

Технологии информационного общества

СУПЕРКОМПЬЮТЕРНАЯ ГОНКА: ДОСТИЖЕНИЯ И ВЫЗОВЫ

Статья рекомендована к публикации членом редакционного совета А.В. Богдановым 31.07.2021.

Агеева Алина Фагимовна

Кандидат архитектуры

Центральный экономико-математический институт, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов, младший научный сотрудник

Москва, Россия

ageevaalina@yandex.ru

Аннотация

В настоящее время высокопроизводительные вычисления являются движущей силой позитивных перемен в информационном обществе, обеспечивая прогресс в науке и повышение производительности в экономике. В статье рассмотрены актуальные вопросы развития высокопроизводительных технологий, а также суперкомпьютерной отрасли, в целом, их влияния на обеспечение национальной безопасности и конкурентоспособности в условиях цифровой экономики. Представлена информация о наиболее значимых проектах в области высокопроизводительных вычислений, реализуемых в ведущих технологических странах, а также объемах финансовых ресурсов, направляемых в суперкомпьютерную отрасль. Раскрыты основные события текущего этапа суперкомпьютерной гонки, достижения ее участников и задачи, требующие решения для дальнейшего развития отрасли.

Ключевые слова

суперкомпьютерные технологии, высокопроизводительные вычисления, суперкомпьютерная киберинфраструктура, суперкомпьютерная гонка

Введение: Высокопроизводительные вычисления – стратегическая технология, обеспечивающая конкурентоспособность в условиях цифровой экономики

Начиная с 1965 г., когда корпорация Control Data (США) выпустила первую мощнейшую, по тем временам, вычислительную машину CDC-6600 с производительностью три млн. операций в секунду, рост мощности (производительности) суперкомпьютеров возрастал, приблизительно, в десять раз за пятилетие. Первым суперкомпьютером считают машину Cray-1, созданную в 1974 г. корпорацией «Cray Inc.» с производительностью 133 млн операций в секунду. [1] Примечателен тот факт, что в 60-х гг. прошлого столетия отечественные разработки вычислительной отрасли не отставали от американских аналогов: так, в 1966 г. выпускалась машина БЭСМ-6, а в 1979 г. – высокопроизводительные системы серии «Эльбрус».

Страны - технологические лидеры активно инвестируют в развитие передовых информационно-коммуникационных технологий и особое место среди этих технологий занимают высокопроизводительные вычисления (high performance computing – HPC), в которых используются высокопроизводительные системы и методы параллельной обработки информации для решения сложных вычислительных задач. Все передовые технологии – искусственный интеллект, высокопроизводительные вычисления, квантовые компьютеры – являются частью национальных стратегий ведущих государств мира, в развитие которых вкладываются огромные средства. Каждая из этих технологий превращается в гонку за национальную конкурентоспособность в мировой экономике. Это означает, что сегодня высокие технологии играют ключевую роль в распределении сил на мировой арене.

© Агеева А.Ф., 2022. Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «Атрибуция — Некоммерческое использование — На тех же условиях» Всемирная 4.0 (Creative Commons Attribution – NonCommercial – ShareAlike 4.0 International; CC BY-NC-SA 4.0). См. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.ru>

https://doi.org/10.52605/16059921_2022_01_61

Под высокопроизводительными вычислениями (НРС) понимаются вычисления, производимые на компьютерных системах, которые за счет сочетания возможностей обработки огромных объемов данных и емкости для их хранения способны быстро решать сложные вычислительные задачи в самых разных областях науки, техники и промышленности. Ожидается, что объем рынка высокопроизводительных вычислений вырастет с 37,8 млрд. дол. США в 2020 г. до 49,4 млрд. дол. к 2025 г. при среднегодовом темпе роста 5,5% в течение прогнозируемого периода [2]. НРС являются индикатором национальных стратегий по ускорению научных открытий с акцентом на общественную и экономическую выгоду, став незаменимыми для промышленных предприятий и научно-исследовательских учреждений, помогая им создавать инновационные продукты. Таким образом, НРС представляет собой стратегическую революционную технологию, которая оказывает огромное влияние на экономическую конкурентоспособность, достижение научного лидерства и обеспечение национальной безопасности.

Если первые супер-ЭВМ использовались лишь для проведения сложных математических расчетов, то с течением времени, область их применения все более расширялась, и в настоящее время мощности высокопроизводительных систем зачастую определяют успешность научных исследований во многих областях, например, ядерной физике, климатологии и геномной инженерии. С усовершенствованием новейших высокопроизводительных систем связывают дальнейшее развитие информационного общества: экспоненциальный рост объемов информации и вычислений могут стать движущей силой позитивных перемен, прогресса в науке и повышения производительности в экономике.

Высокопроизводительные системы позволяют проводить сложные вычислительные эксперименты; моделирование на основе суперкомпьютерных технологий превратилось в инструментарий высокоразвитых экономик, охватив науку, промышленность, социальную сферы. Компьютерное моделирование стало одним из способов радикально сократить временные и денежные затраты на разработку новых технологий и продуктов. Например, при создании нового самолета приходилось вручную строить десятки моделей оптимального планера, а потом продувать их в аэродинамической трубе. Компьютерное моделирование позволяет сравнивать разные варианты, найти оптимальный и доработать его, не прибегая к натурным испытаниям. Использование высокопроизводительных вычислительных ресурсов позволяет осуществлять трехмерное моделирование Земли и значительно увеличить качество прогнозирования погоды, таким образом, существенно снизить ущерб от стихийных бедствий. На высокопроизводительных системах моделируют происхождение вселенной (Большой Взрыв), формирование галактики, зарождение звезд из космической пыли и газа, а также процессы, протекающие в темной материи.

С целью детального изучения некоторых неизлечимых болезней в ведущих научно-исследовательских центрах на высокопроизводительных системах моделируются процессы, протекающие в организме человека: сворачивание белка; биологическая активность молекул, длящаяся в течение одной миллионной доли секунды; движение крови и поведение плазмы. Высокопроизводительные системы стали использоваться для диагностики заболеваний, в том числе, генетических. Впервые учеными из Ливерморской национальной лаборатории Министерства энергетики США была разработана компьютерная модель человеческого сердца на клеточном уровне, что поможет в борьбе с ишемической болезнью сердца, которая обходится бюджету США более 100 млрд дол. ежегодно. Специалисты из Института Солка (США) используют высокопроизводительные системы для исследования синапсов мозга. Результаты исследований могут помочь людям, страдающим психическими расстройствами, такими как, болезнь Альцгеймера, шизофрения и маниакально-депрессивные расстройства [3].

Сегодня без высокопроизводительных вычислительных ресурсов невозможно обеспечить конкурентоспособность отраслей промышленности, поэтому, в развитых странах мира принимаются программы, направленные на обеспечение доступа к высокопроизводительным вычислительным ресурсам для промышленных предприятий, а также внедрение суперкомпьютерных технологий имитационного моделирования с массовым параллелизмом на предприятиях высокотехнологичных отраслей промышленности. Так, в рамках реализации проекта "Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий", принятого решением Комиссии при Президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России в 2009 г., в 2011 г. ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ" изготовлены и переданы на предприятия высокотехнологичных отраслей промышленности 35 компактных супер-ЭВМ, кроме того, для предприятий был организован удаленный доступ к вычислительным ресурсам суперкомпьютерного центра ФГУП

[4]. В 2015 г. Управление перспективного производства Министерства энергетики США запустило программу использования высокопроизводительных вычислений для нужд производства (HPC4Mfg), в рамках которой решаются задачи создания целевых партнерских отношений между производителями США и национальными лабораториями [5].

Отобранные на конкурсной основе проекты получают доступ к суперкомпьютерным ресурсам лабораторий министерства. Цель состоит в том, чтобы снизить производственные затраты и сократить время выхода высокотехнологичной продукции на рынок, а также привлечь инвестиции в технологии за счет прогнозирования производительности и сокращения количества циклов тестирования во время разработки.

В каждом случае отраслевой партнер определяет производственную проблему, а также гарантирует, что процесс или продукт будут иметь коммерческие выгоды. Программа предназначена для содействия открытому обмену передовым опытом и ноу-хау, устранению коммуникационных барьеров между исследователями мирового уровня, поставщиками оборудования и производственными компаниями. В краткосрочной перспективе отрасль выигрывает за счет снижения инвестиционных рисков и повышения эффективности. В более долгосрочной перспективе производственный сектор США будет все больше обращаться к высокопроизводительным вычислениям как надежным инструментам для ускорения инноваций и достижения значительной экономии энергии и затрат.

Высокопроизводительные системы, обрабатывая огромные потоки информации, способны поддерживать принятие решений в сложных условиях неопределенности, дефицита времени и имеющихся ресурсов. Возможности суперкомпьютерных технологий и ресурсов используются также в гуманитарных науках, например, с их помощью можно в короткие сроки обрабатывать сотни тысяч текстовых документов с целью обнаружения в них нужной информации. Строятся модели искусственных обществ: с помощью высокопроизводительных вычислений изучаются актуальные вопросы демографии, социологии, психологии, археологии, истории и экономики.

Только мощности высокопроизводительных систем могут справиться с растущим объемом информации, передаваемой по всемирной сети. В 2020 г. объем годового глобального интернет-трафика превысил два зеттабайта, а это значит, что обработка в режиме реального времени и с необходимым качеством миллиардов фрагментов данных стала невозможной без использования высокопроизводительных систем. Потоки информационных данных, поступающие с Большого адронного коллайдера в ЦЕРН, обрабатываются также с помощью высокопроизводительных систем. Государственные службы безопасности используют в своей работе возможности высокопроизводительных систем для предотвращения различных угроз. Мощность высокопроизводительных систем стала незаменимым фактором для обеспечения государственной безопасности, в том числе кибербезопасности, а также мониторинга военно-политических процессов, анализа разведданных.

Такие угрозы, как кибершпионаж и кибервойна, стали движущими силами политики безопасности за последние несколько лет. Военные и спецслужбы теперь имеют доступ к большому количеству данных, чем когда-либо прежде, а потому, большее количество потенциальных противников осуществляют попытки взломать или атаковать их сети передачи данных. Есть две основные области, в которых высокопроизводительные системы могут иметь огромное значение для национальной безопасности. Первая – использование аналитики больших данных для просеивания огромных потоков информации, поиска сигналов в шуме, выявления моделей поведения или связей между людьми (событиями), имеющими отношение к национальной безопасности с целью обнаружения террористических угроз. Вторая – обработка сетевых данных в режиме реального времени для того, чтобы обнаружить распространение вредоносного программного обеспечения, откуда исходят угрозы, какие типы соединений устанавливаются вредоносными узлами в сети, а также осуществлять мониторинг динамики в сети данных, которые интересуют органы национальной безопасности, с целью обеспечения кибербезопасности [6].

1 Лидеры суперкомпьютерной гонки и экзафлопсные вычисления

Высокопроизводительные системы считаются мерилом вычислительной мощи нации. К настоящему времени установились страны-лидеры, соревнующиеся в производстве самых мощных высокопроизводительных систем мира – США, КНР, Япония и Европейский союз. Так, в рейтинге мощнейших высокопроизводительных систем TOP500 [7] за 2020 г. первое место занимает система

Fugaku (установленная в Центре вычислительных наук RIKEN, Япония) с пиковой производительностью 537 петафлопс и свыше 1 эксафлопс на тесте смешанной точности. Далее расположились Summit (разработанная для Ок-Риджской национальной лаборатории, США) и Sierra (Ливерморская национальная лаборатория, США), с производительностью 143,5 и 94,6 петафлопс, соответственно. Замыкают пятерку мощнейших в мире высокопроизводительных систем Sunway TaihuLight (разработанная Национальным исследовательским центром параллельной вычислительной техники и технологий Китая и установленная в Национальном суперкомпьютерном центре Уси) и Tianhe-2A (разработанная Национальным университетом оборонных технологий Китая и установленная в Национальном суперкомпьютерном центре Гуанчжоу) с производительностью 93,0 и 61,4 петафлопс, соответственно [8].

Отметим, что в профессиональной среде тесты LINPACK, на основе которых оценивается мощность высокопроизводительных систем из списка TOP500, подвергаются критике как потерявшие актуальность. При решении сложных вычислительных задач в научно-исследовательских центрах или коммерческих организациях возникает вопрос о выборе конкретной высокопроизводительной архитектуры в соответствии с типами решаемых задач. При этом, возникает проблема оценки адекватности высокопроизводительных систем конкретным практическим задачам. Поэтому, при тестировании высокопроизводительных систем рекомендуется использовать несколько методов и на основе совокупных результатов оценивать реальную мощность высокопроизводительных систем и их коммуникационные возможности. Так, сегодня профессионалами высоко оценивается комплекс тестов NAS kernel benchmark, разработанный в исследовательском центре NASA и основанный на реальных задачах гидро- и аэродинамического моделирования. Кроме того, используются также тесты High Performance Conjugate Gradient (HPCG) и Graph500. Таким образом, с развитием высокопроизводительных систем должны усложняться методы оценки их мощностей и создаваться новые комплексы тестов, способные адекватно отражать возможности высокопроизводительных систем.

По данным рейтинга TOP500 за 2020 г. Китай доминирует по количеству высокопроизводительных систем, вошедших в рейтинг – 226. За ним следуют США – 114, Япония – 30, Франция – 18, Германия – 16, Нидерланды – 15, Ирландия – 14, Великобритания и Канада – 12, Саудовская Аравия – 5. США по-прежнему опережают Китай по совокупным показателям производительности – 644 петафлопс 565 петафлопс. [9]. Но суперкомпьютерная гонка выходит на новый уровень: в настоящее время в США, Китае, ЕС и Японии строятся высокопроизводительные системы, обеспечивающие эксафлопсные вычисления.

Министерство энергетики США анонсировало строительство высокопроизводительной системы Frontier с производительностью 1,5 эксафлопс для Ок-Риджской национальной лаборатории с запланированным запуском в 2021 г. Frontier планируется использовать для фундаментальных научных исследований в ядерной физике, а также изучения изменения климата и ускорения инновационных разработок в области искусственного интеллекта. Высокопроизводительная система, которая будет обрабатывать потоки информации в 24 млн раз быстрее, чем стандартное интернет-соединение, займет площадь, эквивалентную двум баскетбольным площадкам [10].

Кроме Frontier, в Аргоннской национальной лаборатории (США), компании Intel и Cray строят другую эксафлопсную систему Aurora, с помощью которой планируется моделирование нейронной сети человеческого мозга. Третья система – El Capitan, будет работать в Ливерморской национальной лаборатории Лоуренса в Калифорнии. Ее пиковая пропускная способность также прогнозируется на уровне 1,5 эксафлопс. El Capitan будет доступна только пользователям, работающим в сфере национальной безопасности. Строительство эксафлопсных машин в США является частью национальной программы по созданию высокопроизводительных систем новейшего поколения, курируемой Министерством энергетики США. К проекту привлечены такие компании, как Advanced Micro Devices, Cray, Hewlett Packard Enterprise, IBM и Nvidia [11]. Каждая из трех эксафлопсных систем будет стоить, ориентировочно, 600 млн долл., таким образом, затраты Соединенных Штатов на строительство трех машин составляют 1,8 млрд долл. (стоимость только оборудования) [12]. Запуск систем с эксафлопсной производительностью запланирован на 2021-23 гг. [13].

Важной задачей в рамках эффективного использования эксафлопсных систем для науки и промышленности является разработка программ для параллельных вычислений, что потребует использования новых инструментов, таких как, машинное обучение и искусственный интеллект.

Экзафлопсные машины содержат порядка 135 000 графических процессоров и 50 000 центральных процессоров, что требует написания программ, которые выполняют почти миллиард инструкций одновременно [14]. Учитывая задачи такого масштаба, исследователи стран первой пятерки из TOP500 уже более десяти лет разрабатывают программы экзавычислений, учитывая уникальные архитектуры проектируемых экзафлопсных компьютеров.

Для эффективного решения сложной задачи Управление перспективных научных компьютерных исследований при Министерстве энергетики США в партнерстве с Национальным управлением ядерной безопасности поддерживают проект Exascale Computing Project [15]. В рамках проекта спонсируются исследования и разработка интегрированных приложений, аппаратного и программного обеспечения экзавычислений, для чего дополнительно будет выделено из бюджета США еще 1,8 млрд долл. [13]. В 2008 г. с такими же целями был образован Европейский проект по программному обеспечению экзавычислений (eesi-project.eu/). Подобные программы и проекты приняты и реализуются также в других странах, в том числе, Японии и Китае.

2 Киберинфраструктура высокопроизводительных вычислений

В развитых странах мира вместе с переходом к цифровой модели экономики и общества создается новая инфраструктура – система из мощных национальных суперкомпьютерных комплексов, объединенных сверхбыстрыми каналами связи в единую вычислительную сеть. Примечательно, что идея создания общестрановой сети вычислительных центров впервые высказывалась в СССР инженером-полковником, проф. А.И. Китовым, так как уже в нач. 60-х гг. XX в. экономика СССР столкнулась с проблемой обработки колоссального объема информации для целей планирования и принятия эффективных управленческих решений. Позднее директором Института кибернетики АН УССР В.М. Глушковым было выдвинуто предложение о создании общесоюзной государственной автоматизированной системы (ОГАС), охватывающей все государственные ведомства и предприятия страны. Проект начал реализовываться с 1976 г., но из-за его дороговизны, низкого качества каналов связи, а также неготовности партийной номенклатуры к коренной перестройке принципов управленческой работы, он не был реализован. Идеи, заложенные в ОГАС, опередили свое время и только сейчас находят реализацию в странах – технологических лидерах [16].

В настоящее время в США на развитие киберинфраструктуры НРС выделяется от 2 до 4 млн долл. ежегодно [17]. В рамках федерального правительства работу по формированию объединенной суперкомпьютерной инфраструктуры возглавляет Министерство энергетики США (Department of Energy – DOE). Сеть объединит самые быстрые и самые мощные высокопроизводительные системы страны, размещенные в 16 национальных лабораториях министерства, среди которых наиболее мощными вычислительными ресурсами обладают следующие: Ок-Ридж (Oak Ridge National Laboratory), Аргоннская (Argonne National Laboratory), Ливерморская национальная лаборатория Лоуренса (Lawrence Livermore National Laboratory), Лос-Аламос (Los Alamos National Laboratory) и Сандия (Sandia National Laboratories). Кроме того, высокопроизводительные системы со значительными вычислительными мощностями размещены во всех крупнейших научно-исследовательских центрах и образовательных учреждениях страны.

Несмотря на имеющиеся у США высокопроизводительные вычислительные ресурсы, существует проблема несбалансированности их портфеля, вследствие чего не удовлетворяется растущий спрос со стороны исследователей, занятых в области искусственного интеллекта. Чтобы решить проблему, Конгресс США выделит Национальному научному фонду и DOE 10 млрд. дол. в течение следующих пяти лет [17]. Для того, чтобы эффективно распределить эти средства, планируется провести исследование об уровне доступности НРС для научно-исследовательских учреждений и предприятий, расположенных в различных штатах страны.

Прежде чем федеральное правительство США сможет внедрить инновационные разработки на основе искусственного интеллекта с использованием НРС в полной мере, государственным учреждениям США необходимо решить проблему найма талантливых специалистов с необходимыми техническими навыками. Одним из основных препятствий является то, что законами о государственной службе регулируются размеры заработных плат госслужащих и они на сегодняшний день намного ниже зарплат, предлагаемых частными технологическими компаниями. В связи с чем, Департамент управления персоналом США предпринял шаги по

созданию новых классификаций для технических должностей и учреждению органа, осуществляющего функции «прямого найма» технических специалистов [18].

Более полувека США являлись мировым лидером в области высокопроизводительных вычислений благодаря устойчивым инвестициям федерального правительства в исследования, разработку и регулярное развертывание новых систем, а также прочным партнерским отношениям с американскими поставщиками компьютеров и исследователями. Определяющей силой американского подхода, которая с годами превратила высокопроизводительные вычисления во все более эффективный инструмент как науки, так и промышленности, стала сильная синергия между разработкой аппаратного обеспечения, с одной стороны, и разработкой программного обеспечения и приложений, с другой. Но в течение последних десяти лет Китай совершил прорыв в суперкомпьютерной гонке, в результате чего страна, в которой до 2001 г. не было ни одной высокопроизводительной системы, к 2018 г. стала лидером как по количеству высокопроизводительных систем, так и по их производительности [19].

3 Китайский суперкомпьютерный прорыв

Китай присоединился к суперкомпьютерной гонке в 2002 г. Восемь лет спустя Китай запустил высокопроизводительную систему Tianhe-1 и впервые в истории занял первое место в списке TOP500. Tianhe-1 стал первой крупномасштабной гетерогенной вычислительной системой в мире, в которой использовалось сочетание центральных и графических процессоров для обеспечения большей производительности. За последнее десятилетие Китай инвестировал в производство высокопроизводительных систем вдвое больше, чем США, создав более десятка крупных суперкомпьютерных центров в стране. Высокопроизводительная система Tianhe-2 оказалась еще более мощной, в ответ США по поручению Президента Б. Обамы в 2015 г. добавили китайские суперкомпьютерные центры и китайские компании, занимающиеся производством высокопроизводительных систем, в черный список. Санкции ввели запрет на сотрудничество и продажу в КНР комплектующих американского производства. СМИ назвали это событие попыткой США развалить суперкомпьютерную индустрию Китая. Но, спустя всего лишь год – в 2016 г., Китай запускает высокопроизводительную систему Sunway TaihuLight, отличающуюся тем, что она была собрана полностью из отечественных комплектующих, с процессорами Shenwei SW26010, изготовленными в КНР. Послание было ясным: Китай полон решимости добиться успеха в суперкомпьютерном противостоянии, с помощью чипов для процессоров американского производства или же без них. Большинство национальных суперкомпьютерных центров КНР теперь полагаются на китайские процессоры, и эта тенденция особенно очевидна в последние годы. Китайцы извлекли уроки после того, как им отказали в доступе к чипам Intel, которые понадобились для строительства высокопроизводительной системы Tianhe-2 в 2015 г. [20]. Так гонка суперкомпьютеров превратилась в противостояние, в котором сегодня соревнуются только Китай и США.

По состоянию на 2020 г. Китаю и США принадлежат 42,8% и 22,6% из TOP500 самых быстрых высокопроизводительных систем в мире, соответственно [21]. Стремление Пекина к превосходству в суперкомпьютерной гонке является частью национальных планов КНР в области науки и технологий. Строительство высокопроизводительных компьютеров является частью национальной программы промышленного развития Пекина «Сделано в Китае до 2025 года» [22]. Усилия Китая сегодня направлены на производство экзафлопсных систем, которые строятся на процессорах китайского производства. Они будут базироваться в Национальном университете оборонных технологий. Прототипы прошли серию тестов на скорость, стабильность и энергопотребление, а также пробные запуски программного обеспечения для различных областей применения. Первоначальная оценка стоимости одной экзафлопсной системы, проведенная правительственным консультативным комитетом КНР, составляет от 2 до 3 млрд юаней (от 288 до 432 млн долл.) [23]. Согласно приблизительной оценке, энергопотребление одной проектируемой китайской экзафлопсной машины составляет 65 мегаватт. Если бы машина работала непрерывно в течение одного года, счет только за электроэнергию составил бы около 60 млн долл. [13].

За последние два года китайские специалисты становились победителями на приз Гордона Белла, ежегодно присуждаемый Ассоциацией вычислительной техники за инновации в применении высокопроизводительных вычислений в науке, технике и крупномасштабной аналитике данных [23]. В 2018 г. трое из шести финалистов премии Гордона Белла, были из Китая, и награда в конечном счете была вручена команде, которая выполнила моделирование погоды на

Sunway TaihuLight, продемонстрировав, что это не просто «машина для трюков», а полностью функциональная система [24].

Противостояние двух лидеров – КНР и США – выходит на новый уровень: 09 апреля 2021 г. США вновь расширили «суперкомпьютерный черный список», отметив, что растущие усилия Пекина в этой области могут иметь военное применение. Министр торговли США заявила, что министерство в полной мере воспользовалось своими полномочиями, чтобы помешать Китаю использовать американские технологии для поддержки усилий по модернизации вооруженных сил [25]. Решение США связано с разработками гиперзвуковых ракет, которые ведутся в США, России и КНР. Они способны летать как минимум в пять раз быстрее скорости звука и их практически невозможно остановить. Высокопроизводительные системы используются в разработке подобного современного оружия [26]. Эксафлопсные системы, способные производить миллион триллионов вычислений в секунду, подарят странам, обладающим такими машинами, большое преимущество в борьбе за самую совершенную гиперзвуковую ракету. Директор Аргонской национальной лаборатории подчеркивает важность скорейшего перехода к эксафлопсным вычислениям – путь, ведущий к экономическому росту, международной конкурентоспособности и национальной безопасности. Без этого обязательства американские суперкомпьютеры будущего могут получить ярлык «Сделано в Китае» [27].

4 Европейский суперпроект

Третьим игроком в суперкомпьютерной гонке, на сегодняшний день отстающим от двух первых лидеров – США и Китая, но претендующим на лидерство и имеющим хорошие шансы для достижения заявленной цели, является Европейский союз. В ноябре 2018 г., по предложению Комиссии ЕС и при поддержке Совета ЕС, было образовано совместное предприятие EuroHPC – Европейское совместное предприятие по высокопроизводительным вычислениям. Целью проекта [28] является оснащение ЕС суперкомпьютерной инфраструктурой мирового класса, объединение европейских высокопроизводительных вычислительных ресурсов, а также создание высококонкурентной и инновационной экосистемы высокопроизводительных вычислений и анализа больших данных, для чего из бюджета ЕС на 2019-20 гг. было выделено 1,5 млрд евро. [29]. Еврокомиссия назвала эту инициативу «критически важной для конкурентоспособности стран ЕС и их независимости в условиях экономики знаний».

В качестве важного шага на пути к превращению Европы в суперкомпьютерного лидера, EuroHPC выбрало восемь площадок для развития суперкомпьютерных центров, расположенных в различных государствах-членах ЕС. Хостинговые площадки будут расположены в Софии (Болгария), Остраве (Чехия), Каяани (Финляндия), Болонье (Италия), Биссене (Люксембург), Минью (Португалия), Мариборе (Словения) и Барселоне (Испания). Суперкомпьютерные центры будут поддерживать разработку основных приложений в таких областях, как персонализированная медицина, разработка лекарств и материалов, биоинженерия, прогнозирование погоды и изменение климата. В общей сложности 19 из 28 стран, участвующих в совместном предприятии, станут членами консорциума, коллегиально управляющими центрами, предоставляющими европейским исследователям доступ к высокопроизводительным системам мирового класса [28]. Таким образом, заинтересованные европейские пользователи смогут обрабатывать свои данные и производить вычисления в границах ЕС, а не за его пределами. Для Европы это большой шаг вперед по достижению следующего уровня вычислительной мощности. Фактически, спрос на высокопроизводительные вычислительные ресурсы со стороны европейской промышленности и науки (на долю которых приходится 33% мирового спроса) намного превышает текущее европейское предложение высокопроизводительных вычислений, составляющее только 5% от объемов мирового предложения. В результате европейские ученые и изобретатели все чаще пользуются высокопроизводительными вычислительными ресурсами за пределами ЕС, что приводит к серьезным рискам с точки зрения доступа, защиты и конфиденциальности данных.

В суперкомпьютерном центре обработки данных CSC в Каяани (Финляндия) начинает свою работу одна из самых мощных HPC систем в мире LUMI [30]. LUMI, с пиковой производительностью 552 петафлопс, потребовавшая инвестиций в размере более 200 млн. евро, строилась компанией Hewlett Packard Enterprise на базе суперкомпьютера HPE Cray EX. LUMI – уникальная система, в создание которой инвестировали десять европейских стран и совместное предприятие EuroHPC. Помимо выдающейся вычислительной мощности, LUMI также является одной из самых передовых

в мире платформ для инновационных разработок в сфере искусственного интеллекта. До одной пятой ресурсов LUMI будет доступно для промышленности, малого и среднего бизнеса, что значительно повысит конкурентоспособность европейских малых и средних предприятий.

Дата-центр CSC в Каяани является одним из самых экологичных в мире: он использует 100% возобновляемую энергию, производимую с помощью гидроэнергии. Отходящее тепло LUMI будет использоваться в сети централизованного теплоснабжения Каяани и покрывать 20% годовой потребности. В качестве суперкомпьютерного центра с нулевым выбросом углерода LUMI помогает европейскому сектору информационно-коммуникационных технологий стать экологически чистым и более экономичным, что необходимо для достижения амбициозных целей ЕС в области климата и создания условий для перехода к устойчивому развитию общества. В будущем возобновляемые источники энергии будут играть первостепенную роль в повышении энергоэффективности суперкомпьютеров.

Европейским поставщикам высокопроизводительных вычислений необходимо стать более гибкими и адаптивными к конкретным потребностям малых, средних и крупных предприятий, предоставляя им надежные и доступные возможности, а также набор специализированных приложений и услуг, которые позволяют в полной мере использовать преимущества высокопроизводительных вычислений для бизнеса. Для повышения спроса на внедрение и коммерческое использование высокопроизводительных вычислений в Европе, критически важно поддерживать всю экосистему высокопроизводительных вычислений. Сюда входят, в частности, независимые поставщики программного обеспечения, поскольку одно из основных сравнительных преимуществ Европы заключается в предоставлении услуг НРС и разработке приложений и программного обеспечения, адаптированных для конкретных секторов [19].

Большинство суперкомпьютерных центров, предлагающих высокопроизводительные услуги, являются государственными и управляются университетами или государственными исследовательскими учреждениями. Большая часть их финансирования поступает в виде грантов, покрывающих как инвестиционные потребности, так и эксплуатационные расходы. Однако некоторые из этих центров начали расширять сферу своего применения в сторону более коммерческого использования, чтобы получить новые доходы. Тем не менее, во многих странах существуют законодательные ограничения на долю доходов, которые могут быть получены из частного сектора, если суперкомпьютерный центр желает сохранить право на государственную поддержку.

Европейские независимые поставщики программного обеспечения для НРС часто являются лидерами рынка в определенных нишевых сегментах и могут быть охарактеризованы как небольшие и гибкие, предлагающие программные решения и разрабатывающие инновации для конкретных клиентов. Тем не менее, большинство из них сталкиваются с серьезными препятствиями при расширении масштабов бизнеса из-за трудностей с привлечением финансирования. Основные препятствия, с которыми они сталкиваются в плане улучшения доступа к финансам, в первую очередь связаны со следующим [19]: нехватка материальных активов, что приводит к недостатку долгового финансирования; отсутствие у коммерческих банков технических знаний о секторе высокопроизводительных вычислений; высокий риск инвестиций из-за неопределенности, связанной с тенденциями развития высоких технологий.

Проекты в области НРС требуют значительных финансовых ресурсов для реализации, в связи с чем, сталкиваются с рядом проблем. Европейские малые и средние предприятия, которые занимаются проектами высокопроизводительных вычислений, сталкиваются со значительными трудностями из-за недостаточной доступности финансирования. Доступ к финансированию проектов высокопроизводительных вычислений со стороны коммерческих банков существенно ограничен из-за следующих факторов [19]: неопределенность в отношении таких проектов, которые воспринимаются как более рискованные, чем вложения в материальные активы; недостаток опыта у кредиторов для проведения сбалансированной оценки проектов НРС; относительно меньший размер требований к финансированию, что приводит к высоким операционным издержкам.

В соответствии с докладом Европейского Инвестиционного Банка, для реализации амбициозного проекта EuroНРС государственное финансирование не будет достаточным условием [19]: финансирование крупных объектов высокопроизводительных вычислений в настоящее время затруднено из-за дефицита ресурсов, а также потребности в долгосрочном и устойчивом финансировании. Таким образом, понадобится широкий спектр таких решений, как

инновационные финансовые инструменты и государственно-частное партнерство для мобилизации необходимых инвестиций в стратегическую инфраструктуру и услуги высокопроизводительных вычислений.

5 Суперкомпьютерная гонка: Россия не участвует?

Россия сильно отстает от лидеров суперкомпьютерной гонки, как по количеству высокопроизводительной вычислительной техники, так и по их суммарной производительности. В России отсутствует полноценная суперкомпьютерная кибер-инфраструктура, поэтому отмечается раздробленность ресурсов отрасли, сосредоточенных в ряде суперкомпьютерных центров: Межведомственном суперкомпьютерном центре РАН (jssc.ru); Центре коллективного пользования «Сибирский суперкомпьютерный центр» при Институте вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН (sscc.icmmg.nsc.ru); Научно-исследовательском вычислительном центре Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (rcc.msu.ru); Суперкомпьютерном центре Санкт-Петербургского политехнического университета «Политехнический» (research.spbstu.ru/skc); Центре коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных Дальневосточного отделения РАН» (lits.ccfbras.ru); Лаборатории суперкомпьютерного моделирования Южно-Уральского государственного университета (supercomputer.susu.ru); Приволжском научно-образовательном центре суперкомпьютерных технологий «СКТ-Приволжье» (hpc-education.unn.ru/ru/o-центре); Вычислительном кластере Казанского федерального университета и др.

Всего в России функционируют более пятидесяти высокопроизводительных систем. По состоянию на 2020 г. в ТОП500 входят только две российские системы: «Christofari», принадлежащий Сберу, с пиковой производительностью 8,789 петафлопс (40 место) и «Ломоносов-2» вычислительного центра МГУ, созданный российской компанией «Т-Платформы», с пиковой производительностью 4,946 петафлопс (156 место). При этом, в течение последнего десятилетия происходит неуклонное снижение положения России в мировой суперкомпьютерной отрасли: в 2011 г. в рейтинг вошли двенадцать российских суперкомпьютеров с общей вычислительной мощностью 2,277% от суммарной производительности участников рейтинга; в 2014 г. в списке осталось семь машин, причем три из них – «Ломоносов», «Ломоносов-2» (разработчик обоих – компания «Т-Платформы») и «РСК Торнадо» (от компании «РСК») – входили в первую сотню; в 2019 г. в рейтинге остались три российские системы [31]. С каждым годом отставание России от мировых суперкомпьютерных лидеров увеличивается: сегодня на Россию приходится всего 0,38% мировой суперкомпьютерной мощности [32].

В нашей стране наблюдается дефицит высокопроизводительных вычислительных ресурсов, а также отставание регионов по развитию суперкомпьютерной отрасли. Так, например, Сибирское отделение РАН, включающее в себя 144 научно-исследовательских институтов и федеральных исследовательских центров, 170 высших учебных заведений, а также объединяющее свыше 11 тысяч ученых, обладает менее чем 1,5% высокопроизводительных вычислительных ресурсов страны [33]. Вхождение России в список наиболее развитых научно-технических стран мира невозможно без обеспечения доступа научно-исследовательских и образовательных учреждений к высокопроизводительным системам, и в первую очередь, обеспечения доступа для региональных научных центров, где существует самая высокая потребность.

Ввиду острой нехватки высокопроизводительных услуг суперкомпьютерного центра «Политехнический» в 2020 г. была проведена модернизация оборудования за счет инвестиций СПбПУ и субсидий Министерства науки и высшего образования РФ. Суммарная пиковая производительность вычислительных ресурсов суперкомпьютерного центра СПбПУ в 2020 г. выросла на 23% и теперь составляет 1,6 петафлопс. Но даже увеличенные мощности высокопроизводительной системы «Политехник – РСК Торнадо» оказалось все равно меньше, чем у китайского T FF1, замыкающего список Top500 [32].

Учитывая текущую ситуацию в отрасли, 10 апреля 2020 г. Президент В. Путин поручил увеличить мощности вычислительных ресурсов суперкомпьютерных центров, в том числе региональных, для проведения высокопроизводительных вычислений научных и образовательных организаций. Поручение главы государства предусматривает установление порядка взаимодействия суперкомпьютерных центров между собой, а также с научными и

образовательными организациями на базе национальной исследовательской компьютерной сети (НИКС) нового поколения. НИКС, созданная в 2019 г., в результате интеграции отраслевых научно-образовательных телекоммуникационных сетей, является опорной сетью национального уровня и обладает протяженной высокоскоростной магистральной инфраструктурой, а также международными каналами, обеспечивающими интеграцию с зарубежными научно-отраслевыми сетями и с Интернет. В ближайшем будущем планируется увеличение пропускной способности и территориальной доступности НИКС. Мероприятия для достижения обозначенных целей должны быть включены в программу «Цифровая экономика» и получить финансирование из федерального бюджета [33]. Однако, существуют риски неполной реализации заявленных целей, как это случилось ранее с программой по развитию суперкомпьютеров и грид-технологий.

На реализацию принятой в 2009 г. программы «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» в течение 2010-2012 гг. из федерального бюджета было выделено 4,93 млрд. руб. [33]. В рамках проекта был создан базовый ряд компактных супер-ЭВМ, а также программное обеспечение для имитационного моделирования и виртуальные модели для высокотехнологичных отраслей отечественной промышленности. Но, проверка Счетной Палаты выявила отсутствие практических результатов, поскольку внедрения суперкомпьютерных и грид-технологий потребителями проекта (стратегическими отраслями) не случилось. Грид-сети дальнейшего финансирования не получили. Причины потери интереса к программе объяснили упразднением комиссии, ответственной за ее реализацию, отсутствием преемственности в вопросах передачи наработанного проектного материала и сложностями межведомственной координации.

Тем не менее, у России есть шансы на участие в суперкомпьютерной гонке и в стране имеются талантливые специалисты, способные создавать НРС оборудование и программное обеспечение мирового уровня. Так, ЗАО «МЦСТ» производятся центральные процессоры серии «Эльбрус», архитектура которых может служить основой для создания экзафлопсных вычислительных систем. ОАО «НИЦЭВТ» производит высокопроизводительные вычислительные платформы семейства «Ангара» – базовый элемент для построения энергоэффективных масштабируемых вычислительных кластеров и суперкомпьютеров с высокой плотностью компоновки. При разработке платформ использовались технические и технологические решения, обеспечивающие высокую реальную производительность, надежность и отказоустойчивость вычислительной системы. Предусмотрена адаптация платформ под особенности конструктивной реализации вычислительных комплексов различного назначения. Также, имеются варианты исполнения вычислительной платформы с различными типами охлаждения.

В 2009 г. в Top500 вошла первая в мире машина с закрытым водяным охлаждением для систем со стандартными процессорами «СКИФ-Аврора ЮУрГУ», созданная компанией «РСК СКИФ» при участии Института программных систем РАН. Благодаря целому ряду уникальных отечественных разработок, машину отличает высочайшая производительность, сверхвысокая плотность монтажа вычислительных узлов, повышенная надежность и управляемость, а также отсутствие шума и вибрации в вычислительной системе.

Технология водяного охлаждения не потеряла своей актуальности и сегодня, она используется в лидере рейтинга TOP500 – суперкомпьютере Fugaku. Более того, уже имеются российские разработки с технологиями следующих поколений – с охлаждением кипящей жидкостью и погружным охлаждением [32]. Сотрудники Института программных систем им. А.К. Айламазяна РАН совместно с группой компаний «Сторус» создали систему жидкостного охлаждения высокопроизводительных вычислительных машин «Immers», основанную на принципе полного погружения плат в диэлектрическую жидкость. Ее циркуляция обеспечивает отвод тепла от компонентов, которое возможно использовать повторно. Система работает значительно тише, чем традиционные воздушные системы охлаждения. Важнейшее же преимущество системы охлаждения с полным погружением – экономичность: для ее работы требуется всего несколько процентов от мощности, которую потребляет весь вычислительный комплекс [34].

По словам академика РАН Б.Н. Четверушкина, в нашей стране алгоритмы и математическое обеспечение не адаптированы к архитектуре экстра-массивного параллелизма, поэтому в настоящее время идет поиск подходов, которые позволят решить проблему [35]. В качестве примеров оригинальных отечественных решений, можно привести COLAMO – язык высокого уровня с неявным описанием параллелизма и STARS – технологию поддержки агент-ориентированного моделирования для суперкомпьютеров.

COLAMO [36] разработан коллективом НИИ многопроцессорных вычислительных систем Южного федерального университета (НИИ МВС ЮФУ) под руководством чл.-кор. РАН И.А. Каляева для программирования реконфигурируемых систем и позволяет максимально просто описывать различные виды параллелизма в достаточно сжатом виде. НИИ МВС ЮФУ развивается уникальная концепция построения реконфигурируемых вычислительных систем, которая позволила создать целый ряд высокопроизводительных систем разнообразных архитектур и конфигураций, предназначенных для решения вычислительно трудоемких задач различных предметных областей, успешно эксплуатируемых отечественными организациями и ведомствами. Оригинальный проблемно-ориентированный подход к построению кластерных высокопроизводительных систем – «реконфигурируемых систем» на основе программируемых логических интегральных схем, дает возможность пользователю программировать архитектуру высокопроизводительных систем под структуры решаемой задачи, при этом, достигается высокая реальная производительность [37]. Реконфигурируемые вычислительные системы и программное обеспечение к ним выпускаются ООО Научно-исследовательским центром супер-ЭВМ и нейрокомпьютеров [36].

В STARS (Supercomputer Technology for Agent-oriented Simulation), разработанной коллективом Центрального экономико-математического института РАН (ЦЭМИ РАН) под руководством акад. РАН В.Л. Макарова и чл.-кор. РАН А.Р. Бахтизина, использована методология межузлового взаимодействия при помощи технологии активных сообщений, позволившая существенно повысить производительность мультиагентных моделей [38]. STARS позволяет легко реализовать как интерактивное моделирование, так и интерактивную визуализацию процесса моделирования в масштабе расчетного времени. Агент-ориентированное моделирование – перспективное направление компьютерного имитационного моделирования, активно развивающееся в мире в течение последних двух десятилетий. ЦЭМИ РАН является отечественным лидером по агент-ориентированным моделям; ряд моделей, разработанных специалистами института, получили известность и за рубежом.

Имеющийся у России потенциал (уровень социально-экономического развития и военной мощи, обеспеченность территориями и природными ресурсами) позволяет причислить нашу страну к мировым лидерам по интегральному показателю национальной силы [39]. Однако, важнейшая проблема заключается в грамотном управлении имеющимися ресурсами для эффективного использования потенциала с целью повышения уровня национальной безопасности, социально-экономического развития и качества жизни населения. Ведущие страны мира воспринимают научные исследования и инновации как фактор роста экономики. По объемам инвестиций, направляемых в науку, Россия находится на 34-м месте в мировом рейтинге стран [40], вкладывая 1,1% ВВП, хотя за последние двадцать лет расходы на науку в нашей стране возросли почти вдвое [41]. Суперкомпьютерная отрасль нуждается в долговременном и устойчивом финансировании, а также поддержке талантливых специалистов и исследователей, занятых в отрасли. Без дальнейшего развития суперкомпьютерной отрасли невозможно обеспечить конкурентоспособность России на мировых рынках, и если в ближайшие пятнадцать лет ситуация в отрасли не претерпит кардинальных перемен, можно будет говорить о кризисе в инновационных отраслях страны и невозможности преодоления тотальной зависимости российской экономики от сырьевого экспорта.

Заключение

В настоящее время страны – технологические лидеры вкладывают огромные средства в развитие технологий высокопроизводительных вычислений, без которых сегодня невозможно обеспечить национальную безопасность и конкурентоспособность в мировой экономике. В течение ближайших нескольких лет суперкомпьютерная гонка сделает новый виток, обозначив начало эры экзавычислений. Суперкомпьютерная киберинфраструктура, разворачивающаяся в США, КНР и ЕС, обеспечит им лидерство на мировых рынках, а также станет движущей силой позитивных перемен в информационном обществе, прогресса в науке и повышения производительности в экономике. России необходимо предпринять активные шаги в сторону развития суперкомпьютерной отрасли и главная проблема на пути к этому заключается в грамотном управлении национальными ресурсами для эффективного использования имеющегося в отрасли потенциала.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда в рамках гранта 19-18-00240 «Суперкомпьютерные технологии в общественных науках».

Литература

1. Левин В.К. Суперкомпьютеры XX века // Виртуальный компьютерный музей. 10.11.2008.
2. High Performance Computing (HPC) Market - Global Forecast to 2025 / Markets and Markets. 2020. TC 2204.
3. Joseph E. C., Dekate C., Conway S. Real-World Examples of Supercomputers Used For Economic and Societal Benefits: A Prelude to What the Exascale Era Can Provide / Special study. IDC #248647. 2014. 37 p.
4. Ахметов Р.Н. и др. Суперкомпьютерные технологии и их роль в науке и промышленности // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011.№4(4). С. 1364-1367.
5. energy.gov/eere/amo/high-performance-computing-advanced-manufacturing
6. Dillow C. The Global Race To Build The Fastest Supercomputer // Popular Science. 02.09.2015.
7. top500.org
8. Green T. 10 of the world's fastest supercomputers // Network World. 14.11.2018.
9. top500.org/statistics/list/
10. Vincent J. World's fastest supercomputer will be built by AMD and Cray for US government // The Verge. 07.05.2019.
11. Wiggers K. Intel claims Aurora will be the first U.S. supercomputer to hit 1 exaflop // VB. 18.03.2019.
12. The US-China Supercomputing Race, Post-Exascale HPC Government Policy and the 'Partitioning of the Internet' // Inside HPC. 28.05.2021.
13. Anderson M. Will China Attain Exascale Supercomputing in 2020? // IEEE Spectrum. 07.01.2020.
14. Mann A. Core Concept: Nascent exascale supercomputers offer promise, present challenges // PNAS. 117-37. 15.09.2020.
15. exascaleproject.org
16. Агеева А.Ф. Цифровизация российской экономики: советский опыт и современные вызовы // Искусственные общества. т.13. вып.3. DOI 10.18254/S0000125-6-1
17. Omaar H. How the United States Can Increase Access to Supercomputing / Information Technology and Innovation Foundation. 07.12.2020.
18. Mair S. More computing power means more mission delivery / Nextgov. 27.10.2020.
19. Gigler B.-S., Casorati A., Verbeek A.. Financing the future of supercomputing How to increase investment in high performance computing in Europe / European Investment Bank. 2018. 154 p.
20. Yu Jing, Li Ruikang. China has always prepared for a tech decoupling: supercomputer expert // CGTN. 16.04.2021.
21. Grigorian G. Trade War and The Grand Sino-US Race for the World's Fastest Supercomputer // Pandaily. 19.08.2019.
22. Yoko Noge Dean. US and China race to faster supercomputers amid simmering trade war // NIKKEI Asia. 03.07.2019.
23. Normile D. Three Chinese teams join race to build the world's fastest supercomputer // AAAS. 24.10.2018.
24. Tan R. The Race To Exascale // Asian Scientist. 19.07.2019.
25. US adds Chinese supercomputer centers to export blacklist // The Economic Times. 09.04.2021.
26. Haltiwanger J. Biden is trying to derail China's effort to build the world's fastest supercomputer needed for unstoppable missiles // Insider. 08.04.2021.
27. Isaacs E.D. Why America Must Win the Supercomputing Race / Energygov. 10.11.2010.
28. Digital Single Market: Europe announces eight sites to host world-class supercomputers. / European Commission. 07.06.2019.
29. A digital economy and society powered by High-Performance Computing / European Commission. 08.03.2021.
30. One of the world's mightiest supercomputers, LUMI, will lift European research and competitiveness to a new level and promotes green transition. / Lumi-supercomputer. 21.10.2020.

31. Число российских суперкомпьютеров в мировом Топ-500 выросло впервые за 5 лет // CNews. 19.11.2019.
32. Носов Н. Российские суперкомпьютеры: отставание увеличивается // ИКС Медиа. 14.12.2020.
33. Суперкомпьютеры. Рынок России // Tadviser. 10.12.2020.
34. Шейкин М. Российские суперкомпьютеры. Три года прогресса // Электроника. 2013. вып. 1.
35. Академик РАН: Суперкомпьютеры – это залог национальной безопасности России // ИА REGNUM. 28.01.2019.
36. superevm.ru/index.php?page=yavv-colamo
37. Шаракшанэ С. Игорь Каляев о российских супервычислениях // Научная Россия. 25.06.2015.
38. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д. Технология поддержки агент-ориентированного моделирования для суперкомпьютеров // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2016. №1. с. 4-16.
39. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Ильин Н.И. Моделирование и оценка национальной силы России // Экономические стратегии. 2020. т.22. № 2(168). с. 6-19.
40. Расходы на науку: Топ-10 стран мира // InvestFuture. 25.07.2018.
41. Экономика научных инвестиций // Коммерсантъ. 31.08.2017.

SUPERCOMPUTER RACE: ACHIEVEMENTS AND CHALLENGES

Ageeva, Alina Fagimovna

Candidate of architecture

Central Economics and Mathematics Institute of Russian Academy of Sciences, junior researcher

Moscow, Russia

ageevaalina@yandex.ru

Abstract

High performance computing is a driver of positive changes in the information society, providing scientific progress and increasing productivity in the economy. The article discusses topical issues of the development of high-performance technologies, as well as the supercomputer field, in general, their impact on ensuring national security and competitiveness in the digital economy. The article provides information on the most significant projects in the field of high performance computing, implemented in leading technology countries, as well as the amount of financial resources invested in the supercomputer field. The main events of the current stage of the supercomputer race, the achievements of its participants and the challenges that require solutions for the further development of the supercomputer field are revealed.

Keywords

supercomputer technologies, high performance computing, supercomputer cyberinfrastructure, supercomputer race

References

1. Levin V.K. Superkomp'yutery XX veka // Virtual'nyy komp'yuternyy muzey. 10.11.2008.
2. High Performance Computing (HPC) Market - Global Forecast to 2025 / Markets and Markets. 2020. TC 2204.
3. Joseph E. C., Dekate C., Conway S. Real-World Examples of Supercomputers Used For Economic and Societal Benefits: A Prelude to What the Exascale Era Can Provide / Special study. IDC #248647. 2014. 37 p.
4. Akhmetov R.N. i dr. Superkomp'yuternyye tekhnologii i ikh rol' v nauke i promyshlennosti // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. 2011.№4(4). S. 1364-1367.
5. energy.gov/eere/amo/high-performance-computing-advanced-manufacturing
6. Dillow C. The Global Race To Build The Fastest Supercomputer // Popular Science. 02.09.2015.
7. top500.org
8. Green T. 10 of the world's fastest supercomputers // Network World. 14.11.2018.
9. top500.org/statistics/list/
10. Vincent J. World's fastest supercomputer will be built by AMD and Cray for US government // The Verge. 07.05.2019.
11. Wiggers K. Intel claims Aurora will be the first U.S. supercomputer to hit 1 exaflop // VB. 18.03.2019.
12. The US-China Supercomputing Race, Post-Exascale HPC Government Policy and the 'Partitioning of the Internet' // Inside HPC. 28.05.2021.
13. Anderson M. Will China Attain Exascale Supercomputing in 2020? // IEEE Spectrum. 07.01.2020.
14. Mann A. Core Concept: Nascent exascale supercomputers offer promise, present challenges // PNAS. 117-37. 15.09.2020.
15. exascaleproject.org
16. Ageyeva A.F. Tsifrovizatsiya rossiyskoy ekonomiki: sovetskiy opyt i sovremennyye vyzovy // Iskusstvennyye obshchestva. t.13. vyp.3. DOI 10.18254/S0000125-6-1
17. Omaar H. How the United States Can Increase Access to Supercomputing / Information Technology and Innovation Foundation. 07.12.2020.
18. Mair S. More computing power means more mission delivery / Nextgov. 27.10.2020.
19. Gigler B.-S., Casorati A., Verbeek A.. Financing the future of supercomputing How to increase investment in high performance computing in Europe / European Investment Bank. 2018. 154 p.
20. Yu Jing, Li Ruikang. China has always prepared for a tech decoupling: supercomputer expert // CGTN. 16.04.2021.
21. Grigorian G. Trade War and The Grand Sino-US Race for the World's Fastest Supercomputer // Pandaily. 19.08.2019.

22. Yoko Noge Dean. US and China race to faster supercomputers amid simmering trade war // NIKKEI Asia. 03.07.2019.
23. Normile D. Three Chinese teams join race to build the world's fastest supercomputer // AAAS. 24.10.2018.
24. Tan R. The Race To Exascale // Asian Scientist. 19.07.2019.
25. US adds Chinese supercomputer centers to export blacklist // The Economic Times. 09.04.2021.
26. Haltiwanger J. Biden is trying to derail China's effort to build the world's fastest supercomputer needed for unstoppable missiles // Insider. 08.04.2021.
27. Isaacs E.D. Why America Must Win the Supercomputing Race / Energygov. 10.11.2010.
28. Digital Single Market: Europe announces eight sites to host world-class supercomputers. / European Commission. 07.06.2019.
29. A digital economy and society powered by High-Performance Computing / European Commission. 08.03.2021.
30. One of the world's mightiest supercomputers, LUMI, will lift European research and competitiveness to a new level and promotes green transition. / Lumi-supercomputer. 21.10.2020.
31. Chislo rossiyskikh superkomp'yutеров v mirovom Top-500 vyroslo v pervyye za 5 let // CNews. 19.11.2019.
32. Nosov N. Rossiyskiye superkomp'yutery: otstavaniye uvelichivayetsya // IKS Media. 14.12.2020.
33. Superkomp'yutery. Rynok Rossii // Tadviser. 10.12.2020.
34. Sheykin M. Rossiyskiye superkomp'yutery. Tri goda progressa // Elektronika. 2013. vyp. 1.
35. Akademik RAN: Superkomp'yutery – eto zalog natsional'noy bezopasnosti Rossii // IA REGNUM. 28.01.2019.
36. superevm.ru/index.php?page=yavu-colamo
37. Sharakshane S. Igor' Kalyayev o rossiyskikh supervychisleniyakh // Nauchnaya Rossiya. 25.06.2015.
38. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko Ye.D. Tekhnologiya podderzhki agent-oriyentirovannogo modelirovaniya dlya superkomp'yutеров // Natsional'nyye interesy: priority i bezopasnost'. 2016. №1. s. 4-16.
39. Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Il'in N.I. Modelirovaniye i otsenka natsional'noy sily Rossii // Ekonomicheskiye strategii. 2020. t.22. № 2(168). S. 6-19.
40. Raskhody na nauku: Top-10 stran mira // InvestFuture. 25.07.2018.
41. Ekonomika nauchnykh investitsiy // Kommersant. 31.08.2017.