гг.

Основные финансовые показатели лидеров рынка *HPC*

Как мы уже не раз отмечали, высокая позиция в рейтинге *Top500* (и даже нахождение в первой десятке) является свидетельством технологического лидерства компании-компьютеростроителя, однако совершенно не гарантирует соответствующее место при ранжировке по суммарной выручке от реализации *HPC*-систем.

В соответствии с финансовым рейтингом, безраздельными фаворитами рынка *HPC* (рис. 16, 17), как сегмента серверного рынка (рис. 18, 19), в течение всего периода наших наблюдений являются две компании, которые в результате острой конкуренции постоянно меняются желтой майкой лидера:

1 В 2011 году на 1-е место вышла компания ***IBM***. Её доход от *HPC* составил 3.358 млрд. долларов или 32.6% от всего объема рынка *HPC*. В 2010 году *IBM* находилась на второй позиции с доходом 2.851 млрд. (30% объема рынка *HPC*). До этого, в 2009 году, *IBM* была лидером этого рынка с показателем 2.532 млрд. (29.4%); в 2008 году заработанные 2.59 млрд. (26.5%) позволили *IBM* занять только второе место, а в 2007 году компании *IBM* и *HP* шли "ноздря в ноздрю" – по 3.315 млрд. долларов (32.9%).

В *Top500* системы от *IBM* являются безраздельными лидерами – как по суммарной производительности, так и по количеству.

2 В 2011 году компания ***HP*** закончила со вторым результатом – 3.307 млрд. долларов или 32.1% от всего объема мировых поставок *HPC*-систем. До этого, в 2010-м, она была на 1-м месте с доходом 3.041 млрд. (32% объема рынка *HPC*). В 2009 году эти

HP, IBM, Dell, Oracle (Sun) annual revenues for 2007÷2011

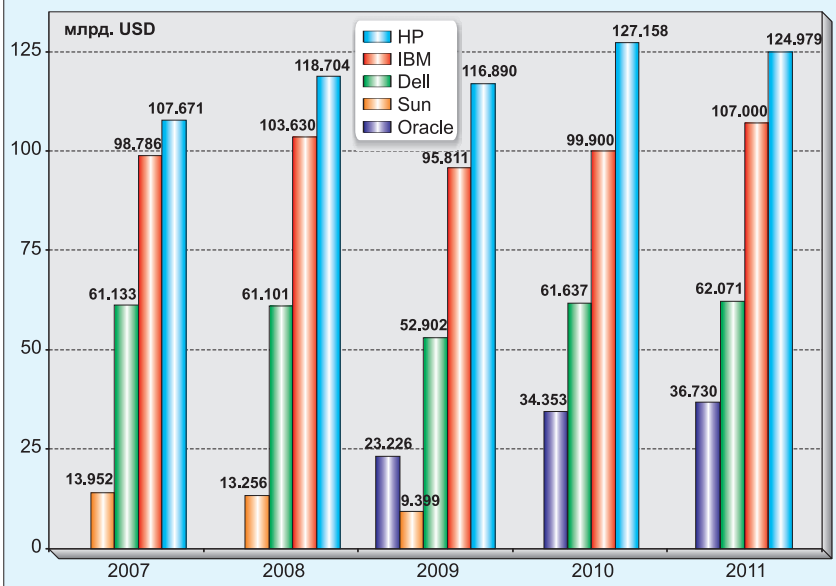


Рис. 21. Годовой доход компаний HP, IBM, Dell и Sun (Oracle) в 2007–2011 гг.

показатели были 2.473 млрд. (28.7%), в 2008 году – 3.563 млрд. (36.5%), а в 2007-м – 3.315 млрд. (32.9%).

Следует отметить, что *HPC*-доходы *IBM* и *HP* в 2011 году составили всего 3.1% и 2.7% их совокупного годового дохода, который выражался суммами 107 и 125 млрд. долларов соответственно (рис. 21). В 2010 году эти показатели были 2.9% и 2.4% от 99.9 и 127.2 млрд. долларов соответственно.

С данными за 2010 год остальных лидеров рынка *HPC* можно ознакомиться в нашем прошлогоднем обзоре. Это связано с тем, что данные аналитической компании *IDC* за 2011 год ограничиваются только двумя лидирующими компаниями. Напомним, что в 2010 году следующие за *IBM* и *HP* ступеньки заняли *Dell*, *Cray*, *SGI*, *Oracle* (рис. 16).

На серверном рынке лидерами являются пять компаний: *IBM*, *HP*, *Dell*, *Oracle* и *Fujitsu* (рис. 18, 19). Доля дохода от реализации серверов в совокупном доходе 2011 года у этих компаний значительно выше, чем доходы от *HPC*-систем – 15.4%, 12.2%, 12.4%, 8.9% и 4.4% от 107, 125, 62.1, 36.7 и 50.3 млрд. долларов соответственно.

У компании *Oracle* годовые и квартальные показатели (рис. 21, 22) продолжают постоянно расти, в то время как доходы от реализации серверов и *HPC*-систем убывают. Это объясняется выбранной стратегией, которая делает ставку в основном на поставки программного обеспечения; при этом хардверные решения хоть и дополняют софтверные, но всё-таки играют вспомогательную роль.

Servers vendors' quarterly revenue and server markets quarterly size for 2007÷2012

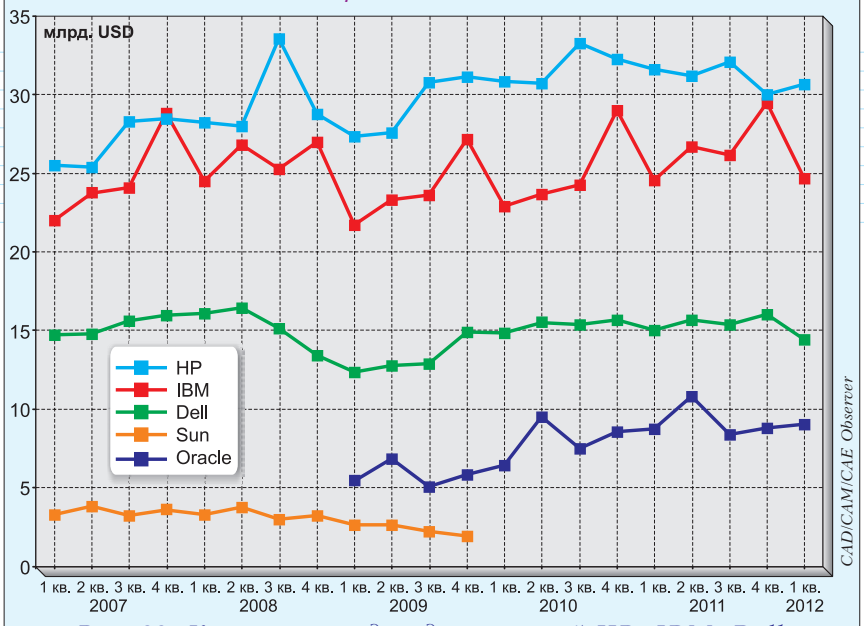


Рис. 22. Квартальные доходы компаний HP, IBM, Dell и Sun (Oracle) в 2007–2012 гг.

Основные финансовые показатели поставщиков суперкомпьютерных процессоров

На рис. 23÷25 представлены квартальные и годовые доходы для следующих пяти компаний:

1 ***Intel*** является поставщиком процессоров с системой команд *x86*, на базе которых построено подавляющее большинство суперкомпьютеров, включенных в *Top500*.

На рис. 24 приведено распределение доходов компании между подразделениями *Data Center Group*, *PC Client Group* и *Other Intel Architecture Group*.

Следует отметить недавнее приобретение компанией *Intel* за 140 млн. долларов у компании *Cray* группы разработки аппаратных средств внутренних соединений, в которой работает 74 высококлассных специалиста. В прошлом году *Intel* купила компанию *Fulcrum Systems*, специализирующуюся на сетевых соединениях, а в январе этого года – компанию *Qlogic*, разработчика решений для коммуникационного стандарта *InfiniBand*. Все эти шаги способствуют продвижению по пути создания *экзафлопсного* суперкомпьютера.

2 ***AMD*** тоже является поставщиком процессоров с системой команд *x86* и делит оставшуюся от компании *Intel* долю в *Top500* с компанией *IBM*.

На рис. 24 приведено распределение доходов компании между подразделениями *Computing Solutions* и *Graphics*.

Intel, AMD, NVIDIA, IBM microelectronics and ARM quarterly revenue for 2007÷2012

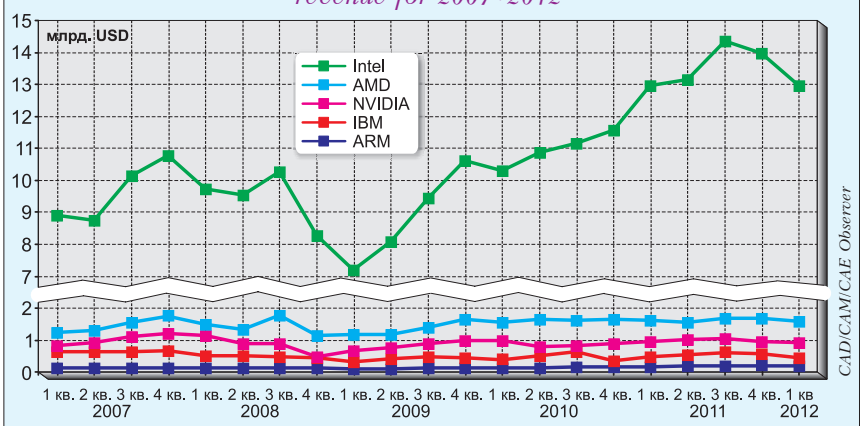


Рис. 23. Квартальные доходы Intel, AMD, NVIDIA, IBM (только в сфере микроэлектроники) и ARM в 2007–2012 гг.

Structure of Intel and AMD annual revenue; NVIDIA and ARM as well as IBM microelectronics annual revenue for 2007÷20110

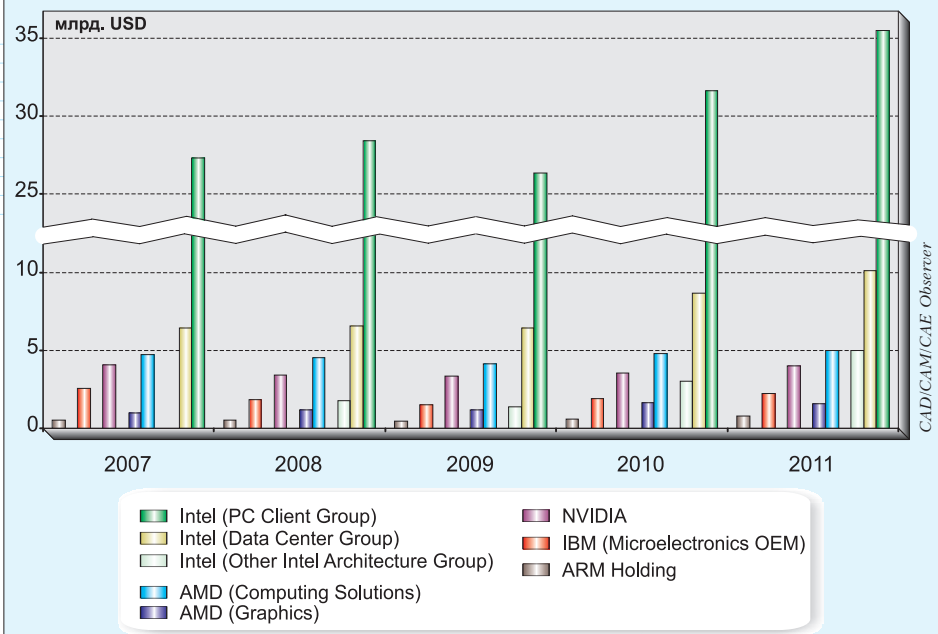


Рис. 24. Структура годового дохода компаний Intel и AMD, а также величина годового дохода NVIDIA, ARM и IBM (только в сфере микроэлектроники) в 2007–2011 гг.

Отделенная в 2008 году от *AMD* компания *GlobalFoundries*, занимающаяся исключительно производством процессоров, совсем недавно стала полностью независимой.

3 ***IBM*** является поставщиком *RISC*-процессоров с системой команд *POWER*.

Intel, AMD, NVIDIA, IBM and ARM annual revenue for 2007÷2011

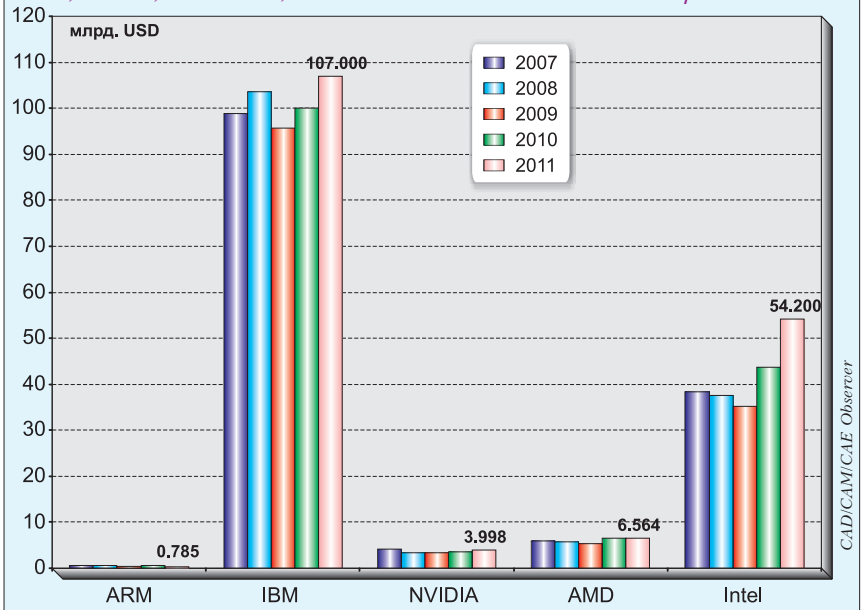


Рис. 25. Годовой доход компаний Intel, AMD, NVIDIA, IBM и ARM в 2007–2011 гг.

На рис. 23, 24 приведены данные для подразделения *Microelectronics OEM*. Микропроцессорный бизнес обеспечивает компании всего лишь порядка 2% годового дохода. Тем не менее, подразделение *Microelectronics OEM* обеспечило независимое от конкурентов производство собственных 16-ядерных процессоров, на базе которых построены супервычислители с экстремальными характеристиками, отмеченные в 39-м списке *Top500*.

4 ***NVIDIA***, по результатам новейшего рейтинга *Top500*, может похвастаться применением её графических акселераторов при строительстве 52-х суперкомпьютеров.

5 ***ARM Holding*** уже в ближайшем будущем станет лицензиаром архитектуры процессоров для *HPC*-систем.

Ощутимая разница финансовых показателей первых четырех компаний не мешает им уживаться на достаточно тесном суперкомпьютерном рынке и выигрывать контракты на поставку своих процессоров для самых разных заказчиков с различными источниками финансирования.

У каждой компании есть свои козыри: *Intel* выделяется универсальностью, широтой охвата и запасом прочности, *AMD* может предложить конкурентоспособную продукцию по более демократичным ценам, *IBM* – прорывные инновации и *RISC*-архитектуру, *NVIDIA* – графические процессоры для набирающих популярность гибридных систем.

В заключение напомним читателям, что вторая часть обзора будет посвящена июньскому и ноябрьскому спискам суперкомпьютерного рейтинга *Top500*; планируется, что она появится в *#8/2012*.

(Продолжение следует)

Об авторе:
Павлов Сергей Иванович – *Dr. Phys.*, редактор аналитического *PLM*-журнала *CAD/CAM/CAE Observer* (sergey@cadcamcae.lv), научный сотрудник Лаборатории математического моделирования окружающей среды и технологических процессов Латвийского университета (Sergejs.Pavlovs@lu.lv)