

## СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЦИФРОВОМ МИРЕ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ОБРАЗОВАНИЕ

© 2019 г. В.В. Воеводин

*Научно-исследовательский вычислительный центр Московского государственного университета  
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: voevodin@parallel.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.

Поступила после доработки 03.12.2018 г.

Принята к публикации 25.12.2018 г.

Суперкомпьютерные технологии сегодня используются повсюду, определяя конкурентоспособность науки, индустрии, государства. США, Европа, Китай и Япония вкладывают миллиарды в их развитие, продвигая национальные программы в данной области, формируя основу для будущего. Россия, недооценивая значение суперкомпьютерных технологий, не только не включается в мировой тренд, но и упускает уникальный шанс задействовать в этой сфере огромный потенциал российских специалистов. Нашей стране необходима комплексная суперкомпьютерная программа.

*Ключевые слова:* суперкомпьютерные технологии, параллельные вычисления, технологии параллельного программирования, сложные вычислительные задачи, промышленность, инновации, экономика, образование, комплексная программа.

**DOI:** <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894351-354>

Суперкомпьютерные технологии (СКТ) сегодня оказывают заметное влияние на науку, промышленное производство, общество и государство. Они являются не только важнейшей составляющей, но и лежат в основе актуальных направлений развития многих государств, выполняя интегрирующую роль и обеспечивая лидерство в глобальной экономической конкуренции.

Суперкомпьютерные технологии – неотъемлемая часть цифровой экономики, о которой сейчас много говорят. США, Европа, Китай и Япония вкладывают миллиарды в развитие СКТ, формируя национальные суперкомпьютерные программы. Девиз комитета по конкурентоспособности США – "To out-compete is to out-compute" ("В конкурентной борьбе победит тот, кто победит в вычислениях"). Перефразируя эти слова, можно сказать: в суперкомпьютерной сфере необходимо быть лидером или, по крайней мере, владеть такими технологиями, иначе в будущем проиграешь.

Передовые компании, работающие в высокотехнологичных и наукоёмких отраслях экономики, давно сделали суперкомпьютерные вычисления частью своих технологических цепочек.

---

ВОЕВОДИН Владимир Валентинович – член-корреспондент РАН, заместитель директора НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой суперкомпьютеров и квантовой информатики ВМК МГУ им. М.В. Ломоносова.

Авиа-, автомобиле- и судостроение, фармацевтика, аэрокосмическая и добывающая промышленность, энергетика – традиционные сферы, где суперкомпьютер используется как инструмент для обеспечения конкурентоспособности отрасли. Снизить издержки производства, ускорить выход на рынок, решить точнее, быстрее, перейти к задачам новой размерности – именно эти аргументы помогают предприятиям, внедряющим СКТ, занять лидерские позиции.

Важно и то, что высокопроизводительные вычисления становятся драйвером других технологий, порождая и обеспечивая не просто устойчивое, а революционное развитие множества областей: предсказательного математического моделирования, многовариантной оптимизации, искусственного интеллекта, машинного обучения, глубинного обучения, технологии работы с Большими данными (Big Data). Более того, СКТ по своей природе являются сквозными, то есть необходимыми сразу для нескольких рынков, их активно применяют как для решения приоритетных задач, так и для формирования ответов на большие вызовы, определённые Стратегией научно-технологического развития РФ. Недооценивая значение суперкомпьютерных технологий, мы упускаем не только мировой тренд, но и уникальный шанс задействовать в этой сфере огромный потенциал российских специалистов.

По состоянию на ноябрь 2018 г. лидер рейтинга самых мощных вычислительных машин мира (Top-500) [1] – суперкомпьютер IBM Summit производительностью 200 Pflops ( $200 \cdot 10^{15}$  операций в секунду). Самый мощный из российских сверхвычислителей – суперкомпьютер Московского государственного университета "Ломоносов-2" – находится в Top-500 на 79 позиции. Россия занимает 17 место в мире по общему количеству эксплуатируемых суперкомпьютерных систем (3 суперкомпьютера в списке). Лидируют по этому показателю Китай (227 систем) и США (109), за ними следуют Япония (31), Великобритания (20) и Германия (17). Согласно данной редакции списка, в мире 429 суперкомпьютеров производительностью выше 1 Pflops, в России – лишь 2. Чтобы попасть в Top-500 на последнее 500 место, производительность компьютера по результатам теста Linpack должна составлять 875 Tflops.

Top-500 даёт богатую пищу для размышлений. В частности, если проанализировать место установки суперкомпьютеров, входящих в этот список, то окажется, что 54,6% систем функционируют в промышленности. Более половины самых мощных вычислительных машин мира приобретены предприятиями реальных секторов экономики, что служит убедительным аргументом целесообразности использования СКТ.

Подтверждение востребованности сверхвычислителей можно найти повсюду. Итальянская энергетическая компания Eni установила суперкомпьютер производительностью 18,6 Pflops, который занимает 15 место в Top-500. В настоящее время это самый мощный суперкомпьютер мира, размещённый в промышленном секторе [2]. Компания D. E. Shaw Research (DESRES) на основе принципов кодизайна уже создала два поколения (в разработке третье) собственных суперкомпьютеров ANTON для поддержки молекулярно-динамических расчётов и проектирования лекарственных препаратов. Киностудия Disney в 2016 г. выпустила ленту "Книга джунглей" с бюджетом 175 млн долл. Для производства картины потребовалось 30 млн процессорочасов – весьма значительный суперкомпьютерный ресурс. При этом картина, став коммерчески успешной, заработала в мировом прокате около 1 млрд долл. Для сравнения: по данным исследования Фонда кино "Российская киноиндустрия-2017" [3], сборы от всех отечественных фильмов в 2017 г. составили 222,4 млн долл. Да, чтобы много получать, нужно много вкладывать и опираться на передовые технологии.

Несмотря на ощутимое отставание, в Российской Федерации делается попытка формирования структуры суперкомпьютерных центров в области образования и науки. Общая

производительность указанных центров – около 17,4 Pflops. Состояние суперкомпьютерного потенциала России с 2004 г. постоянно отражается в списке Top-50 [4]. Согласно этим данным, 47 из 50 отечественных суперкомпьютеров располагаются ниже порога вхождения в мировой рейтинг. Сумма производительности всех 50 систем списка меньше, чем производительность одного упомянутого суперкомпьютера компании Eni. Создание центров в нашей стране носит догоняющий характер и осуществляется в условиях, когда отсутствует единая государственная политика развития суперкомпьютерной отрасли. При этом масштабность задач, решаемых такими центрами по всем приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ, абсолютно не соответствует их реальным возможностям. Между тем суперкомпьютерные ресурсы крайне востребованы. Рабочей группой Минобрнауки РФ проведён анализ потребности в СКТ в рамках федеральных органов исполнительной власти, госкорпораций и организаций, в результате чего выделено более 700 задач, для решения которых требуются суперкомпьютерные ресурсы.

У нас в стране уже есть несколько суперкомпьютерных центров, но нет соответствующей инфраструктуры. Чтобы развивать суперкомпьютерную отрасль комплексно, необходимо учитывать все её компоненты, а именно:

- суперкомпьютерные системы и среды высокой производительности;
- технологии разработки параллельных приложений;
- технологии суперкомпьютерного кодизайна;
- технологии инфраструктурной интеграции распределённых ресурсов;
- предметно ориентированные пакеты и сервисы;
- технологии веб-сервисов масштабируемого доступа;
- высокопроизводительные вычисления и смежные технологии, AI/ML/DL, Big Data;
- суперкомпьютерные технологии в промышленности, бизнесе, обществе, государстве;
- суперкомпьютерное образование;
- суперкомпьютерные технологии и государство.

В настоящее время рабочая группа, в которую входят специалисты Российской академии наук, Суперкомпьютерного консорциума университетов России, Министерства науки и высшего образования РФ и других организаций, разрабатывает Комплексную научно-техническую программу "Цифровой прорыв: суперкомпьютерные технологии для новых и трансформируемых рынков". Она направлена на использование потенциала СКТ для создания новых и трансформируемых

рынков, обеспечения качественно нового уровня развития ключевых отраслей в условиях перехода к цифровой экономике.

Группа технологий, относящихся к СКТ, — это базис, определяющий рост и развитие мировых рынков биотехнологии, включая персонализированную медицину, разработку новых материалов, автомобиле-, судо- и станкостроение, авиакосмическую технику, разведку, добычу и транспортировку полезных ископаемых, создание функциональных продуктов питания, робототехники и др. Группа суперкомпьютерных технологий принципиально важна для обеспечения национальной безопасности, она оказывает существенное влияние на решение задач в области охраны окружающей среды, управления сложными социально-техническими системами и в целом — системами поддержки принятия решений.

Цель комплексной научно-технической программы — обеспечить полноту групп суперкомпьютерных технологий, необходимых для создания новых и трансформируемых рынков и одновременно сформировать высокопроизводительную вычислительную инфраструктуру для качественно нового уровня развития ключевых отраслей экономики.

При формировании приоритетных направлений в сфере СКТ следует иметь в виду несколько групп технологий, которые потенциально способны обеспечивать мультипликативный эффект:

- создание суперкомпьютерных систем максимальной производительности, разработка взаимосогласованных методов решения сложных вычислительных задач, технологий суперкомпьютерного кодизайна;
- организация вычислений на новых принципах — реконфигурируемых, квантовых, нейроморфных и др.;
- предсказательное суперкомпьютерное моделирование и оптимальное проектирование;
- технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений;
- технологии визуализации данных и человеко-машинного взаимодействия;
- облачные вычисления и суперкомпьютерные сервисы, технологии распределённых вычислений.

Реализация программы обеспечит:

- формирование в Российской Федерации на базе отдельных научных и инженерных школ, в том числе математических, сетевых платформ для генерации знаний и создания на их основе технологий, способствующих развитию национального рынка и экспансии отечественных технологий в мировую экономику;
- создание современных технологий, необходимых и достаточных для перехода к цифровой экономике, в том числе технологий цифровых

двойников реальных объектов, цифровых фабрик, цифровых моделей, технологий суперкомпьютерного кодизайна, масштабируемых пакетов и систем математического моделирования, веб-сервисов, аналитических средств работы с Большими данными, интеллектуальных производственных технологий;

- развитие и существенный рост эффективности значимых для Российской Федерации отраслей экономики за счёт их трансформации и использования потенциала суперкомпьютерных технологий, включая технологии искусственного интеллекта, работы с Большими данными;

- стабильный рост экспортного потенциала и снижение уровня импортозависимости высокотехнологичных предприятий России, повышение конкурентоспособности Российской Федерации на международном уровне за счёт участия в новых развивающихся рынках;

- вовлечение в "цифровой мэйнстрим" высококвалифицированных специалистов, способных внедрять и использовать сквозные суперкомпьютерные технологии для развития перспективных рынков, в том числе цифровой трансформации системы государственного управления, экономики, бизнеса, социальной сферы, для адаптации отечественных предприятий, которые обеспечивают ответы на большие вызовы, определённые Стратегией научно-технологического развития РФ, к стандартам цифровой экономики.

В основе комплексной суперкомпьютерной программы лежат научно-технические проекты полного инновационного цикла, то есть скоординированные и взаимосвязанные научные, научно-технические и инновационные проекты, которые проходят через определённый ряд последовательных ступеней своего развития — от получения научных и научно-технических результатов до их практического использования, создания перспективных и сквозных технологий, конкретных инновационных продуктов (услуг) и вывода их за 3–5 лет на российский и зарубежные рынки.

Каждый комплексный проект направлен на повышение уровня зрелости перспективных и сквозных технологий, устранение технологических барьеров, разрывов между существующими научно-технологическими заделами и потребностями различных секторов экономики, а также на создание опережающих заделов. Принципиально важно, что каждый комплексный проект объединяет специалистов индустрии, РАН, университетов, суперкомпьютерных центров, способствуя образованию устойчивых профессионально востребованных связей.

Исключительно важная задача — подготовка специалистов в сфере СКТ. Компьютерный мир за последние 10–15 лет полностью изме-

нился. Он всегда был последовательным, а стал параллельным: компьютеры образуют мощные кластеры, процессоры наращивают производительность за счёт растущего числа ядер, вычислительные системы разных организаций объединяются для совместного решения сложных задач. Но параллельные вычисления – это основа не только суперкомпьютерных систем. Сегодня многоядерные процессоры уже есть в смартфонах и планшетах – параллельность входит в нашу повседневную жизнь. Суперкомпьютерные технологии начинают проникать в высшее образование. Однако в силу междисциплинарности и универсальности СКТ изменения должны проходить решительнее и идти широким фронтом. Одним

словом, России необходима комплексная суперкомпьютерная программа, и медлить нельзя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Список 500 самых мощных суперкомпьютеров мира. <https://www.Top500.org>.
2. Eni Takes the Lead in Industrial Supercomputing. <https://www.hpcwire.com/2018/01/23/eni-takes-lead-industrial-supercomputing/>
3. Российская киноиндустрия-2017. Аналитическое исследование. М., 2018. <https://www.fond-kino.ru/documents/download/740/>
4. Список 50 самых мощных суперкомпьютеров России. <http://top50.supercomputers.ru>

## SUPERCOMPUTING TECHNOLOGIES IN THE DIGITAL WORLD: THEORY, PRACTICE, EDUCATION

© 2019 V.V. Voevodin

*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

*E-mail: voevodin@parallel.ru*

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 25.12.2018

Supercomputing technologies are used in almost all fields of science today, and determine the competitiveness of science and industry among national entities. USA, Europe, China, and Japan are investing billions in the development of supercomputing technologies, promoting national programs for the development of this field, and these programs will determine the success of future developments. The underestimation of the value of supercomputing technologies has led Russia to fall behind in global trends, and squanders the enormous potential of Russian specialists in computer science. Russia needs a comprehensive supercomputer program, and cannot delay its enactment.

*Keywords:* supercomputing technologies, parallel computing, parallel programming technologies, large problems, industry, innovations, economics, education, national program.