

СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ОСНОВА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ XXI ВЕКА

В.Б. Бетелин

I. Социально-экономическое развитие промышленно развитых стран, как результат 200-летней эволюции сложных технических систем

Всего лишь немногим более двухсот лет назад технические системы (парусный корабль, ветряная мельница, водяной двигатель и т.д.) являлись отдельными рукотворными элементами природной среды обитания человека, основная цель создания которых заключалась в обеспечении более дружественного «человеко-природного интерфейса», то есть уменьшении зависимости человека от неблагоприятных для него факторов природной среды обитания. Роль этих технических систем, как предметов купли-продажи была практически незначима прежде всего из-за прямого использования энергии природных стихий (ветер, вода).

В конце XVIII века ситуация коренным образом изменилась. Англичанин Д. Уатт разработал образец паровой машины, пригодной для серийного производства, и в 1775 г. совместно с М. Балтоном, организовал компанию, которая в течение последующих двадцати пяти лет произвела большое количество паровых машин. Тем самым фактически были заложены основы как новых отраслей – энергетического, транспортного (железнодорожный и водный транспорт), а затем и общего машиностроения, так и **мирового рынка сложных технических систем**. Развитие этих отраслей, обусловленное, прежде всего стремлением к экономическому и военному превосходству в мире, в последующие 200 лет, собственно и **определило путь мирового социально-экономического развития**, итогом которого явилось создание и интенсивное развитие рукотворной технической среды обитания человека, основанной на принципе использования сложных технических систем, не имеющих аналогов в природной среде.

Одновременно с созданием промышленности машиностроения, в течение XIX века, на основе достижений фундаментальной науки, являющихся результатом изучения природной среды, сформировались новая отрасль знаний - технические науки и новая система профессиональной подготовки - инженерное образование, нацеленные на решение задачи создания технической среды обитания человека и ее базового элемента – сложной технической системы. Основной предмет технических (инженерных) наук – методы создания возможно более точных **информационных моделей сложных технических систем**, обеспечивающих, как возможность априорного предсказания наиболее важных параметров функционирования этих систем, так и их

последующего изготовления и эксплуатации. Основная цель инженерного образования – формирование практических навыков применения этих методов для создания и производства промышленных изделий.

К концу XIX века Россия располагала многотысячным корпусом инженеров мирового уровня, аккумулировавших огромный практический, научный и образовательный опыт предыдущих поколений. Авторитет российской системы подготовки инженеров в этот период был столь высок, что президент Бостонского (ныне Массачусетского) университета распространил систему подготовки инженеров Императорского высшего технического училища (ныне Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана) вначале на возглавляемый им университет, а затем и на другие высшие учебные заведения Америки. Именно наличие в России собственной системы инженерного образования, собственного инженерного корпуса, имеющего опыт научной, образовательной деятельности и реализации проектов мирового уровня, позволило построить в рекордно короткие сроки – всего за 15 лет (1891-1905 гг.) – Транссибирскую магистраль. Причем, по выражению журналистов того времени, Транссибирская магистраль была построена «русскими материалами, за русские деньги и русскими руками». Строительство Великой магистрали внесло громадный вклад в социально-экономическое развитие России, поскольку инициировало создание к 1917 г. десятков крупных промышленных предприятий, производивших рельсы, паровозы и вагоны. Кроме того, это строительство имело долговременный геополитический эффект, так как привело к интенсивному «обрусению» Сибири: с 1897 по 1917 гг. в Сибирь переселились более десяти миллионов человек.

Преемственность между системами подготовки инженерных кадров дореволюционной России и СССР, собственно, и позволила СССР в 40^х-80^х годах XX века совершить **второй** (после «железнодорожного» в 40^х-80^х годах XIX века) **технологический прорыв**, в результате которого были созданы атомная и ракетно-космическая отрасли, что обеспечило на длительное время вхождение России в число промышленных стран-лидеров. Достижения СССР в машиностроении существенно опирались на **«культ знаний»**, особенно в области точных наук, который в результате целенаправленной политики государству удалось сформировать и поддерживать в общественном сознании практически до 1991 года. Умение решать сложные научные и технические проблемы на основе фундаментальных знаний открывало члену общества один из путей к государственному и общественному признанию, материальному благополучию, вхождению во властные структуры и, что не менее важно, к масштабному техническому творчеству. На приобретение этих умений и знаний путем многолетнего, кропотливого труда на школьной и вузовской скамьях и была нацелена естественно-научная компонента массовой образовательной системы СССР.

Несомненным результатом интенсивного развития технических наук и инженерного образования является создание в конце XIX века паровой турбины, бензинового и дизельного двигателей с существенно более высоким коэффициентом полезного действия, чем у паровой машины. Это оказалось мощным стимулом развития новых отраслей и соответствующих ниш мирового рынка (теплоэлектроэнергетика, автомобилестроение, авиастроение), а также заложило **основы мирового рынка углеводородов.**

Созданием в XX веке эффективных систем теплоэнергетики на углеводородах, а также газотурбинных двигателей и атомных энергетических установок фактически завершился процесс эволюционного формирования современных высокотехнологичных машиностроительных отраслей при ведущей роли энергетической и транспортной отраслей, а также соответствующих стабильных ниш мирового машиностроительного рынка, включая энергоносители (углеводороды, низкообогащенный уран и топливо для атомных энергетических установок). Опыт США, стран Евросоюза и Японии свидетельствуют о том, что лидерство страны на этих рынках – гарантия притока в национальную экономику стабильных финансовых потоков, **достаточных для обеспечения устойчивого социально-экономического развития и военной безопасности этих стран.** Действительно, среди первых 100 крупнейших компаний реального сектора экономики США (далее список «100») с годовым оборотом от **\$400 млрд. до \$10 млрд.**, суммарный оборот компаний нефтегазодобычи и переработки составляет более **1 триллиона долларов.** 84% этого оборота принадлежит четырем наиболее крупным компаниям (EXXON, CHEVRON, CONOCO, VALERO). Суммарный оборот машиностроения, включая металлообработку и ОПК, также составляет около **\$ 1 трлн.,** причем 60% этого оборота принадлежит четырем наиболее крупным компаниям, к числу которых относятся BOENG и GENERAL ELECTRIC. [1].

По данным Министерства энергетики США [2] **85% генерируемой в США энергии** вырабатывается за счет сжигания углеводородов (нефть, природный газ, уголь). Прогнозируется, что главенствующее положение энергетики углеводородов сохранится в США на ближайшие **30-50 лет,** вследствие огромной стоимости уже созданной инфраструктуры этой энергетики. Фактически это означает, что, по крайней мере, **до середины 21 века** нефтегазовая и машиностроительные отрасли по-прежнему **будут основой устойчивого социально-экономического развития** и военной безопасности этой страны.

В России **88 % генерируемой энергии вырабатывается за счет сжигания углеводородов** [3], поэтому достижение стратегической цели Концепции социально-экономического развития России до 2020г. (далее Концепция «2020»), должно также основываться, прежде всего, на

приоритетном развитии нефтегазовой и машиностроительной отраслей.

II. Эволюция технологий создания информационных моделей сложных технических систем: от «бумажных» до суперкомпьютерных технологий

Одной из базовых компонент информационной модели сложной технической системы (СТС) являются геометрические модели составляющих ее деталей, узлов и агрегатов. На основе этих моделей формируются исходные данные для проведения различного рода инженерных расчетов (прочностных, кинематических и т.д.), результаты которых являются важной составной частью информационной модели СТС. В рамках традиционных «бумажных» технологий геометрическая модель изделия создавалась конструктором на бумаге с помощью линейки, циркуля, лекал и трафаретов в виде чертежа, представляющего собой совокупность простых геометрических объектов: точка, отрезок, дуга окружности и т.д. Очевидно, что создание достаточно сложного чертежа требовало от конструктора выполнение большого количества рутинных операций. Инженерные расчеты велись на основе представления процесса функционирования СТС в виде простых алгебраических уравнений, которые решались либо в замкнутой форме, то есть в виде формул, либо численно с помощью вычислений на бумаге. Практически до $30^x - 40^x$ годов прошлого века в машиностроении массово использовались только те теории и методы, применение которых на практике не требовало проведения больших объемов вычислений. Эти вычисления выполнялись основной массой инженеров с помощью логарифмической линейки, таблиц, номограмм и, в особых случаях, механического арифмометра.

Конечно, «предсказательная мощь» построенных таким образом информационных моделей СТС была ограничена, что соответственно ограничивало возможности оптимизации конструкторских и технологических решений, и, кроме того, требовало проведения значительного объема натурных и полунатурных испытаний, который фактически и определял стоимость и сроки создания нового изделия.

Появление на крупных машиностроительных предприятиях в $30^x - 40^x$ годах прошлого века специальных расчетных бюро, оснащенных первоначально электромеханическими вычислительными машинами, а с 60^x годов ЭВМ, незначительно повлияло на сокращение стоимости и сроков разработки новых изделий, прежде всего потому, что эти новые средства были недоступны основной массе инженеров, и использовались в рамках старой «бумажной» технологии для решения ограниченного круга, хотя и важных, но изолированных задач: инженерные расчеты, автоматизированная подготовка чертежей документации, подготовка программ для станков с ЧПУ и т.д. Другими словами, эти новые средства уменьшили объем рутинных работ, выполняемых конструкторами и технологами, но не позволили заметно увеличить «предсказательную

мощность» информационных моделей СТС.

Массовые персональные ЭВМ и рабочие станции явились технической основой перехода в промышленности от «бумажных» технологий создания информационных моделей СТС к технологиям компьютерного («цифрового») представления конструкторской, технологической и эксплуатационной документации, что собственно и обеспечило существенное сокращение сроков и стоимости разработки новых изделий, а также сроков их выхода на рынок.

Одним из наиболее важных итогов такого перехода к «цифровым» технологиям в промышленности и торговле является формирование крупных компаний, которые по таким показателям, как контролируемая доля мирового рынка, годовой оборот и численность персонала фактически соответствуют уровню отрасли. В США, Европе, Юго-Восточной Азии крупнейшие компании – отрасли фактически представляют собой "становой хребет" основных отраслей и экономики этих стран в целом и, потому, являются предметом особой заботы и поддержки как законодательной, так и исполнительной власти.

В настоящее время "становой хребет" экономики США составляют **900** крупнейших компаний, на долю которых приходится около **40%** (**\$ 9.3 трлн.**) годового объема всего частного сектора США. Общее число работающих в этих компаниях, составляет **30** млн. человек (25% общего числа работающих), со средней численностью в одной компании **33 тыс.** человек, и годовой выработкой на человека около **\$ 300 тыс.**[4]. Эти крупнейшие компании создают среду для деятельности более **5** млн. компаний малого и среднего бизнеса, а также для **20** млн. индивидуалов.

Эти компании, обладающие мощной современной производственной инфраструктурой и огромными финансовыми возможностями, реализуют бизнес-модель, «экономики знаний», делая для крупного, среднего и малого бизнеса экономически оправданными вложения в генерацию новых идей, формируя **спрос на результаты** инновационной деятельности **динамичного малого бизнеса**, и спрос на венчурный капитал, и формируя систему международного разделения труда на базе экономических схем "аутсорсинг" и "разделение рисков". Вполне естественно, что эти крупнейшие компании являются предметом особой заботы и поддержки как законодательной, так и исполнительной власти стран - лидеров мирового рынка.

Как уже упоминалось выше среди первых 100 крупнейших компаний реального сектора экономики США (далее список «100») с годовым оборотом от **\$ 400 млрд.** до **\$10 млрд.**, суммарный оборот компаний нефтегазодобычи и переработки составляет более **1 триллиона долларов.** Суммарный оборот машиностроения, включая металлообработку и ОПК, также составляет около **\$ 1 трлн.**

Суммарный оборот компаний информационной индустрии, входящих в список «100», равен обороту одной компании EXXON и составляет около

§ 0.4 трлн., т.е. в пять раз меньше, чем суммарный оборот компаний нефтегазового сектора и машиностроения вместе взятых. То есть, информационная индустрия США и ее суперкомпьютерный сектор, это, прежде всего «инновационный катализатор» для **отраслей стратегических приоритетов: нефтегазового сектора и машиностроения,** обеспечивающий их лидерство на мировых рынках.

Поэтому далеко не случайно, что исполнительная и законодательная ветви власти и ученые США единодушны во мнении, что в отличие от многих других секторов ИТ рынка, суперкомпьютерный сектор должен быть заботой правительства США. В отчете Национального Исследовательского Совета Национальных Академий США 2005 года [5] подробно обосновывается следующая рекомендация: «Чтобы обеспечить удовлетворение текущих и будущих потребностей США, **правительственные агентства вместе с Конгрессом** должны взять на себя ответственность за ускоренное развитие суперкомпьютерных технологий и **гарантировать функционирование нескольких надежных отечественных поставщиков суперкомпьютерного оборудования и программного обеспечения**».

В течение последних пятнадцати лет, в рамках государственных программ, правительством США ежегодно выделялись многие сотни миллионов долларов на разработки в этой области и закупки супер-ЭВМ. Так, годовой бюджет только программы ASCI в 2001 году составил около 1 миллиарда долларов. В результате США являются в настоящее время безусловным мировым лидером в области суперкомпьютерных технологий.

Аппаратной основой этих суперкомпьютерных технологий, являются супер-ЭВМ терафлопного (10^{12} оп/сек) и петафлопного (10^{15} оп/сек) класса, которые фактически представляют собой коммутируемую сеть из многих сотен и **тысяч параллельно работающих** вычислительных узлов массово производимых серверов и/или рабочих станций. Реализация именно этой концепции, сформулированной в 1996 г. в программе ASCI [6], обеспечила беспрецедентно высокий рост показателя производительность/стоимость для супер-ЭВМ терафлопного класса (1000-кратное увеличение производительности и 450-кратное снижение стоимости одного Тфлопс с 1996 по 2008 гг.).

Для основной массы инженеров и ученых, это сделало принципиально возможным повседневное применение таких моделей и расчетных схем для построения информационной модели СТС, которые ранее для этой цели использовать было нецелесообразно или практически невозможно. Так, например, в рамках гражданского раздела программы ASCI, в Стэнфордском университете, для компании Пратт-Уитни была разработана трехмерная модель авиационного двигателя и реализована на супер-ЭВМ BLUE GENE/L с пиковой производительностью 350 Тфлопс. Следствием возможности создания практически адекватных

информационных моделей таких сложных технических систем стало значительное сокращение объемов натуральных и полунатурных испытаний, а также стремительное увеличение числа пользователей этих ЭВМ в промышленности, науке и образовании.

Сегодня, в начале XXI века, ни выход на мировые рынки ни удержание уже захваченных ниш мирового рынка практически немислимы без использования технологий высокопроизводительных вычислений. В 2006 году по заказу *Совета по конкурентоспособности экономики США* компания IDC провела опрос 33 высокотехнологичных компаний США, работающих в области аэрокосмического оборудования, автомобилестроения, нефтедобычи, электроники, фармацевтики, биологии, программного обеспечения, финансовых и транспортных услуг, индустрии развлечений. Руководителям каждой компании был задан вопрос, о том, каково было бы место компании в глобальной экономике при отсутствии доступа специалистов компании к технологиям высокопроизводительных вычислений. В итоге оказалось что, **только 3% опрошенных компаний продолжали бы существовать и успешно конкурировать, в то время как 97% компаний потеряли бы возможность присутствия на мировом рынке [7].**

Достигнув уровня сверхдержавы, США, однако, продолжают ставить себе в промышленной политике амбициозные цели – научное и экономическое лидерство (и даже доминирование) во всех ключевых направлениях промышленного развития. В начале XXI в. объединение национальных академий США и Совет по конкурентоспособности экономики США подготовили рекомендации по обеспечению доминирования США в грядущей глобальной «экономике знаний». В результате в 2006 г. президент США объявил долгосрочную программу под названием «Инициатива по повышению конкурентоспособности США». Многие её положения материализовались в принятом в августе 2007 г. законе «Америка конкурирует» (полное название этого 147-страничного закона – H.R. 2272 "America Creating Opportunities to Meaningfully Promote Excellence in Technology, Education, and Science Act").

Закон «Америка конкурирует» во многом реализует положения президентской «Инициативы по повышению конкурентоспособности США» – комплексной стратегии сохранения позиции США как самой инновативной страны в мире.

После прихода к власти команды президента Б. Обамы, задачи радикального улучшения математического и естественно-научного образования и фундаментальных исследований декларируются в США как общенациональные, находящиеся под личным контролем президента Б. Обамы (апрель 2009 года [8]).

Страны, промышленная, инновационная, образовательная и научная политика которых в ближайшие 5–10 лет не станет, хотя бы в основных чертах, адекватным ответом на претворение в жизнь инициатив по

повышению конкурентоспособности США, президентов Буша и Обамы будут скатываться в круг тех, **«кого встраивают»** в систему международного разделения труда, созданную компаниями "станового хребта" стран-лидеров мирового рынка.

Другими словами, в ближайшие 5-10 лет разработка новой высокотехнологичной продукции в стратегически важных нефтегазовой и машиностроительной отраслях, и особенно в энергомашиностроении, будет возможна только на основе суперкомпьютерных технологий и будет требовать столь больших финансовых и организационных усилий, что в каждой крупной нише мирового рынка выживут единицы лидеров-гигантов - тех, **«кто встраивает» отстающих** в систему международного разделения труда. Национальные экономики, не получившие свою долю контроля над достаточно объёмными нишами мирового (включающего внутренний) рынка, будут стагнировать и, естественно, пополнят ряды тех, **«кого встраивают»**. Об этом необходимо свидетельствуют развертываемая в США долгосрочная программа создания и использования технологий сверхвысокопроизводительных вычислений (10^{18} оп/сек) прежде всего, с целью обеспечения энергетических потребностей стран в условиях усиления конкуренции на глобальном рынке, за счет **«перехода промышленности от эмпирических методов проектирования и конструирования, опирающихся на натурные тесты, к научным методикам, опирающимся на предсказательное компьютерное моделирование»**[5].

III. Эксафлопные вычисления и энергетическая безопасность США в период 2010-2030 гг.

В 2006-2008 гг. Министерство Энергетики США (Department of Energy, сокращенно DoE) провело ряд конференций, посвященный техническим и социальным проблемам в энергетике США и мировой энергетике и перспективам решения этих проблем, которые открывает использование сверхпроизводительных вычислений (Эксафлопных вычислений). Тематика конференций покрывала широкий спектр существующих и перспективных технологий, имеющих потенциал глобального внедрения в ближайшие 10-20 лет.

В августе 2009 подразделения DoE, The Office of Advanced Scientific Computing Research in DOE's Office of Science, подготовило обзор по материалам этих конференций – **"Роль "Эксафлопных вычислений в энергетической безопасности"**[2]. Эта публикация является одним из многочисленных мероприятий долгосрочной программы DoE - SciDAC - Scientific Discovery through Advanced Computing (Научные открытия посредством высокопроизводительных вычислений). Обзор охватывает три основных направления: атомная энергетика, тепловая энергетика, альтернативные и возобновляемые источники энергии.

Тепловая энергетика. За счет сжигания углеводородов в США вырабатывается **85%** всей генерируемой энергии. Прогнозируется, что вследствие огромной стоимости инфраструктуры углеводородной энергетике, ее главенствующее положение сохранится на ближайшие **30-50 лет**.

Транспорт потребляет две трети нефти, используемой в США. Планируется за счет улучшения характеристик топлива и разработки низкотемпературных двигателей **сократить потребление нефти на транспорте на 15%**: с **20** млн. баррелей в день до **17** млн. баррелей в день. Эта экономия может быть достигнута только с помощью методов детального предсказательного многомасштабного **моделирования процессов сгорания новых видов топлива в двигателях новых конструкций**.

С целью увеличения доли углеводородов, добываемых на территории США, планируется развитие альтернативных технологий добычи углеводородов: нефтяные пески и сланцы, сланцевый газ и т.д. Топливо, получаемое из этих источников, заметно отличается по своему составу от используемого в настоящее время, поэтому для существующих тепловых станций и транспортных средств требуется разработка новых режимов эффективного малоотходного горения, а также подготовки горючей смеси и впрыска.

Такая разработка требует предсказательного многомасштабного моделирования от течения реакции на уровне отдельных молекул, до образования вихрей при подаче топлива в камеру сгорания. В едином моделирующем коде должны одновременно работать совместно различные вычислительные алгоритмы, как-то: квантовая молекулярная динамика, классическая молекулярная динамика, кинетический метод Монте-Карло, имитационное моделирование, моделирование больших вихрей, методы с усреднением числа Рейнольдса и др. Специалисты Министерства энергетики США считают, что новое поколение высокоэффективных машин в тепловой энергетике (от стационарных до самолетных и ракетных) может быть создано только на базе развития Эксафлопных технологий.

Атомная энергетика. Доля атомных станций в общем объеме генерируемой в США энергии составляет **8%**. Основные проблемы, решаемые этой отраслью за последние 30 лет: модернизация и продление сроков службы уже существующих станций, что при использовании имеющихся технологий связано с большими временными и финансовыми затратами. Например, цикл внедрения новых конструкций топливных элементов, основанный на использовании результатов кратковременных и долговременных **натурных испытаний** сегодня занимает **15 лет**. По оценкам специалистов **DoE и промышленников и предпринимателей США**, революционные изменения произойдут в тот момент, когда станет возможным детальное предсказательное моделирование на супер-ЭВМ

всей атомной станции: топливные элементы, активная зона, загряздающие конструкции, вторичный контур, маршрут обработки отходов и т.д. Прогноз требуемой вычислительной мощности **10-20 Экзафлоп**. Продолжительность научных исследований, необходимых для разработки такой информационной модели и реализации ее на супер-ЭВМ оценивается **в 15 лет**. Предполагается завершить эту работу к 2024 году. Планируемый экономический эффект от внедрения ее результатов в практику строительства АС составит **20%** от стоимости строительства каждой типовой станции большой мощности. То есть, в конечном счете, это позволит снизить стоимость строительства такой станции с **15 миллиардов долларов США до 12 миллиардов**.

Альтернативные и возобновляемые источники энергии. Доля этих источников (вода, ветер, солнце, биотопливо), в общем объеме энергии, генерируемой в США в 2006г. составила **6.8%**. На федеральном уровне и на уровне отдельных штатов разработаны весьма амбициозные планы с целью значительного увеличения, в ближайшие 20 лет, доли этих источников в энергетическом балансе США. В частности, предусматривается обеспечить использование водорода, как основного вида топлива для транспортных средств; сократить уже в ближайшие **10 лет** потребление бензина на **10%** за счет увеличения доли биотоплива; развернуть к **2015 году** серийное производство конкурентоспособных солнечных батарей; повысить к **2030г.** долю ветроэлектроэнергии до **20%**.

Все перечисленное невозможно без сверхпроизводительных вычислений поскольку, либо требуется моделирование поведения НА УРОВНЕ ОТДЕЛЬНЫХ АТОМОВ (генерация и хранение водорода, солнечные батареи, атомная энергетика), либо требуется моделирование с точностью, на порядки выше, чем могут обеспечить супер-ЭВМ сегодняшнего дня. Например, предсказательное многомасштабное моделирование ветроэлектростанций требует учета завихрений диаметром от 1 метра в окрестности ветродвигателя до вихрей диаметром несколько километров на удалении до 100 километров от этого двигателя. При этом временные масштабы меняются от миллисекунд при моделировании процесса возникновения критических нагрузок на валу ветряного двигателя до нескольких десятков минут, в течение которых в многокилометровой области образуются громадные вихри, прохождение фронта которых через ближайшую окрестность двигателя может привести к его разрушению.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что энергомашиностроение, основанное на сжигании углеводородов, а также нефтегазодобыча и переработка, останутся стратегическими приоритетами социально-экономического развития США по крайней мере до середины 21 века. Обеспечение конкурентоспособности этой энергетике на мировом энергетическом рынке невозможно без огромных долгосрочных (15-20 лет)

финансовых вложений в модернизацию, на основе экзафлопных технологий, (создание которых является самостоятельной чрезвычайно сложной и дорогостоящей проблемой) существующей энергетической инфраструктуры. При этом **прогнозируемый эффект**, полученный в результате всех этих усилий, измеряется всего лишь **полутора-двумя десятками процентов**. Аналогичным образом обстоит дело и с атомной энергетикой (снижение на **20%** стоимости строительства АС в результате **15-летних усилий**) и с альтернативными и возобновляемыми источниками энергии (за счет биотоплива сократить потребление бензина на **10% за 10 лет, за двадцать лет довести долю электроветроэнергии до 20%**). Одним из наиболее важных результатов этого двадцатилетнего «экзафлопного скачка» будет создание нескольких сверхкрупных компаний, которые монополизировать и поделят мировые нефтегазовые и энергомашиностроительные рынки, аналогично тому, как в настоящее время BOEING и AIRBUS уже фактически поделили мировой рынок магистральных авиалайнеров.

IV. Проблемы создания супер-ЭВМ экзафлопного класса

Разработка и производство компьютерных «монстров» - супер-ЭВМ производительностью единицы и десятки Экзафлоп - только небольшая видимая часть Экзафлопного проекта. Для выхода на экзафлопную производительность потребуются разработать **технологии проектирования, массового производства и эффективного программирования микроэлектронных компонент, в тысячу раз более производительных, чем сегодняшние**. С использованием таких компонент США смогут создавать **ЭВМ петафлопного класса в формате и по цене настольных рабочих станций, и ЭВМ терафлопного класса с размерами и стоимостью сегодняшних мобильных устройств**. Основной особенностью «топовых» суперЭВМ экзафлопного класса будет наличие огромного количества (до миллиарда) параллельно работающих вычислительных элементов (ядер). Наличие такого количества ядер создает три основные проблемы:

- как удержать в экономически и инженерно приемлемых рамках энергопотребление, стоимость изготовления и эксплуатации суперЭВМ с миллиардом ядер;

- как парировать единичные сбои, статистически неизбежно возникающие при работе суперЭВМ с миллиардом ядер;

- как организовать эффективную работу миллиарда ядер при выполнении пакетов прикладных программ, необходимых в промышленности и науке.

Решение этих проблем и обеспечит «экзафлопный скачок», **в результате которого оборонный потенциал и конкурентоспособность экономики США на мировых рынках радикально возрастут, а по ряду ключевых позиций как гражданской, так и военной продукции США могут**

стать единственным производителем. **Поэтому можно прогнозировать, что США будут стремиться** сохранить свое лидирующее положение в использовании экзафлопных вычислений и экспорт экзафлопных технологий и изделий будет проходить под строгим контролем государственных структур США.

Экзафлопная Супер-ЭВМ – это **результат совместного (в едином цикле) проектирования и оптимизации архитектуры и технологии ее производства**, и, следовательно, будет представлять собой уникальное штучное изделие, вычислительные и коммуникационные узлы которого будут разработаны исключительно для использования в этих изделиях, а не для массового производства и продаж на рынке. Как следствие, свободные массовые закупки узлов экзафлопных супер-ЭВМ и юридически и фактически окажутся невозможными. Подобные примеры разработки специализированных комплектующих для супер-ЭВМ уже известны в мировой практике. Например, в основу семейства супер-ЭВМ BLUE GENE/L компании IBM, положены уникальные вычислительные и коммуникационные узлы, разработанные и выпускаемые только для комплектации ЭВМ этого семейства силами специалистов IBM. Таким образом, необходимым условием достижения паритета в области технологии экзафлопных вычислений является создание в России, в партнерстве с зарубежными компаниями, нескольких ключевых элементов экзафлопных технологий (критические узлы технологического оборудования для производства наноразмерных СБИС, технология программирования для миллиарда процессорных ядер и т.д.), а также потенциала производства полного набора этих технологий, в случае необходимости. Существенно важной составляющей паритета является равноправное партнерство России с мировыми лидерами в области технологий экзафлопных вычислений.

V. Информационные модели сложных технических и биологических систем, учитывающих атомно-молекулярные взаимодействия – основа инженерных расчетов в 21 веке

До начала 21 века инженерная деятельность в промышленности, за небольшими исключениями, была построена на предложенной в математическом анализе парадигме «сплошной среды», суть которой состоит в учете только усредненных макроскопических взаимодействий материальных объектов. Этот подход позволил с достаточной степенью точности описывать подавляющее большинство процессов, встречающихся в инженерной практике. В редких случаях, когда неусредненные, индивидуальные атомно-молекулярные взаимодействия были существенны, они учитывались только феноменологически. Однако к концу 20 века потенциал классических инженерных технологий и теорий, как средства повышения технико-экономических характеристик промышленных изделий, был практически исчерпан. Дальнейший

прогресс в машиностроении, материаловедении, механике композитных материалов, микроэлектронике и наноэлектронике, традиционной и атомной энергетике, биотехнологиях, медицине, фармакологии стал невозможен без количественного учета хода атомно-молекулярных взаимодействий и проведения детальных расчетов с учетом таких взаимодействий. Фундаментальная наука за последние 30 лет подготовила теоретическую и экспериментальную базу для внедрения расчетов с учетом атомно-молекулярных взаимодействий в науку и производство. В этот период нобелевскими премиями были отмечены работы по созданию методов наблюдения и манипулирования отдельными атомами (электронный сканирующий микроскоп); работы по регистрации взаимодействия отдельных атомов в ходе химических реакций (фемтохимия); работы по оптимизации вычислений методами квантовой молекулярной динамики (метод функционала плотности). Переход человечества к учету, прогнозированию и управлению атомно-молекулярными взаимодействиями для получения как фундаментальных научных, так и масштабных, коммерчески значимых, практических результатов и составляют суть нанотехнологической революции, которая разворачивается сегодня во всех развитых странах. Для проведения полномасштабного предсказательного моделирования сложных технических и биологических систем, с учетом атомно-молекулярного взаимодействия требуется супер-ЭВМ с производительностью на три порядка выше существующих в настоящее время, т.е. 1 Эксафлопс = 10^{18} оп/сек. Именно такой порядок производительности требуется для предсказательного моделирования сложнейших трехмерных атомно-молекулярных процессов, разворачивающихся под управлением генетического кода. Хотя собственно генетический код человека сегодня расшифрован (точнее, картирован), атомно-молекулярные процессы его исполнения пока не изучены и не промоделированы, в частности потому, что требуют недостижимых сегодня вычислительных мощностей эксафлопного уровня.

Таким образом, дальнейший прогресс, как в области создания сложных инженерных систем, так и в области изучения сложных биологических систем обусловлен созданием и использованием супер-ЭВМ производительностью единицы и десятки Эксафлопс.

Подчеркнем в заключение, что создание Эксафлопных технологий, которое несомненно ускорит наше понимание мира и технический прогресс, направлено, в первую очередь, не на решение отвлеченных научных проблем, а на решение реальных практических задач сегодняшнего дня. Так, по мнению специалистов фирмы ИВМ первоочередным применением развиваемых сегодня эксафлопных суперкомпьютерных технологий будет удвоение разведанных запасов нефти за счет увеличения коэффициента нефтеизвлечения путем моделирования процессов добычи на эксафлопных супер-ЭВМ.

VI. Национальные технологии экзафлопных вычислений – основа социально-экономического развития нашей страны в 21 веке

В момент перехода России в 1991-92 гг. к новым экономическим условиям, лидеры отечественного машиностроения только начинали разворачивать, на основе государственного финансирования, широкомасштабные работы по перестройке всей инфраструктуры проектирования и производства новых изделий на основе массовых информационных технологий, в то время как их зарубежные конкуренты на мировом рынке, к этому моменту, такую перестройку уже, в значительной степени, завершили.

За годы реформ в России был разработан целый ряд концепций реализации государственной промышленной политики. Однако ни одна из этих концепций не основывалась на использовании массовых информационных технологий, как основного инструмента структурной и технологической перестройки промышленного комплекса, с целью завоевания сколько-нибудь значительной доли мирового рынка промышленной продукции, и повышения на этой основе в промышленности России таких показателей как уровень занятости (число рабочих мест) и средняя заработная плата, до уровней достигнутых в промышленности стран Европы и США. Более того, проводимые реформы нацелены на **достижение лидерства России на финансовых, а не на машиностроительных мировых рынках.** Это означает, что на протяжении уже более чем полутора десятка лет авторы этих реформ пытаются решить задачу, очевидно не имеющую решения, а именно — **заставить работать реальный сектор экономики, науку и образование России с эффективностью финансовых институтов, шоу-бизнеса или потребительского сектора,** то есть в соответствии с принципом «максимальная прибыль за минимальное время». Как следствие основным вектором проводимых реформ фактически оказалась трансформация промышленно-ориентированной экономики России в финансово ориентированную путем превращения промышленных предприятий, научных и образовательных учреждений, унаследованных от СССР, в финансовые компании с минимальными рисками.

В результате проведения этой политики в течение последних 18 лет сформировались приоритеты структура и показатели реального сектора экономики России совершенно неадекватные соответствующим аналогам в странах – лидерах мирового рынка. Действительно, по состоянию на 2007 год даже наиболее успешные российские компании нефтегазового сектора и машиностроения во много раз уступают конкурентам по таким основным показателям, как производительность труда, годовой оборот и контролируемая доля мирового рынка. Так, например годовой оборот в 2007 году компании ГАЗПРОМ составил **\$81 млрд.**, а выработка на человека – **\$202,5 тыс.** Аналогичные показатели компании EXXON

MOBILE, составили \$405 млрд. и \$3.9 млн., то есть соответственно в **5 и 20 раз больше**. Суммарный годовой оборот всей авиационной отрасли - лидера оборонно-промышленного комплекса России - составил в 2007 году около \$10 млрд., а выработка на человека – \$28.5 тыс., что соответственно в **6.6 и 14 раз меньше** аналогичных показателей только одной компании BOEING [9].

В связи с этим не вызывает удивления тот факт, что безусловным лидером по объему инвестиций в области информационно-телекоммуникационных технологий все 18 лет являлся не реальный, а потребительский сектор экономики России: массовая компьютеризация школ, мобильная связь, Интернет, кабельное и спутниковое телевидение, компьютеризация торговых, развлекательных, финансовых компаний, государственных учреждений и т.д.

Неадекватность как приоритетов и структуры реального сектора экономики России, так и основных показателей составляющих его компаний, соответствующим аналогам в США и ЕВРОПЕ требует немедленного осознания в России того, что **«триумф либерализма обернулся пирровой победой: непомерно разросшаяся, неконтролируемая финансовая деятельность оборачивается беспорядком и общим кризисом»**. Ведущие мировые экономисты стали задаваться вопросами: **«Можно ли доверить ответственность за принятие производственных решений операторам рынка, которые заботятся только о краткосрочной рентабельности и не имеют компетенций в индустриальной сфере?»** [10]; **«Банковская и финансовая сферы росли колоссальными темпами за последние два десятилетия, и выросли до того, что они сейчас являются крупнейшими глобальными индустриями, если смотреть на доход, долгосрочную выгодность и долю ВВП. Странно, что индустрия, единственной функцией которой является превращение сбережений в реальные инвестиции, стала так доминировать. Мы должны выяснить, как получилось, что эта роль посредника так дорого обходится обществу?»** [11].

В России 88% потребляемой энергии вырабатывается за счет сжигания углеводородов на теплоэнергетических установках, около 80% которых построены в 1960-1985гг. [3], то есть основой социально-экономического развития России, также как и США, на ближайшие 30-50 лет будет энергомашиностроение и нефтегазодобыча и переработка, модернизированные на основе экзафлопных технологий.

Из этого необходимо следует, что достижение стратегических целей Концепции социально-экономического развития России до 2020 г. требует консолидации государством усилий нефтегазовой и машиностроительной отраслей, и, прежде всего энергомашиностроения, производителей электроники, Российской академии наук, ведущих университетов и инженерных ВУЗов, на основе государственной **программы создания**

национальных технологий экзафлопных вычислений с целью модернизации на их основе перечисленных выше отраслей.

Цитированные источники

- [1] Список крупнейших 500 компаний реального сектора США 2008-2009
<http://www.industryweek.com/research/us500/2009/iwus500rank.asp>
- [2] The Role of EXASCALE Computing in ENERGY Security, DoE SciDAC Review, 2009, www.scidacreview.org/1001/html/energy.html
- [3] Россия в мировой энергетике XXI века, Велихов Евгений Павлович, Гагаринский Андрей Юрьевич, Субботин С. А., Цибульский В. Ф., Москва, ИздАТ 2006
- [4] Бюро переписи населения США - статистические показатели 2002 и 2004 гг., связанные с размером предприятия (включая малые предприятия)
<http://www.census.gov/epcd/www/smallbus.html>
- [5] "The NRC Report on the Future of Supercomputing," *CTWatch Quarterly*, Volume 1, Number 1, February 2005.
<http://www.ctwatch.org/quarterly/articles/2005/02/nrc-report/>
- [6] Программа ASCI . Accelerated Strategic Computing Initiative. Program Plan, July 1996 http://www.sandia.gov/NNSA/ASC/pubs/progplan_FY96.html
- [7] Использование высокопроизводительных вычислений высокотехнологичными компаниями США - Исследования, проведенные компанией International Data Corporation (IDC) по заказу Совета по конкурентоспособности США)
http://www.compete.org/images/uploads/File/PDF%20Files/HPC_Users_Survey%202004.pdf
<http://www.compete.org/news/entry/525/council-on-competitiveness-idc-release-study-on-hpc-and-innovation/>
- [8] Речь президента США Б. Обамы перед Национальной Академией Наук США 27 апреля 2009 г., перевод на русский, газета «Троицкий вариант» 26 мая 2009 г.
<http://www.scientific.ru/trv/2009/029/obama.html>
- [9] ПРОМЫШЛЕННОСТЬ, ИННОВАЦИИ, ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В РОССИИ, Е.П. Велихов, В.Б. Бетелин, А.Г. Кушниренко, Москва НАУКА 2009
- [10] К новому Бреттон-Вудсу, К. Матье, А. Стердиньяк – *Центр экономических исследований при Институте политических наук, Париж*

Оригинал: Mathieu C., Sterdyniak H. Vers un nouveau Bretton Woods // Lettre de l'OFCE. – P., 2008. – 5 dec.# 303 // Mode of access:

www.ofce.sciences-po.fr/pdf/lettres/303.pdf

Перевод с французского специально для сайта «Перспективы»

http://www.perspektivy.info/oykumena/ekdom/k_novomu_bretton_vudsu_2008-11-18-41-14.htm

[11] Глава британской службы финансового надзора Эдейр Тернер. «Часть финансовых инноваций совершенно бесполезны в социальном смысле». Новостной ресурс slon.ru, публикация от 29.08.09

<http://slon.ru/articles/123500>