

## РАЗВИТИЕ РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МИРОВОЙ ИТ-ИНДУСТРИИ

## ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ

Суперкомпьютеры всегда играли ключевую роль в развитии прорывных технологий 20 века – от микроэлектроники до энергетики и машиностроения. Без них не обходится ни одна сколь-нибудь значимая область научной и технической деятельности. Сегодня сверхвысокопроизводительные вычислительные системы обретают новый облик. Игнорировать это направление, равно как и мировые тенденции развития ИТ-индустрии, означает "навсегда" вычеркнуть себя из списка передовых стран. Вот почему именно на развитие ИТ-технологий, как на краеугольный камень промышленных технологий 21 века, и устремлены взгляды академиков РАН Евгения Павловича Велихова и Владимира Борисовича Бетелина. Предложенные этими экспертами сценарии развития российского сегмента ИТ-индустрии могут оказать судьбоносное влияние на экономику и безопасность нашей страны.

## ИТ-ИНДУСТРИЯ И СИСТЕМООБРАЗУЮЩИЕ КОМПАНИИ

Развитие мировой индустрии информационных технологий (ИТ), особенно в сфере массовых коммерческих продуктов с коротким (2–3 года) жизненным циклом (персональные ЭВМ (ПЭВМ), серверы, сетевое оборудование, проводные и беспроводные коммуникации, бытовая радиоэлектроника) определяют несколько гигантов. Речь идет о вертикально интегрированных системообразующих компаниях типа Intel, IBM, Sony. Они разрабатывают и производят базовые

академик РАН В.Бетелин,  
академик РАН Е.Велихов

микроэлектронные компоненты массовой радиоэлектронной продукции (микропроцессоры, контроллеры и т.д.). Это обеспечивает их гегемонию в соответствующих сегментах мирового рынка, таких как ПЭВМ и серверы (Intel); серверы и суперЭВМ (IBM); игровые приставки (Sony). Данные компании уже реализовали бизнес-модель "экономики знаний", то есть создали условия, при которых инвестиции в генерацию новых знаний приносят основную долю прибыли и обеспечивают контроль над соответствующим сектором рынка. В 2005 году прямые затраты на НИОКР компаний Intel и IBM составили 11 и 5,8 млрд. долл., соответственно. Причем в рамках этих НИОКР разрабатываются *новые* базовые микроэлектронные компоненты, рассчитанные на производство на *новом* технологическом оборудовании и по *новым* технологическим процессам. Именно эта триада новых знаний – архитектура базовых компонентов, технологическое оборудование и технологические процессы – в совокупности с контролем над существенной долей высокочемических секторов мирового рынка и с высокой маржой и обеспечивает за 1–2 года такую прибыль от продажи новых продуктов, которая позволяет инициировать разработку следующей инновационной триады.

Так, наиболее производительный микропроцессор (МП) Core 2 Extreme X6800 из новой линейки Core фирмы Intel, анонсированной в 2006 году, в момент выхода на рынок стоил 999 долл., в то время как цена процессоров Core 2 Duo составляла от 183 до 530 долл. [1]. Intel принадлежит около 70% мирового рынка МП для ПЭВМ и 85% – для серверов. Объем производства новых процессоров Intel до конца 2006 года составит не менее 60 млн. штук, а годовая прибыль от их продаж достигнет нескольких десятков миллиардов долларов [2]. Это и позволяет Intel окупать миллиардные затраты на создание новых микроэлектронных фабрик. В 2006 Intel планировала построить три новые микроэлектронные фабрики (каждая стоимостью около 5 млрд. долл.) для производства МП с проектными нормами 65 нм на кремниевых пластинах диаметром 300 мм. Одна из них уже вводится в строй. Инновационный характер развития Intel подтверждают два принципиально важных показателя. Прежде всего, это рост объемов затрат на НИОКР, с 2,7 млрд. долл. в 1997г. до



11 млрд. в 2005 г. – в четыре раза за восемь лет. Кроме того, операционные расходы на создание одного транзистора снизились более чем с 5 долл. в конце 60-х годов до  $10^{-9}$  долл. в 2005 году. [3].

В целом рынок короткоживущих массовых ИТ-продуктов полностью формируют и контролируют разработчики и производители базовых микроэлектронных компонентов, прежде всего – микропроцессоров (как универсальных, так и коммуникационных). Именно МП полностью определяют архитектуру и функциональные возможности конечных изделий (ПЭВМ, игровые приставки, сотовые телефоны и т.д.). МП также обуславливают номенклатуру и функциональные возможности вторичных микроэлектронных компонентов. Они значительно менее сложные и наукоемкие (за редкими исключениями типа видеопроцессоров и коммуникационных СБИС), но емкость их рынка весьма велика. Разработкой и производством вторичных компонентов занимаются множество фирм, в том числе – небольших. Однако их деятельность основывается на элементах инновационной триады, ранее созданной системообразующими компаниями. Поэтому стоимость вторичных компонентов и размер маржи (и прибыли их производителей) существенно меньше, чем у системообразующих корпораций.

Важно, что системообразующие корпорации создают на порядок больше рабочих мест в компаниях, прямо или косвенно использующих их продукцию или снабжающие их оборудованием и материалами. Эти компании "второго ряда", в свою очередь, также генерируют новые знания. Характерный пример – фирмы Microsoft и Oracle, поставляющие базовое программное обеспечение (ПО) для ПЭВМ и серверов на платформе Intel. В этих двух компаниях – 111 тыс. рабочих мест, затраты на НИОКР в 2005 г. достигли 8,5 млрд. долл. А численность персонала компании Applied Materials (США) – производителя технологического оборудования – составляет 10 тыс. человек, затраты на НИОКР в 2005 г. достигли 1 млрд. долл.

## СОСТОЯНИЕ ДЕЛ В РОССИИ

В России системообразующих ИТ-компаний нет. Как следствие, нет и условий как для генерации триады новых знаний, так и для захвата российскими ИТ-компаниями какой-либо части мирового рынка массовых продуктов. Действительно, по данным компании "РосБизнесКонсалтинг", оборот 167 крупнейших ИТ-предприятий России в 2004 году превысил 9,6 млрд. долл. При этом 72,6% этого оборота относится лишь к трем (из 21) направлениям деятельности компаний: дистрибуция и розничная продажа компьютерного оборудования, а также системная интеграция. Производство компьютерного оборудования (на базе импортных материнских плат) занимает 8,5% от общего оборота, а ПО – 4,8%. По данным рейтинга CNews100 [4], в 2005 г. суммарный оборот

100 наиболее крупных ИТ-компаний России составил более 300 млрд. руб., а суммарное число рабочих мест – немногим более 50 тыс.

Инновационная активность российских фирм чрезвычайно незначительна. Она финансируется зарубежными компаниями и в основном связана с улучшением технико-экономических характеристик новых массовых продуктов этих фирм. Например, работы небольших российских компаний по уменьшению площади кристалла ПЗУ для массовых электронных игрушек, оптимизации СБИС для сотовых телефонов и др. Очевидно, что созданное при этом новое знание целиком принадлежит заказчику. Соответственно, прибыль российских компаний не сопоставима с прибылью от массовых продаж конечной продукции зарубежной корпорации.

Общий объем производства электронной компонентной базы радиоэлектронного комплекса России в 2005 году составил 0,44 млрд. долл., а затраты на НИОКР – 0,11 млрд. долл. [5]. При этом объем продаж на внутреннем рынке отечественных изделий микроэлектроники – всего около 0,04 млрд. долл. Отечественные микроэлектронные предприятия в основном (на 60–70%) выпускают низкотехнологичную продукцию – микросхемы для калькуляторов, часов и т.п. Они поставляются по цене 2–3 цента за штуку зарубежным производителям финишной продукции стоимостью до 10 и более долларов. Для сравнения – оборот только одной компании Huawei Technologies (КНР), разрабатывающей и производящей конечное телекоммуникационное оборудование, в 2005 году составил 8,2 млрд. долл., затраты на НИОКР – 0,5 млрд. долл. Из 44 тыс. сотрудников этой компании 48% ведут НИОКР.

Таким образом, как новые отечественные ИТ-компании (возникшие за последние 15 лет), так и значительная часть сохранившихся предприятий радиоэлектронного комплекса в основном выполняют второстепенные работы, которые способствуют продвижению на мировой рынок (в том числе и на его российский сегмент) конечной массовой продукции зарубежных системообразующих компаний (аутсорсинг).

## МАСШТАБИРОВАНИЕ И КОНСОЛИДАЦИЯ ПЭВМ

Как и 25 лет назад, массовые ПЭВМ концептуально основываются на унипроцессорной архитектуре с одним универсальным МП. Это влечет немасштабируемость ПЭВМ по производительности, которую полностью определяют характеристики микропроцессора. Поэтому наращивание вычислительной мощности единичного МП было и остается основным элементом стратегии компании Intel, а затем и AMD (полностью контролирующей рынок массовых ПЭВМ). За 25 лет было реализовано множество архитектурных усовершенствований МП, таких как кэш-память разных уровней, конвейеризация выполнения команд, суперскалярность, переименование регистров, перестановка команд, спекулятивное выполнение

команд условного перехода, виртуальная (Hyperthreading) и аппаратная многоядерность и т.п.

Однако оказалось, что каждое новое архитектурное усовершенствование МП в меньшей мере увеличивало производительность ПЭВМ, чем предыдущее (своего рода "закон уменьшающейся отдачи" архитектурных усовершенствований микропроцессоров). А производительность универсальных МП растет в основном за счет увеличения тактовой частоты.

Это справедливо и для современных многоядерных архитектур, что хорошо иллюстрируют данные авторитетного сетевого журнала Tom's Hardware Guide, выходящего на 9 языках мира [6]. Журнал публикует данные о производительности микропроцессоров на смеси реальных задач (работа в Интернете, делопроизводство, кодирование и редактирование фото-, аудио- и видеоинформации). Вычислив по этим данным показатель "производительность/частота" для линейки многоядерных МП Intel Core 2 Duo, можно сделать вывод: наихудшее значение этого показателя (64,5) – у самого производительного в линейке четырехъядерного МП Core 2 Duo Extreme X6800 (2,93 ГГц). При этом наилучшим значением (70,9) обладает самая младшая модель Core 2 Duo E6300 (1,86 ГГц). У остальных трех двухъядерных МП показатели практически совпадают: E6700 (2,67 ГГц) – 65,9, E6600 (2,4 ГГц) – 68,1, E6400 (2,12 ГГц) – 66,7.

Картина полностью аналогична и для линейки многоядерных МП Athlon 64 компании AMD – наилучший показатель производительность/частота демонстрирует самая младшая двухъядерная модель X23800 (2 ГГц) – 58,5, а наихудший (55,6) – самая старшая четырехъядерная FX-62 (2,8 ГГц). У трех остальных двухъядерных МП показатели практически совпадают: X25000 (2,6 ГГц) – 55,7, X24600 (2,4 ГГц) – 57,0, X24200 (2,2 ГГц) – 57,5.

Данный факт легко объясним. Действительно, многоядерные МП – это фактически микроэлектронная реализация известной концепции симметричного мультипроцессорования, т.е. параллельной работы нескольких МП с конкурентным доступом к общей памяти. Выигрыш в производительности такого многоядерного МП по сравнению с одноядерным тем выше, чем реже каждое ядро обращается к общей памяти из-за отсутствия данных в его кэш-памяти. Очевидно, что при большом числе обращений в общую память суммарная производительность многоядерной системы может оказаться даже ниже, чем одноядерной. Все современные МП оснащены кэш-памятью большого объема, тем не менее, на реальных приложениях до 80% времени работы этих МП тратится на ожидание (в сотни циклов) доставки данных из ОЗУ. Более того, для увеличения эффективности вычислений в сложных задачах программисты прилагают серьезные усилия на изучение и обход "прозрачных для программиста" механизмов автоматической миграции данных.

Также выяснилось, что новые архитектурные усовершенствования значительно увеличивают энергопотребление и сложность МП. Как следствие, они становятся менее надежными и более уязвимыми к цифровым атакам объемлющих информационных систем. Сложность отдельных представителей семейства МП Intel уже составляет от сотен миллионов до миллиарда транзисторов, а энергопотребление превышает 100 Вт.

Немасштабируемость массовых ПЭВМ по числу универсальных МП частично компенсирует шинная архитектура. Она позволяет, хоть и ограниченно, масштабировать функциональность и производительность ПЭВМ. В течение 25 лет в этой области происходили только количественные изменения: увеличилось число шин и их пропускная способность, появились шины ISA, ISA-PCI, PCI Express, Hyper Transport. Шины в совокупности со сравнительно небольшим числом дополнительных разъемов на материнской плате позволяют реализовать ограниченную мультипроцессорность. Прежде всего – для повышения эффективности видео- и аудиообработки (игры, мультимедиа), для задач телекоммуникаций, хранения и обработки больших массивов данных, а также с целью расширения применений ПЭВМ в научных и инженерных расчетах.

Однако несмотря на впечатляющие характеристики современных МП и шин передачи данных, ограниченная масштабируемость производительности отдельной ПЭВМ не позволяет использовать их для высокопроизводительных вычислений. Это тормозит качественное изменение структуры и объема потребительского рынка ПЭВМ за счет приложений с большой вычислительной сложностью. Сейчас этот тип задач для ПЭВМ представлен в основном игровыми и мультимедийными приложениями. Их потребности в вычислительных мощностях обеспечивают видеопроцессоры – специализированные МП с параллельной архитектурой, принципиально отличной от архитектуры МП Intel. Весьма жесткими конкурентами ПЭВМ в секторе игровых и мультимедийных приложений массового рынка выступают игровые приставки и видеопроигрыватели компаний Sony, Toshiba и др.

В науке и промышленности ПЭВМ используют в основном как средство автоматизации рутинных работ и инструмент научных и инженерных расчетов. "Классические" ПЭВМ неприменимы для комплексного компьютерного моделирования. Причины тому: ограниченная масштабируемость вычислительной мощности отдельной ЭВМ, а также отсутствие эффективной технологии консолидации многих ПЭВМ для решения единой задачи. Именно это обстоятельство, по-видимому, и инициировало работы в области GRID-технологий. Их результаты по обработке больших потоков данных, поступающих от физических установок (ускоритель в Церне), спутниковых авиационных систем геомониторинга и т.д., свидетельствуют: для подобного класса задач пробле-



ма разрешима. Однако следует учитывать, что такой подход предполагает весьма значительные затраты на обеспечение информационной безопасности. Кроме того, GRID-технологии изначально неэффективны для ряда научных и практических задач, таких как комплексное компьютерное проектирование с моделированием функционирования сложных технических систем (энергомашиностроение, нефтегазопереработка и т.д.).

Очевидно, что проблемы с масштабируемостью и консолидацией ресурсов ПЭВМ значительно ограничивают их массовое применение рамками традиционных приложений. Учитывая, что в 2005 году в мире было продано около 200 млн. ПЭВМ, уже в ближайшее время можно ожидать снижения объемов их продаж. В Европе и США он будет в основном определяться необходимостью замены парка установленного оборудования. Так, по последним данным компании Dell, основной рост объемов продаж (на 23%) в третьем квартале 2006 года обеспечивали Япония и страны Азиатско-Тихоокеанского региона, рынок которых еще не насыщен. Рост же объемов продаж в Европе замедлился и составил 9%, а в США продажи даже падают.

Таким образом, рыночные перспективы массовых ПЭВМ "классической унипроцессорной архитектуры" объективно ограничены.

### **СУПЕР-ЭВМ С МАСШТАБИРУЕМОЙ СЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

С 1995 года Департамент энергетики США реализует программу Стратегической компьютерной инициативы ASCI (Accelerated Strategic Computing Initiative). В 1996 году была декларирована основная цель программы: создание к 2004 году суперЭВМ производительностью 100 TFlops для комплексного предсказательного моделирования безопасности и надежности существующих ядерных зарядов. А к 2010 году – суперЭВМ производительностью 1000 TFlops (1 PFlops) для полного комплексного моделирования функционирования ядерных зарядов. Традиционно суперЭВМ создавались на основе последних достижений микроэлектронных и других технологий, позволяющих производить уникальные изделия. С точки зрения перспектив главным в программе ASCI стало требование реализации суперЭВМ не традиционным путем, а на основе простой масштабируемой архитектуры коммутируемой сети массовых коммерческих МП. В рамках этой программы ведущие компьютерные компании США (IBM, Intel, Sun, Hewlett-Packard и др.) разработали технологию объединения в сеть сотен и тысяч вычислительных узлов серийных серверов и/или рабочих станций с помощью коммуникационных систем, серийно выпускаемых этими компаниями или независимыми производителями (Myricom, Quadrics и др.). Одновременно создавались технологии и инфраструктура для удаленного множественного доступа к этим суперЭВМ. Фактически разрабатывались мощные центры хранения и обработки данных, а также совершенно новые технологии

формирования масштабируемых приложений для масштабируемой сети из многих тысяч параллельно работающих МП. В дальнейшем требование использовать массовые коммерческие МП и узлы на их основе трансформировалось в более общую концепцию применения массовых микроэлектронных технологий для суперЭВМ на основе коммутируемой сети из многих тысяч МП.

В итоге в последнее десятилетие компьютерная индустрия США безоговорочно лидирует в области серийного выпуска сверхвысокопроизводительных систем обработки данных. Так, вне США произведено менее 30 суперЭВМ из представленных в списке TOP500 ([www.top500.org](http://www.top500.org)) осенью 2006 года. В целом же, из этого списка порядка 310 суперЭВМ установлены в США и около 100 – в Европе. Из 500 ведущих суперЭВМ 75% основаны на МП Intel (Xeon, Itanium) и AMD (Opteron), 20% – на МП PowerPC (IBM). В качестве сетевой коммуникационной системы около 42% суперЭВМ TOP500 используют 1-Гбит Ethernet, 32% – системы Myrinet и Infiniband (примерно в равных долях), остальные, включая IBM и Cray, – специализированные коммуникационные системы собственной разработки. Суммарная производительность суперЭВМ фирмы IBM (места 1, 3, 4 в TOP500) составляет 50% от суммарной производительности всех остальных суперЭВМ из TOP500. Второе место по суммарной производительности (16%) занимает фирма Hewlett-Packard.

В чем причина бесспорного лидерства IBM? Прежде всего, эта компания на основе своего массово производимого МП PowerPC 440 разработала, с минимальным набором усовершенствований, специализированный МП (систему на кристалле) с пиковой производительностью 5,6 GFlops и энергопотреблением менее 15 Вт. Эта СБИС функционирует и как вычислительный, и как коммуникационный узел масштабируемой однородной сети с огромным числом процессоров (до 100 тыс. и более). МП содержит два независимых ядра PowerPC 440 с 4 Мбайт L2-кэш в каждом. Процессорные ядра связаны с общей внешней памятью объемом до 2 Гбайт. Кроме того, СБИС содержит контроллеры пяти типов сетей, одна из которых – типа "трехмерный тор". Такая сеть эффективно работает с короткими пакетами размером от 32 байт. Причем задержки при коммуникациях между МП в соседних стойках весьма малы и соизмеримы с задержками между процессорными ядрами на одном кристалле.

С точки зрения коммуникационной сети один такой МП – это два узла сети, соединенные одним ребром. Логически суперЭВМ представляет собой совокупность множества вычислительных узлов, каждый из которых управляется узлом ввода-вывода, обеспечивающим подготовку и ввод данных и вывод результатов обработки. На вычислительных узлах пользовательские приложения (написанные на языках C, C++, ФОРТРАН) управляются простейшей операционной системой (ОС), обеспечивающей исполнение одного потока

управления единственного пользователя. Узлы ввода-вывода работают под ОС Linux. В составе сети имеется специальная программно-управляемая СБИС – статический переключатель, с помощью которого система планирования заданий может соединить от 32 до 64000 МП в одну электрически изолированную подсистему. На базе этой технологии IBM создала самую быстродействующую в мире суперЭВМ Blue Gene/L с пиковой производительностью 360 TFlops.

Другой пример реализации фирмой IBM концепции масштабируемой сети функционально и структурно простых МП с внутренней сетевой архитектурой – микропроцессор CELL с пиковой производительностью 250 GFlops (создается консорциумом STI – Sony, Toshiba, IBM). CELL содержит универсальный управляющий 64-разрядный МП семейства PowerPC и восемь однотипных вычислительных микропроцессоров (типа Altivec) с векторными командами обработки 128-разрядных данных. Все процессоры объединены кольцевой высокоскоростной коммуникационной системой передачи данных (128 разрядов, 2 ГГц). Каждый из восьми вычислительных процессоров отличается предельной функциональной и структурной простотой – из всех известных усовершенствований реализована только возможность параллельного выполнения двух инструкций за такт. Кэш-память отсутствует, имеется локальное прямо адресуемое ОЗУ (256 Кбайт). Операции выполняются только над данными в одном из 128 128-разрядных регистров. Возможен обмен 128-байтными блоками с другими абонентами накристалльной высокоскоростной сети – с вычислительными процессорами, с универсальным процессором, с ОЗУ и с подсистемой ввода-вывода.

Технология CELL позволила IBM в 2006 году выиграть тендер на создание нового суперкомпьютера с кодовым названием Roadrunner для национальной лаборатории в Лос-Аламосе. Он будет полностью построен из таких коммерческих компонентов, как серверы IBM System X3755 на базе МП AMD Opteron и IBM Blade Center H с МП CELL. Этот суперкомпьютер с гибридной архитектурой будет представлять собой сеть из 16 тыс. МП AMD Opteron и 16 тыс. МП CELL (с 9 процессорами в каждом). МП Opteron предназначены для вспомогательных функций подготовки данных и вывода результатов обработки, выполняемой сетью из 144 тыс. (16000×9) параллельно работающих универсальных и вычислительных микропроцессоров. IBM планирует завершить создание суперЭВМ Roadrunner в 2008 году. По пиковой производительности – 1,7 PFlops – она в шесть раз превзойдет сегодняшнего рекордсмена Blue Gene/L.

В августе 2006 года правительство США объявило о решении вложить сотни миллионов долларов в разработки и закупки новых суперЭВМ. В результате, по оценкам специалистов, к уже установленным в США суперкомпьютерам добавятся ЭВМ с суммарной производительностью до 10 PFlops.

Это почти в три раза превышает сегодняшнюю суммарную производительность всех суперЭВМ в мире (около 3,5 PFlops для всех суперЭВМ из TOP500 осенью 2006 года). Федеральное агентство по науке США прогнозирует, что к 2010 году большинство университетов этой страны будет оснащено компьютерами производительностью от 1 до 50 TFlops, используемыми в основном локальными пользователями. В ведущих университетах США появятся суперкомпьютерные центры производительностью свыше 100 TFlops с коллективным доступом на федеральном уровне, а для наиболее важных открытых научных исследований ученым США будет предоставлена по меньшей мере одна суперЭВМ производительностью 1–10 PFlops [7].

## РОССИЙСКИЙ СЕГМЕНТ МИРОВОЙ ИНДУСТРИИ ИТ: СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ

### Электронная компонентная база – самостоятельная отрасль

Этот вариант предполагает создание самостоятельной и конкурентоспособной отрасли отечественной промышленности, производящей электронную компонентную базу (ЭКБ). Предполагается, что это обеспечит конкурентоспособность отечественной электронной техники благодаря применению современной российской ЭКБ. Однако тезис о том, что отечественный производитель электронной техники будет использовать отечественную ЭКБ, нуждается в обосновании. В условиях свободного рынка такое обоснование может быть только экономическим. На открытом рынке российская ЭКБ будет конкурировать с ЭКБ, разработанной в дизайн-центрах и произведенной на специализированных фабриках стран третьего мира с их традиционно низкими зарплатами и низкими нормами прибыли. И нет гарантии, что в этих условиях российская ЭКБ победит в конкурентной борьбе. Но если даже это и случится, условия для коммерчески эффективной генерации новых знаний в России не сложатся: дизайн-центры будут работать по внешним заказам, направляемым знаниями, разработанными вне России. Фабрики будут использовать оборудование и технологические компоненты, львиная доля стоимости которых определяется затратами на генерацию новых знаний также вне России.

### Безопасность информационных систем для критических применений

Развитие аппаратного и программного обеспечения современных информационных систем характеризуется двумя тенденциями. С одной стороны, невообразимо возрастает их сложность: до десятков и сотен миллионов компонентов в одном изделии микроэлектроники; до десятков миллионов строк исходного текста в одном программном изделии. С другой стороны, сокращаются сроки разработки – производители стремятся к скорейшему выпуску на рынок новых изделий. В результате современные информационные сис-



темы все более уязвимы с точки зрения информационной безопасности. Общий мировой ущерб от различного рода нападений (вирусы, взломы, скоординированные атаки, спам и т.д.) на информационные системы в 2004 году составил около 40 млрд., а в 2005 году – уже 250 млрд. долл.

Проблема не в том, что в системах не хватает каких-то защитных средств. Они уязвимы потому, что сложны и недостаточно отработаны. Наиболее критическими, с точки зрения катастрофических последствий "информационных" нападений, являются современные системы управления энергетическими объектами, транспортом, сложными химическими производствами и т.д. То есть там, где внедрены современные информационные технологии, уже существуют реальные угрозы как для отдельных предприятий и отраслей промышленности, так и для страны в целом.

ИТ-индустрия старается повысить уровень безопасности. Например, наиболее распространенная ОС Windows 2000 недавно получила сертификат по так называемому четвертому уровню безопасности в профиле "контролируемый доступ". Однако этот профиль подразумевает невраждебную контролируемую среду – т.е. защита предусмотрена только от случайного, непреднамеренного нарушения. От враждебного же вторжения защиты нет. Независимые эксперты в США утверждают, что Windows 2000 получила сертификацию по максимальному уровню безопасности, который экономически достижим. То есть даже такой мировой гигант, как Microsoft, не в состоянии кардинально решить проблему безопасности в этой навязанной рынком непрекращающейся гонке за усложнением процессоров и операционных систем.

Таким образом, потребность рынка в массовых короткоживущих продуктах вступает в противоречие с требованием информационной безопасности. Следовательно, разработанное в этих условиях аппаратное и программное обеспечение безопасным никогда не будет и в критических системах применяться не должно.

Радикально решить проблему создание отечественной аппаратно-программной платформы, для которой требование информационной безопасности – основное. Такая платформа найдет применение в надежных сервисах безопасности, в экранирующих информационных системах на базе массовых коммерческих ЭВМ от внешних цифровых атак и в информационных системах для критических применений. Платформа должна обеспечивать лишь необходимый минимум функциональности аппаратуры и ОС и следовать стандартным апробированным решениям. Только так можно доказать корректность ее работы.

Ключевой проблемой информационной безопасности является сетевая организация систем. Когда на одном узле сети функционируют несколько процессов, взаимодействие между которыми не подчиняется каким-либо протоколам, разграничение доступа к разделяемым ресурсам невозможно.

Многолетний опыт, результаты современных исследований и практических разработок в области информационной безопасности демонстрируют это с достаточной очевидностью.

Основополагающим концептуальным и архитектурным решением является построение информационно безопасной отечественной платформы на основе большого числа простых отечественных процессоров, связанных в сеть. Простота процессора (отсутствия в нем уязвимостей) – необходимое условие его безопасности. Это – крайняя степень гранулярности сетевой архитектуры. Предполагается, что на каждом процессоре функционирует один поток управления, общей памяти нет, все межпоточковые взаимодействия носят сетевой характер. Для защиты каждого процессора может быть выделена микросхема, которая обеспечивает сетевую связность, выполняет функции межсетевого экрана и криптографические операции. Тем самым полезная функциональность отделяется от защитной, что, в частности, позволяет решить проблемы производительности этих существенно разных компонентов.

Если на процессоре выполняется один поток управления, то и сам процессор, и операционная система могут стать проще по сравнению с традиционными. ОС может оставить себе только исторически первую функцию виртуальной машины: быть более удобной для приложений, чем физическая машина. Сетевые сервисы безопасности на базе такой платформы обеспечат сквозную сертификацию по требованиям безопасности – от аппаратной платформы до прикладного уровня.

Для создания отечественной платформы необходимо формирование прообраза отечественных системообразующих компаний – разработчиков и серийных производителей МП, контроллеров, ЭВМ на их основе, а также базового и прикладного ПО, конкурентоспособных в нише мирового рынка систем управления критическими объектами. Достичь требуемой производительности информационных систем на базе такой платформы позволит создание многопроцессорных систем и оптимизация МП под определенный класс решаемых задач. МП останется универсальным, но его архитектура будет оптимизирована для выполнения тех задач, которыми он будет заниматься большую часть времени. Такой подход для известных заранее классов задач позволяет получать сравнимые с МП Intel результаты при больших проектных нормах и меньшей тактовой частоте. На аналогичных принципах построена и самая производительная в мире ЭВМ Blue Gene/L. В ней используется 130 тыс. простых процессоров, специализированных на решение вычислительных задач, с тактовой частотой всего 700 МГц – в 5–6 раз меньше, чем рекордные частоты МП Intel.

Конечно, стоимость информационных систем на предлагаемой безопасной аппаратно-программной платформе будет выше, чем на основе массовых коммерческих решений.

В первую очередь – из-за существенно меньшей емкости потенциального рынка: десятки-сотни тысяч штук в год. Однако следует учитывать, во что может обойтись слабая защита критических систем, например автоматизированных систем управления энергоблоками атомных станций. Причем не только в экономическом, но и социально-политическом аспектах.

Такой вариант развития российского сегмента мировой инфраструктуры ИТ предполагает государственное решение, в каких объектах и системах следует использовать только отечественные микропроцессоры, контроллеры, ЭВМ на их основе и базовое ПО. Это позволило бы сформировать минимальную экономическую основу для создания и выживания (но не развития!) отечественных системообразующих компаний, то есть основу "экономики знаний".

### **ЭВМ с масштабируемой сетевой архитектурой – основа перспективных массовых информационных технологий**

Доступность петафлопных суперЭВМ для инженеров и ученых позволяет повседневно применять такие модели и расчетные схемы в проектировании новых изделий и в научных исследованиях, которые ранее были экономически нецелесообразны или невозможны. Например, компания BMW вместо постройки аэродинамической трубы для натурных испытаний при разработке нового болида Формулы 1 закупила суперЭВМ Albert2 [8] производительностью 12 TFlops и ПО для виртуальных аэродинамических испытаний. В материаловедении в последние годы все шире применяют методы молекулярной динамики, позволяющие отслеживать временную эволюцию систем взаимодействующих атомов, молекул или виртуальных частиц путем интегрирования их уравнений движения (классических или квантово-химических). Следует отметить, что самые мощные суперЭВМ уже позволяют моделировать взаимодействия сотен миллионов атомов. С помощью подобных методов в принципе возможно детальное предсказательное моделирование работы сложных технических систем. То есть численный эксперимент позволяет предсказать изменение любых заданных параметров физического процесса с определенной точностью.

Если суммарная производительность установленных в США суперЭВМ достигнет 10 PFlops, там сложатся необходимые условия как для отработки промышленной технологии создания масштабируемых приложений, так и для разработки на этой основе масштабируемых программных систем предсказательного моделирования. Последнее обстоятельство создает, в свою очередь, экономические предпосылки для крупносерийного, а в дальнейшем – и массового производства персональных суперЭВМ терафлопного класса. Уже сейчас принципиально возможно создать такую настольную суперЭВМ на базе, например, сети из четырех микропроцессоров Opteron и четырех микропроцессоров CELL

( $4 \times 250 \text{ Gflops} = 1 \text{ TFlops}$ ). Однако пока нет достаточного числа масштабируемых приложений, существенно ограничен и объем потенциального рынка таких настольных мини-суперЭВМ, что, разумеется, препятствует их широкому распространению.

Тем не менее, потенциальная "персонализация супервычислений" формирует в США реальные предпосылки невиданного ранее увеличения эффективности проектно-конструкторских и технологических работ. Это существенно снизит их себестоимость и в перспективе обеспечит лидирующее положение производственного сектора США на мировом рынке. Здесь следует упомянуть о рабочем совещании в декабре 2005 года представителей семи национальных лабораторий США – участников программы ASCI. Оно прошло под девизом "Суперкомпьютерные вычисления – ключ к ядерной энергетике будущего" [9]. Основная тема обсуждения – использование результатов этой "оружейной" программы в "мирной" атомной энергетике.

Другое стратегически важное направление суперЭВМ с масштабируемой сетевой архитектурой в совокупности с быстрыми каналами связи – централизованное хранение и обработка персональных данных с гарантированной сохранностью, безопасностью и доступом к этим данным в реальном масштабе времени. Прогнозы роста пропускной способности каналов цифровой связи свидетельствуют, что в ближайшие 5–10 лет хранить большие объемы данных станет экономически целесообразным не на отдельных ПЭВМ, а в больших централизованных хранилищах. Как следствие, может существенно измениться структура рынка ПЭВМ. Традиционные немасштабируемые ПЭВМ будут постепенно вытеснены (частично или полностью) бездисковыми ЭВМ-коммуникаторами. Главная задача таких ПЭВМ – организовать локальные взаимодействия с аналогичными коммуникаторами, а также формировать поток заявок на обслуживание централизованным хранилищем и отображать результаты их выполнения. Непосредственная обработка данных для этих коммуникаторов станет вторичной задачей и в основном сведется к обеспечению удобного интерфейса с пользователем. Необходимым условием создания таких центров хранения и обработки данных также является разработка как промышленных технологий масштабирования приложений, так и собственно масштабированных приложений, обеспечивающих сохранность и безопасность персональных и корпоративных данных.

### **Российская ИТ-индустрия – поддерживающая отрасль для отечественного энергетического машиностроения**

Превращение нашей страны из поставщика сырья в державу, экономика которой основана на высоких технологиях, – необходимое условие обеспечения национальной безопасности России в 21 веке. Один из наиболее реалистичных



планов перехода на инновационные рельсы основывается на приоритетном развитии энергетического машиностроения. Прежде всего, огромна емкость этой ниши мирового рынка – 13 трлн. долл. в ближайшие 25–30 лет. Кроме того, производственная, образовательная и научная инфраструктура России наиболее подготовлена к проектированию и серийному производству такого рода продукции. Россия имеет многолетний опыт серийного производства атомных подводных лодок. Поэтому у нее есть уникальный шанс сделать с изделиями энергомашиностроения то же, что Г.Форд в 1903 году сделал с автомобилями – перейти к их серийному выпуску. К таким изделиям, например, относятся морские платформы для добычи нефти и газа (стоимость платформы – около 1 млрд. долл.), танкеры для транспортировки сжиженного газа, плавучие атомные электростанции, необслуживаемые АЭС малой и средней мощности и т.д.

Но чтобы такие изделия были конкурентоспособны на мировом рынке, необходимо развивать отечественные технологии детального предсказательного моделирования и виртуального прототипирования, прежде всего – для проектирования перспективных изделий энергомашиностроения. Также необходимы технологии создания систем управления технологическими процессами и собственно изделиями на основе масштабируемых аппаратно-программных комплексов. Разработка таких технологий невозможна без широко-масштабных фундаментальных и прикладных исследований в области гидродинамики, ядерной физики, вычислительной математики, программирования, материаловедения и т.д. Кроме того, на этой основе нужны как промышленные технологии разработки масштабируемых приложений, так и собственно масштабируемые приложения. А поскольку энергетическое машиностроение занимает весьма объемную нишу на мировом рынке, такое стратегическое решение позволит создать прочную экономическую базу для реализации бизнес-модели "экономики знаний". На ее основе смогут интенсивно развиваться отечественные системообразующие компании, комплексно решающие проблемы разработки и производства аппаратного и программного обеспечения информационных систем. Возникнут и необходимые экономические предпосылки для выхода этих компаний на мировой рынок массовых короткоживущих ИТ-продуктов.

---

Таким образом, у России есть реальные перспективы занять достойное место в мировой ИТ-индустрии. Причем не следуя в фарватере крупнейших зарубежных компаний, а выбрав путь, оптимальный именно для нашей страны. Но для этого необходимы как усилия научно-технического сообщества, так и политическая воля государства.

## ЛИТЕРАТУРА.

1. [lenta.ru/news/2006/07/12/conroe](http://lenta.ru/news/2006/07/12/conroe).
2. [www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/06/09/203268](http://www.cnews.ru/news/top/index.shtml?2006/06/09/203268).
3. Производство как преимущество. — Computer World/Россия. — 24.01.2006.
4. [www.cnews.ru/reviews/free/2005/cnews100.shtml](http://www.cnews.ru/reviews/free/2005/cnews100.shtml).
5. **Борисов Ю.** Концепция и стратегия развития электроники России. — ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2006, №3.
6. <http://www.tomshardware.com>
7. NSF's Cyberinfrastructure Vision for 21st Century Discovery, National Science Foundation September 26, 2005, Version 4.0. — [www.nsf.gov/od/oci/CI-v40.pdf](http://www.nsf.gov/od/oci/CI-v40.pdf).
8. BMW Sauber Unveils New Supercomputer for Automotive Design, HPCwire, December 15, 2006. — [www.hpcwire.com/hpc/1158325.html](http://www.hpcwire.com/hpc/1158325.html).
9. Программа конференции "Предсказательное моделирование – ключ к ядерной энергетике будущего". — Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California 14-16 декабря 2005. — [eed.llnl.gov/nuclear\\_workshop/presentations.php](http://eed.llnl.gov/nuclear_workshop/presentations.php).