Вестник ЦЭМИ РАН. 2018-2023

ISSN 2658--3887

URL - <http://cemi.jes.su>

Все права защищены

Выпуск 3-4 Том 4. 2021

Тенденции развития российских и зарубежных суперкомпьютерных технологий в условиях цифровой трансформации

Евдокимов Дмитрий Сергеевич

Центральный экономико-математический институт Российской академии наук (ЦЭМИ РАН)

Москва, Российская Федерация, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Кравченко Дмитрий Сергеевич

Государственный академический университет гуманитарных наук

Российская Федерация, Москва, Мароковский переулок 26

Аннотация

Стремительное развитие современных технологий и появление масштабных мировых проектов с привлечением научного, политического и коммерческого конгломерата, способствует всестороннему развитию цифровизации и, в том числе, IT индустрии, тем самым продвигая и совершенствуя разработки, связанные с электронно-вычислительными машинами. Статья посвящена изучению последних разработок в области суперкомпьютерных технологий в России и за рубежом. Приведен обзор действующих суперкомпьютеров, занимающих первые строчки в мировом рейтинге ТОП-500. Отмечены основные достижения России в этом направлении. Описаны возможные перспективные задачи, решение которых позволило бы России укрепить свои позиции на международной арене.

Ключевые слова: вычислительные системы, электронно-вычислительные машины, суперкомпьютер, суперкомпьютерные технологии, цифровизация

Дата публикации: 31.12.2021

Источник финансирования:

Работа выполнена при поддержке гранта российского научного фонда (РНФ), проект № 19-18-00240.

Ссылка для цитирования:

Евдокимов Д. С. , Кравченко Д. С. Тенденции развития российских и зарубежных суперкомпьютерных технологий в условиях цифровой трансформации // Вестник ЦЭМИ РАН. – 2021. – Т. 4. – Выпуск 3-4.

URL: <https://cemi.jes.su/s265838870017846-3-1/>. DOI: 10.33276/S265838870017846-3

¹ **ВВЕДЕНИЕ**

² Стремительное развитие современных технологий, появление масштабных мировых проектов («Industrie 4.0», «Industrie 5.0» и др.) с привлечением научного, политического и коммерческого конгломерата, способствует всестороннему развитию цифровизации и, в том числе, IT индустрии, тем самым продвигая и совершенствуя разработки, связанные с электронно-вычислительными процессами. Рассматривая направление, которое специализируется на устройствах, позволяющих производить вычислительные операции разной направленности, стоит отметить различия в логике их работы. Стандартные компьютеры используют последовательную логику для вычислений, квантовые компьютеры применяют технологию смены состояний, в которых он может находиться, воспроизводя свои операции в кубитах, а суперкомпьютеры позволяют одновременно задействовать весь свой функционал, используя методологию распараллеливания процессов, выполняя их не последовательно, а параллельно [1,2].

³ Наряду с активным ростом суперкомпьютерных технологий особое внимание уделяется задачам, связанным с оптимизацией вычислений. Скорость, помноженная на эффективность, дает результат, который позволяет выйти в лидеры в области развития высокопроизводительной техники. Вместе с развитием функционала вычислительной техники, усиливается межстрановая гонка за первые строчки мирового рейтинга, который позволяет оценить мощность компьютера с помощью единицы измерения – флопса¹. Таким образом по данному показателю уверенное лидерство в конце 2021 года взяла Япония, обогнав США по этому критерию почти в три раза. Российские показатели стремительно возросли за счет усиления коммерческого сектора и покупки четырёх суперкомпьютеров Яндексом и Сбербанком. По количественным и суммарным показателям мощности суперкомпьютеров Россия находится в ТОП-10. Положительная динамика в этом направлении есть, но ее необходимо стимулировать, чтобы добиться серьезных результатов [3].

⁴ **АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ**

⁵ *Влияние цифровой трансформации на развитие суперкомпьютерных технологий.* Популярная тенденция к всеобщей цифровизации набирает обороты и в мировых проектах «Industrie 4.0», «Industrie 5.0», посвященных цифровизации. Основной упор сделан в сторону изучения и улучшения социально-экономических процессов. «Industrie 4.0» уже более десяти лет продвигается и финансируется государствами и коммерческими структурами, прочно создавая задел для будущих

разработок в области IT индустрии и создания в целом цифрового общества. Технологические инновации, созданные с помощью «Industrie 4.0», относящиеся к цифровизации, затрагивают практически все важные сферы государственного, экономического и социального регулирования. Пятая промышленная революция – «Industrie 5.0» станет следующей ступенью для развития информационных, коммуникационных, роботизированных технологий, искусственного интеллекта, автоматизированных систем управления и будет продвигаться гораздо быстрее и масштабнее, чем «Industrie 4.0», на основе которой была создана. «Industrie 5.0» будет продвигать идеологию человекоцентричных технологий, в первую очередь, нацеленных на раскрытие потенциальных физических, умственных, творческих возможностей человека, повышение уровня качества жизни и ее продолжительность. Все это позволяет сделать вывод о том, что суперкомпьютерные технологии будут развиваться гораздо быстрее, чем предполагалось, как раз за счет гиперактивного спроса на подобные разработки [4,5].

⁶ ***Отличительные особенности электронно-вычислительных машин.*** Рассматривая электронно-вычислительные машины, стоит отметить их отличительные особенности, которые позволяют их отнести к тем или иным категориям устройств. В классическом понимании современный стационарный компьютер, который применяется практически во всех видах деятельности – это устройство, позволяющее выполнять четко заданный алгоритм действий, используя имеющиеся данные и производя вычислительные операции последовательно. Квантовый компьютер, который создается такими компаниями гигантами как Microsoft и D-Wave System и активно набирающий популярность, использует совершенно другую логику проведения операций и кардинально отличается от привычного классического компьютера. Логика его вычислений строится на алгоритмах квантового ускорения, которое достигается за счет обработки данных в кубитах (кубит может находиться сразу в двух логических состояниях: 0 и 1) для повышения скорости производимых вычислений. Суперкомпьютер отличается от предыдущих двух типов своим функционалом и логикой работы. Такой тип компьютера не предполагает привычного интерфейса как у классического компьютера, а алгоритмы его работы выстроены таким образом, чтобы все мощности процессоров были задействованы одновременно, путем распараллеливания задач и обработки данных не в кубитах, а в битах². Одно из ключевых преимуществ работы такого компьютера — это воспроизведение сложнейших вычислительных алгоритмов с использованием всего потенциала своих возможностей и быстрота выполнения операций в каждом конкретном эксперименте [6,7].

⁷ ***Зарубежные достижения в области суперкомпьютерных технологий машин.*** Суперкомпьютерные технологии ускоренными темпами развиваются в мире и формируют пространство для развития области цифровых технологий, в котором стали соревноваться ведущие мировые державы. Для классификации и установления лидеров этого направления, был создан рейтинг стран (обладающих суперкомпьютерами), учитывающий вычислительные мощности в тестовых (подтвержденных) и пиковых нагрузках (потенциальных), измеряемых в

петафлопсах (применяется с 2008 года, в 2022 году планируется исчислять в экзофлопсах)³.

⁸ По итогам ноября 2021 года самым мощным компьютером стал суперкомпьютер Fugaku из Японии, таким образом Япония стала безоговорочным лидером, обогнав ранее занимавшие первое место США с суперкомпьютером Summit. Производительная мощность японского компьютера составляет 415,5 петафлопсов, а американского 148,6 петафлопсов, что почти втрое меньше японского. Такой большой производительности удалось достигнуть, создав архитектуру из 48-ядерных процессор A64FX фирмы Fujitsu. Важно подчеркнуть, что Япония стала лидером ТОП-10 мирового рейтинга суперкомпьютеров впервые за десять лет (см. табл. 1)⁴, до этого лучший результат – третье место, был зафиксирован в ноябре 2012 года с ЭВМ – «K computer, SPARC64 VIIIfx 2.0GHz, Tofu interconnect» той же фирмы Fujitsu и производительной мощностью в 10,510 петафлопсов [8,9].

⁹ **Таблица 1. ТОП-10 суперкомпьютеров международного рейтинга «ТОП-500».**

Место	Название компьютера	Страна происхождения	Rmax (Pflops)*	Rpeak (Pflops)**	Мощность (Мвт)
1	Fugaku	Япония	442.010	537.212	29,9
2	Summit	США	148.600	200.795	10,1
3	Sierra	США	94.640	125.712	7,4
4	Sunway TaihuLight	Китай	93.015	125.436	15,4
5	Perlmutter	США	70.870	93.750	2,6
6	Selene	США	63.460	79.215	2,6
7	Tianhe-2A	Китай	61.445	100.679	18,5
8	JUWELS	Германия	44.120	70.980	1,8
9	HPC5	Италия	35.450	51.721	2,3
10	Voyager-EUS2	США	30.050	39.531	-

**Тестовая производительность, измеряемая в Pflops. **Потенциальная пиковая производительность, измеряемая в Pflops. Источник: составлено авторами на основе данных международного рейтингового проекта «ТОП-500».*

¹⁰ В предыдущие годы явными лидерами были США и Китай, соревнуясь в основном между собой за первую строчку рейтинга, но в этом году японские разработчики превзошли самих себя и по праву забрали первое место. С большим отставанием от первых трех строчек располагаются Германия и Италия, занимая восьмую и девятую строки соответственно. Вычислительные мощности их компьютеров ниже японского примерно в десять раз. По словам разработчиков, компьютер Fugaku пока не задействован на полную мощность, это будет сделано в 2022 году, а пока он успешно используется для проведения экспериментов, связанных с изучением распространения COVID-19.

¹¹ Пока разработок отечественного производства в ТОП-10 нет, но в этом направлении предпринимаются активные шаги, кроме того суперкомпьютерные технологии выведены в качестве отдельного направления национального проекта «Цифровая экономика»⁵.

¹² **Отечественные достижения в области суперкомпьютерных технологий.** В последние годы Россия активно стремилась попасть в первые

строчки рейтинга стран «ТОП-500», обладающих последними разработками суперкомпьютерного направления с помощью создания инфраструктуры и технологий на базе международной практики. Рейтинг собирается с 1993 года, состав сотрудников, оценивающих достижения стран в основном состоит из компьютерных специалистов, экспертов в области компьютерных технологий и интернет-сообществ различной IT тематики. Надо заметить, что международный рейтинг «ТОП-500» формируется частной структурой и вносит только ту информацию о компьютерах, которая была представлена им, или берут данные из открытых источников. Организации, создавшие суперкомпьютеры, но не пожелавшие о них давать какую-либо информацию, не входят в данный шорт-лист. Справедливости ради стоит сказать, что таким образом внушительное количество суперкомпьютеров, которые представляют стратегическую важность для государств, не представлены в этом рейтинге, тем самым заставляя задуматься о расстановке стран при наличии полного списка таких компьютеров.

¹³ Во втором полугодии 2021 года Россия смогла серьезно укрепить свои позиции в рейтинге ТОП-500: суммарная доля производительности российских систем увеличилась сразу более чем в два раза по сравнению с предыдущим годом (в июне 2020 года – 0,6%, ноябрь 2021 – 1,4%), общая производительность суперкомпьютеров составила – 73,7 петафлопсов (см. таблицу 2). Это произошло вследствие новых приобретений коммерческими организациями (Яндекс и Сбербанк). Также Россия заняла 10-е место по количественному показателю размещенных на территории страны суперкомпьютеров, опередив Италию, Саудовскую Аравию и Бразилию. Рейтинг ТОП-10 по количеству суперкомпьютеров: 1. Китай – 173; 2. Соединённые Штаты Америки-149; 3. Япония – 32; 4. Германия – 26; 5. Франция – 19; 6. Нидерланды – 11; 7. Канада – 11; 8. Великобритания – 11; 9. Южная Корея – 7; 10. Россия – 7.

¹⁴ По совокупным показателям все достаточно радужно, но тут важно учесть, что шесть из семи компьютеров находятся в частном секторе, а именно у Яндекса, Сбербанка и МТС. Седьмой расположен в МГУ им. М. В. Ломоносова. Данное распределение суперкомпьютерных мощностей сдерживает развитие создания таких технологий. Конечно в России есть и другие суперкомпьютеры, которые созданы в государственных учреждениях, но они на порядок слабее и не могут претендовать на высокие позиции в международном рейтинге. Также не стоит забывать о супер-ЭВМ, которые по соображениям национальной безопасности засекречены [10-12].

¹⁵ Возвращаясь к ТОП-500 рейтинга можно заметить, что пять из семи отечественных суперкомпьютеров расположены в ТОП-100 данного рейтинга, и два из них попали в ТОП-300, а именно:

- Chervonenkis «Червоненкис» – 19 место (компания Яндекс);
- Galushkin «Галушкин» – 36 место (компания Яндекс);
- Lyapunov «Ляпунов» – 40 место (компания Яндекс);
- Christofari Neo «Кристофари Нео» – 43 место (ПАО «Сбербанк»);
- Christofari «Кристофари» – 72 место (ПАО «Сбербанк»);
- Lomonosov 2 «Ломоносов-2» – 241 место (МГУ им. М.В. Ломоносова);
- MTS GROM «Grom» – 294 место (компания МТС).

16 Суперкомпьютер ФГБУ «ГВЦ Росгидромета» ранее входил в международный рейтинг и занимал 465-е место, но после ноябрьского пополнения, в обновленный список не попал. Сейчас на последнем месте расположился суперкомпьютер из Голландии с производимой мощностью 1,6 петафлопса, в то время как у компьютера Росгидромета данный показатель составляет 1,2 петафлопса.

17 **Таблица 2. ТОП-15 суперкомпьютеров России.**

Место	Название компьютера	Организация-владелец	Rmax (Pflops)	Rpeak (Pflops)
1	Червоненкис	Компания Яндекс	21.530	29.415
2	Галушкин	Компания Яндекс	16.020	20.636
3	Ляпунов	Компания Яндекс	12.810	20.029
4	Кристофари Нео	ПАО «Сбербанк»	11.950	14.908
5	Кристофари	ПАО «Сбербанк»	6.669	8.789
6	Ломоносов-2	МГУ им. М.В. Ломоносова	2.478	4.946
7	Grom	Компания МТС	2.258	3.011
8	ФГБУ «ГВЦ Росгидромета»	ФГБУ «ГВЦ Росгидромета»	1.200	1.293
9	«Политехник - РСК Торнадо»	Суперкомпьютерный центр, СПбПУ	0.971	1.521
10	sHARISMa	НИУ ВШЭ	0.927	2.027
11	MBC-10П ОП2	МСЦ РАН	0.759	1.072
12	НИЦ «Курчатовский институт»	НИЦ «Курчатовский институт»	0.755	1.100
13	ZHORES CDISE Cluster	Сколковский Институт Науки и Технологий	0.495	1.011
14	PetaNode 1.2 Cluster	Компьютерные Экосистемы	0.420	0.777
15	Колмогоров	АО «Тинькофф Банк»	0.418	0.658

Источник: составлено авторами на основе открытых данных рейтинга НИВЦ МГУ имени М. В. Ломоносова и международного рейтингового проекта «ТОП-500».

18 Как видно из табл.2 рейтинга суперкомпьютеров, расположенных в России, сразу после седьмого места идет существенная просадка в производительных мощностях из-за которой компьютеры не входят в ТОП-500. Немаловажным является и тот факт, что из 15 компьютеров более 50 % находятся в коммерческом секторе, особенно это демонстрируют первые строчки рейтинга. Помимо этого, 90 % суперкомпьютеров находятся в Москве и Московской области.

19 Из последних российских достижений стоит отметить четыре важных момента:

- суммарная доля производительности российских систем увеличилась в два раза по сравнению с 2020 годом (июнь 2020 года – 0,6%, ноябрь 2021 – 1,4%), общая производительность суперкомпьютеров составила – 73,7 петафлопсов⁶;
- приобретение дополнительных четырех компьютеров с июня по ноябрь 2021 года способствовали попаданию в ТОП-10 и получению 10-го места по количественному показателю (семь суперкомпьютеров);
- пять российских суперкомпьютеров вошли в ТОП-100 мирового рейтинга;

- самый мощный компьютер в мире по данным ноября 2021 года международного рейтинга «ТОП-500» – Fugaku, снабжен технологией позволяющей снижать энергопотребление за счет использования погружного охлаждения, которое впервые было предложено специалистами из ИПС РАН⁷.

²⁰ Вопрос, связанный с совокупной производительностью, довольно спорный т.к. достижению этого результата способствовала покупка суперкомпьютеров компанией Яндекс (приобрела три суперкомпьютера для решения своих коммерческих задач) и Сбербанком, который также приобрел компьютер для модернизации бизнес-процессов. По формальным признакам цифрового индекса Россия опережает Китай, США и Европу, уступая только Японии [8,9].

²¹ Некоторые компьютеры, имеющие приставку «супер» как сказано было выше, носят стратегический аспект и данные об их производительности закрыты. В качестве одного из ярких примеров можно привести российскую супер-ЭВМ, которая не входит в шорт-лист «ТОП-500» – разработка РФЯЦ-ВНИИЭФ в Сарове. Там разработали фотонный процессор для работы в суперкомпьютере, мощность которого по предварительным оценкам может достигать до 50 петафлопсов, но данная информация пока остается условной⁸. Для более активного развития необходимы испытания, а также систематическое использование суперкомпьютеров на благо государственного управления и научно-технологического развития. Научно-исследовательские институты, в свою очередь, часто используют подобную технику в своих экспериментах. ЦЭМИ РАН не стал исключением и подхватил это направление, применив суперкомпьютерные технологии для своих исследований [13-15].

²² ***Вклад ЦЭМИ РАН в развитие суперкомпьютерных технологий в России.*** ЦЭМИ РАН, начиная с 2011 года и по настоящее время, активно занимается исследованиями, связанными с применением суперкомпьютерных технологий в общественных науках. В 2020 году цикл публикаций сотрудников ЦЭМИ РАН, посвященных применению суперкомпьютерных технологий в общественных науках, был удостоен премии имени Л. В. Канторовича, присуждаемой Российской Академией наук [16, 17].

²³ В ЦЭМИ РАН разработана теория построения и создан комплекс агент-ориентированных моделей для суперкомпьютеров, осуществлен запуск крупномасштабной агент-ориентированной модели социально-экономической системы России на суперкомпьютерах МВС-100К (МСЦ РАН), «Ломоносов» (МГУ им. М.В. Ломоносова) и «Тяньхэ-2» (Гуанчжоу, Китай). По согласованию двух сторон начиная с 2017 года были задействованы мощности Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук – филиала Федерального государственного учреждения «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» (МСЦ РАН – филиал ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН) для воспроизведения экспериментов, связанных с имитационным моделированием⁹.

²⁴ Раскрывая потенциальные возможности имитационного моделирования с использованием последних технологических достижений в области суперкомпьютерных технологий, специалистами ЦЭМИ РАН были достигнуты

существенные результаты, а некоторые из них позволили создать и зарегистрировать программы для ЭВМ¹⁰. Многоуровневые исследования и сотрудничество в этом направлении с ведущими организациями, имеющими высокотехнологичное оборудование, способствовали усовершенствованию методологии построения имитационных моделей с применением супер-ЭВМ [18-20].

25

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

26

Тенденции глобальной цифровизации затрагивают все основные сферы привычного миропорядка, в т.ч. связанные с созданием новых автоматизированных систем управления, искусственным интеллектом и развитием суперкомпьютерных технологий. Происходящее является неотъемлемой составляющей совершенствования систем с вычислительными мощностями, превышающими в десятки и сотни раз достижения прошлых лет. Стремление завоевать лидирующие позиции в данном направлении серьезно усиливает эту гонку и ускоряет темпы появления высокопроизводительных супер-ЭВМ. Неоспоримыми лидерами являются США и Китай, как по количеству, так и по совокупным воспроизводимым мощностям, но во втором полугодии 2021 года серьезно завысил планку суперкомпьютер, собранный в Японии. Он превзошел ближайшего преследователя почти в три раза по показателям скорости производимых вычислительных операций.

27

Позиции России на международной арене необходимо укреплять, развивая и поддерживая ИТ индустрию и производство собственных технологически развитых продуктов для ЭВМ. Некоторые подвижки в этом направлении уже есть. Компания Байкал Электроникс проводит испытания экспериментальных образцов компьютерных процессоров Baikal используя только отечественные комплектующие, но пока полностью отойти от импортных комплектующих не получилось [21]. В России есть большое количество суперкомпьютеров, которые способны решать сложные вычислительные задачи. В перспективе стоят такие важнейшие вопросы, как:

- разработка российского суперкомпьютера с производительностью в десятки раз превышающей сегодняшние достижения в петафлопсах (возможно этого удастся достичь за счет фотонных процессоров, которые уже начали разрабатывать в России);
- формулирование и освоение методологии построения универсальных вычислительных конструкций с возможностью одновременного выполнения основных функций процессора и хранением данных;
- модернизация высокоскоростных сетей передачи данных;
- построение четко сформулированной иерархии объединения супер-ЭВМ в единую сеть (по принципу системы распределенных ситуационных центров России);
- постепенное импортозамещение различных деталей, используемых при создании комплектующих для ЭВМ [22, 23].

28

Трансформация всех сфер жизнедеятельности государства с помощью новых цифровых технологий даёт возможность сделать вывод о том, что

ближайшее будущее связано с развитием виртуального пространства, которое будет охватывать все основополагающие аспекты привычной жизни человека. Современные реалии диктуют новые методы в области государственного управления, регулирования, проведения научных экспериментов и ведения конкурентной борьбы на международной арене.

Примечания:

1. FLOPS — «FLoating-point Operations Per Second» – совокупное число операций в секунду с плавающей запятой.
 2. Международная конференция «Искусственные общества и информационные технологии», г. Москва, 28 сентября 2021 г., пленарный доклад Бахтизина А.Р.: «Искусственные общества и информационные технологии».
 3. Pflops – 1015 операций в секунду. Eflops – 1018 операций в секунду.
 4. Официальный сайт «ТОП-500». URL: <https://www.top500.org/news/japan-captures-top500-crown-arm-powered-supercomputer/> (дата обращения 12.11.2021).
 5. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.
 6. Официальный сайт научного портала «Атомная энергия 2.0». Статья: «Россия поднялась на девятую строчку в мировом рейтинге суперкомпьютеров». URL: [>>>>](#) (дата обращения 20.11.2021).
 7. Официальный сайт портала «Наука и жизнь». Статья: «Суперкомпьютеры 2020: рекорды, разочарования и непреодолимые барьеры». URL: [>>>>](#) (дата обращения 20.11.2021).
 8. Официальный сайт Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (предприятие госкорпорации «Росатом» РФЯЦ-ВНИИЭФ в Сарове) [>>>>](#)
 9. Официальный сайт лаборатории компьютерного моделирования социально-экономических процессов ЦЭМИ РАН. URL: [>>>>](#) . (дата обращения 03.12.2021).
 10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019614589 Российская Федерация. Система проектирования агент-ориентированных моделей для запуска на суперкомпьютерах: № 2018665556 : заявл. 29.12.2018 : опубл. 09.04.2019 / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, Г. Б. Сушко. URL: [>>>>](#) (дата обращения 03.12.2021).
-

Библиография:

1. Макаров, В. Л. Моделирование и оценка национальной силы разных стран мира / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, J. Wu, Z. Wu, [и др.] // Искусственные общества. – 2021. – Т. 16. – Выпуск 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800016081-8-1/> (дата обращения: 27.10.2021).
2. Бурилина, М. А. Агент-ориентированное моделирование для поддержки принятия решений и прогнозирования в условиях перехода к цифровой экономике / М. А. Бурилина, Д. С. Евдокимов / Монография. – М.: ЦЭМИ РАН, 2020. – 148 с.
3. Макаров, В. Л. Мультиагентные системы и суперкомпьютерные технологии в общественных науках / В.Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко// Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2017. – № 5. – С. 3-9.
4. Лапаев, Д. Н. Искусственный интеллект: за и против / Д. Н. Лапаев, Г.А. Морозова // Развитие и безопасность. – 2020. – № 3(7). – С. 70-77.

5. Баранов, А. В. Методы и средства моделирования системы управления суперкомпьютерными заданиями / А. В. Баранов, Д.С. Ляховец // Программные продукты и системы. – 2019. – № 4. – С. 581-594.
6. Кишкан, В.В. Беступиковый алгоритм расширенного синтаксического анализа и его приложение к языкам программирования для квантовых компьютеров / В. В. Кишкан, К. В. Сафонов // Computational Nanotechnology. – 2020. – Т. 7. – № 2. – С. 42-48.
7. Makarov, V. L. The application of graph decomposition to development of large-scale agent-based economic models (2019) / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, E. D. Sushko, G. B. Sushko // Advances in Systems Science and Applications, 19 (1), pp. 141-149.
8. Антонов, А. С. Высокопроизводительные вычислительные платформы: текущий статус и тенденции развития / А. С. Антонов, И. В. Афанасьев, В. В. Воеводин // Вычислительные методы и программирование. – 2021. – Т. 22. – № 2. – С. 135-177.
9. Абрамов, С. М. Июнь 2019: анализ развития суперкомпьютерной отрасли в России и в мире / С. М. Абрамов // Программные системы: теория и приложения. – 2019. – Т. 10. – № 3(42). – С. 3-40.
10. Savin, G. I. Jobs Runtime Forecast for JSCC RAS Supercomputers Using Machine Learning Methods / G. I. Savin, B. M. Shabanov, D. S. Nikolaev [et al.] // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Vol. 41. – No 12. – P. 2593-2602.
11. Савин, Г. И. Об использовании Федеральной научной телекоммуникационной инфраструктуры для суперкомпьютерных вычислений / Г. И. Савин, Б. М. Шабанов, А. В. Баранов [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика. – 2020. – Т. 9. – № 1. – С. 20-35.
12. Makarov, V. L. Supercomputer technologies in social sciences: Existing experience and future perspectives / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin // Springer Proceedings in Complexity -2018. pp. 251-273.
13. Kiselev, E. A. The Energy Efficiency Evaluating Method Determining Energy Consumption of the Parallel Program According to Its Profile / E. A. Kiselev, V. I. Kiselev, B. M. Shabanov [et al.] // Lobachevskii Journal of Mathematics. – 2020. – Vol. 41. – No 12. – P. 2542-2551.
14. Savin, G. I. Simulator of a Supercomputer Job Management System as a Scientific Service / G. I. Savin, B. M. Shabanov, D. S. Lyakhovets [et al.] // Proceedings of the 2020 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, FedCSIS 2020 : 15, Virtual, Sofia, 06–09 сентября 2020 года. – Virtual, Sofia, 2020. – P. 413-416.
15. Макаров, В. Л. Моделирование социальных процессов на суперкомпьютерах: новые технологии / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, Г. Б. Сушко // Вестник Российской академии наук. – 2018. – Т. 88. – № 6. – С. 508-518.

16. Макаров, В. Л. Суперкомпьютерные технологии в общественных науках: агент-ориентированные демографические модели / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2016. – Т. 86. – № 5. – С. 412.
17. Макаров, В. Л. Агент-ориентированная суперкомпьютерная демографическая модель России: анализ апробации / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, Г. Б. Сушко // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2019. – Т. 12. – № 6. – С. 74-90.
18. Макаров, В. Л. Разработка агент-ориентированной демографической модели России и ее суперкомпьютерная реализация / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко, Г. Б. Сушко // Вычислительные методы и программирование. – 2018. – Т. 19. – № 4. – С. 368-378.
19. Makarov, V. L. Agent-based model as a tool for controlling environment of the region / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, E. D. Sushko // Zhurnal Novoi Ekonomicheskoi Associacii. – 2020. Vol. 45(1). pp. 151-171
20. Epstein, J. M. Agent-based modeling for a complex world. Scientific publications department / J. M. Epstein, V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin // GAUGN, 2021. — 74 p. ISBN 978-5-6045843-5-4
21. Баранов, А. В. Применение машинного обучения для прогнозирования времени выполнения суперкомпьютерных заданий / А. В. Баранов, Д. С. Николаев // Программные продукты и системы. – 2020. – № 2. – С. 218-228.
22. Шабанов, Б. М. Система управления заданиями распределенной сети суперкомпьютерных центров коллективного пользования / Б. М. Шабанов, П. Н. Телегин, А. П. Овсянников [и др.] // Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук. – 2018. – Т. 8. – № 6. – С. 65-73.
23. Абрамов, В. И. Оптимизация работы графических процессоров и кластеров для разработки крупномасштабных социально-экономических моделей на суперкомпьютерах / В. И. Абрамов, Д. С. Евдокимов // Искусственные общества. – 2020. – Т. 15. – Выпуск 3 [Электронный ресурс]. URL: <https://artsoc.jes.su/s207751800011122-3-1/> (дата обращения: 25.12.2020).

Development trends of russian and foreign super-computer technologies in the conditions of digital transformation

Dmitry Evdokimov

Central Economics and Mathematics Institute, RAS (CEMI RAS)

Moscow, Nakhimovsky prospect, 47, Moscow, 117418, Russia

Kravchenko Dmitry

State Academic University of Humanities under the Russian Academy of Sciences

Maronovsky lane 26, Moscow, Russian Federation

Abstract

The rapid development of modern technologies and the emergence of large-scale world projects with the involvement of a scientific, political and commercial conglomerate contributes to the comprehensive development of digitalization, including the IT industry, thereby promoting and improving developments related to electronic computers. The article is devoted to the study of the latest developments in the field of supercomputer technologies in Russia and abroad. An overview of operating supercomputers occupying the first lines in the world TOP-500 rating is given. The main Russian successes in this direction are formulated. Possible perspective tasks are described that would allow Russia to strengthen its positions in the international arena.

Keywords: computing systems, supercomputer, supercomputer technologies, simulation, agent-based models, digitalization

Date of publication: 31.12.2021

Citation link:

Dmitry K., Evdokimov D. Development trends of russian and foreign super-computer technologies in the conditions of digital transformation // Herald of CEMI. – 2021. – V. 4. – Issue 3-4. URL: <https://cemi.jes.su/s265838870017846-3-1/>. DOI: 10.33276/S265838870017846-3