

УДК 004.382.2

ББК 32.973.2

Чижев Дмитрий Александрович*, старший научный сотрудник Центра военно-политических исследований РИСИ.

Анализ тенденций и перспективных направлений развития суперЭВМ

Постоянная потребность ведущих стран мира в высокопроизводительных вычислениях требует своевременной разработки и внедрения современных технологий в сфере производства суперЭВМ (суперкомпьютеров, СК)¹. Возможности конкретной страны по созданию и практической реализации наработок в этой области оказывают непосредственное влияние на её способность решать важнейшие научно-технические и экономические проблемы.

По мере развития СК их производительность неуклонно растёт. Вместе с тем для выхода на новый рубеж вычислительной мощности требуются новые технические решения, которые, в свою очередь, дадут возможность существенно расширить сферу применения суперкомпьютерных технологий. Последние достижения в этой области будут востребованы в различных ведомствах ведущих государств для анализа и прогнозирования сложных процессов.

Современные тенденции развития суперкомпьютерных технологий

Основным техническим параметром, с помощью которого определяют, относится система к классу суперкомпьютеров или нет, является её производительность. Под производительностью понимают число вычислительных операций, выполняемых компьютером в единицу времени. Производительность вычислительных систем измеряют в флопсах (Floating-Point Operations per Second, FLOPS), обозначающих число операций с плавающей запятой в секунду.

Порог производительности, отличающий суперкомпьютеры от остальных машин, меняется со временем. Если в 60-х гг. прошлого столетия суперкомпьютером считалась машина с производительностью 10^6 операций в секунду, то в настоящее время этот порог сдвинулся до 10^{14} – 10^{15} операций в секунду².

* da.chizhov@yandex.ru

¹ СуперЭВМ (суперкомпьютер, СК) — это электронно-вычислительная машина штучного выпуска, многократно превосходящая по вычислительной мощности массово выпускаемые компьютеры. Такая машина нацелена в первую очередь на масштабные вычисления больших объёмов данных, а также на сокращение времени выполнения сложных научно-технических расчётов (задач).

² Гузик В., Каляев И., Левин И. Реконфигурируемые вычислительные системы // Южный федеральный ун-т. Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. С. 19.

В современном мире суперкомпьютеры постоянно расширяют сферу своего применения в науке, технике и промышленности. Постоянное развитие научно-технического прогресса требует решения всё более трудоёмких задач, вычислительная сложность которых может превышать 10^{20} операций в секунду³.

Рейтинг ведущих суперкомпьютеров TOP500

Тенденции в области суперкомпьютеров можно отслеживать с помощью публикуемого дважды в год рейтинга пятисот самых высокопроизводительных компьютеров (TOP500)⁴. Вычислительные системы в списке TOP500 располагаются в соответствии с тем, какую производительность они продемонстрировали при выполнении специального стандартного теста Linpack⁵. Согласно этому рейтингу производительность суперкомпьютеров, входящих в список TOP500, стремительно растёт. Так, например, в 1997 г. список самых высокопроизводительных компьютеров в мире открывала система с производительностью несколько TFLOPS (терафлопс — 1 триллион операций в секунду), однако уже в 2005 г. к терафлопсному диапазону относились все системы, включённые в TOP500. В 2008 г. появились первые суперкомпьютеры с производительностью, превышающей 1 петафлопс (10^{15} –1000 терафлопс). По мнению большинства экспертов, в 2020 г. производительность СК может превысить 1 эксафлопс (10^{18} –1000 петафлопс)⁶.

Для оценки существующих актуальных тенденций развития СК необходимо провести анализ изменений, отражённых в трёх редакциях обозначенного выше рейтинга TOP500 (июнь 2016 г., ноябрь 2016 г., июнь 2017 г.).

В рассматриваемый период Китай преодолел имеющуюся зависимость от поставок импортной элементной базы и возглавил рейтинг с новым суперкомпьютером. Занявший в июне 2016 г. первое место суперкомпьютер Sunway TaihuLight был в три раза быстрее (93 петафлопс) предыдущего лидера СК Tianhe-2 (33,9 петафлопс), также разработанного в Китае и возглавлявшего список с 2014 г. Новая вычислительная машина была размещена в Научном суперкомпьютерном центре Уси. Финансирование проекта в объёме 270 млн дол. США (1,8 млрд юаней) было распределено в равных долях между самым компьютерным центром, местными и центральными органами власти КНР⁷.

³ Гузик В., Каляев И., Левин И. Реконфигурируемые вычислительные системы // Южный федеральный ун-т. Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. С. 17.

⁴ TOP500. Supercomputer Sites. URL: <https://www.top500.org/> (дата обращения: 04.10.2017).

⁵ Популярный тест производительности, предназначенный для оценки производительности параллельных вычислительных систем. Тест Linpack по своей сути сводится к решению системы линейных уравнений с большим числом переменных.

⁶ China aims to build world's first exascale supercomputer prototype by end of 2017 // The Verge. 2017. January 19. URL: <https://www.theverge.com/2017/1/19/14321832/china-exascale-supercomputer-prototype-2017> (дата обращения: 04.10.2017).

⁷ Dongarra J. Report on the Sunway TaihuLight // Tech Report UT-EECS-16-742 — University of Tennessee. 2016. June 24. URL: <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/PAPERS/sunway-report-2016.pdf> (дата обращения: 04.10.2017).

Важно отметить, что появление в Китае нового передового суперкомпьютера опровергает утверждение о зависимости Китая от западных технологий. Предыдущие наиболее производительные китайские суперкомпьютеры Tianhe-1A, Tianhe-2 были построены на процессорах американской компании Intel. Сначала Китай планировал просто удвоить производительность предыдущего лидера списка TOP500 Tianhe-2. Но в апреле 2015 г. США ужесточили экспортный контроль любых поставок элементной базы в научно-исследовательские и суперкомпьютерные центры Китая⁸ по причине подозрений в её использовании в интересах ядерного оружейного комплекса КНР.

Предпринятые Китаем меры по развитию отечественного производства элементной базы для СК дали необходимые результаты. Теперь каждый из почти 41 тыс. установленных в СК Sunway TaihuLight процессоров базируется на архитектуре локальной разработки ShenWei, созданной в государственном Шанхайском центре разработки высокопроизводительных микросхем (Shanghai High Performance IC Design Center). Система межпроцессорного соединения узлов, известная под названием Sunway Network, также была разработана в Китае⁹.

Кроме того, система имеет собственную реализацию программного стандарта для параллельного программирования (OpenACC 2.0) — оперативную систему (ОС) SunWay Raise OS 2.0.5 на базе Linux.

Вместе с тем американское эмбарго на поставки технологий Intel китайским фирмам, обеспечивающим работу Tianhe-2, введённое в апреле 2015 г., получило весомый ответ. Китайские власти по соображениям национальной безопасности с 15 августа 2015 г. ограничили экспорт компьютерных систем вычислительной мощностью более 8 терафлопс и обязали компании, поставляющие мощные компьютеры за рубеж, получать специальные лицензии¹⁰.

Для определения динамики положения СК-лидеров рейтинга важно рассмотреть изменения в первой десятке передовых вычислительных машин¹¹. В июне 2016 г. рейтинг возглавил новый китайский СК Sunway TaihuLight (93 петафлопс), на второй строчке разместился лидер прошлой редакции списка (ноябрь 2015 г.) — китайский СК Tianhe-2 (33,9 петафлопс). Самый мощный американский СК Titan (17,59 петафлопс) сместился со второго на третье место и сохранил его в ноябре 2016 г.

⁸ Оборонный научно-технический университет Народно-освободительной армии Китая (National University of Defense Technology, NUDT), Национальный суперкомпьютерный центр в Чанша (National Supercomputing Center in Changsha, NSCC-CS), Национальный суперкомпьютерный центр в Гуанчжоу (National Supercomputing Center in Guangzhou, NSCC-GZ), Национальный суперкомпьютерный центр в Тяньцзине (National Supercomputing Center in Tianjin, NSCC-TJ).

⁹ См.: *Dongarra J.* Report on the Sunway TaihuLight.

¹⁰ Китай запретил экспорт высокотехнологичных беспилотников и суперкомпьютеров // ИА ТАСС. 2015. 1 августа. URL: <http://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/2158880> (дата обращения: 04.10.2017).

¹¹ Опубликована 49-я редакция списка самых высокопроизводительных суперкомпьютеров // OpenNET.ru. 2017. 24 июня. URL: <https://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=46755> (дата обращения: 04.10.2017); Опубликована 48-я редакция списка самых высокопроизводительных суперкомпьютеров // OpenNET.ru. 2016. 14 ноября. URL: <https://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=45490> (дата обращения: 04.10.2017); Опубликована 47-я редакция списка самых высокопроизводительных суперкомпьютеров // OpenNET.ru. 2016. 20 июня. URL: <https://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=44630> (дата обращения: 04.10.2017).

За рассматриваемый период в списке лидеров происходили незначительные изменения. В ноябре 2016 г. из первой десятки вышли немецкий СК Hazel Hen (5,64 петафлопс) и саудовский СК Shaheen II (5,54 петафлопс). Японский СК K-computer (более 10,5 петафлопс) был вытеснен с 5-го на 7-е место, его подвинули американский СК Cori (14 петафлопс) и японский СК Oakforest-PACS (13,5 петафлопс). Соответственно, американские СК Mira (8,59 петафлопс) и Trinity (8,10 петафлопс) спустились на одну ступеньку.

Единственным изменением в рейтинге в июне 2017 г. стал резкий подъём швейцарского СК Piz Daint — с 8-го на 3-е место. Это стало возможным благодаря модернизации машины, которая повысила её производительность с 9,8 до 19,6 петафлопс. СК, занимавшие в предыдущем рейтинге (ноябрь 2016 г.) с 4-й по 7-ю строчки, переместились на ступеньку ниже.

Рассмотрев изложенные выше данные, важно отметить, что американские фирмы-производители доминируют в создании элементной базы. Вместе с тем китайские фирмы производят собственные комплектующие для обеспечения национальных нужд.

Активные меры, принятые Пекином, благотворно сказались на росте числа СК китайского производства в рейтинге. Только за полгода (с ноября 2015 г. по июнь 2016 г.) число китайских машин выросло со 109 до 167, а американских — сократилось со 199 до 165. В следующей редакции рейтинга (ноябрь 2016 г.) соперники сравнялись по числу СК — 171. В июне 2017 г. количество китайских машин сократилось до 160, а американских — до 168.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Сохраняется устойчивый рост суммарной производительности всех включённых в список систем, также растёт минимальная производительность СК, необходимая для включения в рейтинг.

Остаются почти неизменными показатели, отражающие использование странами-операторами комплектующих тех или иных производителей (процессоров, ускорителей, кластеров).

Крупнейшие страны — операторы современных СК (США и Китай) находятся в режиме жёсткой конкуренции за лидерство в этой сфере. Ряд стран-операторов (Япония, Германия, Франция, Великобритания) находится на большом удалении от лидеров. Число СК, попавших в рейтинг, у этих стран колеблется в количестве 10–30 ед. Другие страны вошли в рейтинг с незначительными показателями (до 10 ед.).

Распределение СК по регионам мира сохраняет баланс, что свидетельствует об активной работе стран — лидеров в этой сфере. Важно отметить, что "азиатский пакет" формируется преимущественно из китайских, японских и южнокорейских машин.

Перспективы дальнейшего развития суперкомпьютерных технологий

По мере своего развития производительность суперЭВМ возрастает в среднем в 1000 раз каждые 10–12 лет. Следующим этапом развития систем будет достижение ими производительности 1 эксафлопс (1000 петафлопс). Суперкомпьютеры с такими характеристиками смогут очень

быстро проводить анализ больших массивов данных и более реалистично создавать компьютерные модели сред, процессов и взаимосвязей.

Принимая во внимание тот факт, что высокопроизводительные вычисления современных СК являются инструментом обеспечения конкурентоспособности государства в мире, можно ожидать усиления борьбы между США и Китаем за лидерство в эксафлопных технологиях.

Соединённые Штаты для удержания лидирующих позиций принимают ряд мер. Так, в июле 2016 г. США приняли Национальную стратегическую компьютерную инициативу (National Strategic Computing Initiative, NSCI), которая должна объединить усилия различных органов власти для сохранения лидирующих позиций США в области высокопроизводительных вычислений, включая создание аппаратных технологий для систем нового поколения¹².

Появлению СК эксафлопного уровня будет предшествовать ряд проектов других СК, задачей которых будет отработка новой элементной базы, архитектуры и других технических решений.

Компания IBM планирует к 2018 г. создать новый суперкомпьютер Summit стоимостью 325 млн дол. и производительностью 200 петафлопс. В случае удачной реализации таких планов новая вычислительная машина будет создана в интересах Министерства энергетики США и передана в распоряжение Национальной лаборатории Ок-Ридж (Oak Ridge National Laboratory, ORNL)¹³. Министерство ожидает поступления ещё двух суперкомпьютеров в 2018 г.: СК Sierra мощностью около 150 петафлопс (Ливерморская национальная лаборатория) и СК Aurora мощностью 180 петафлопс (Аргоннская национальная лаборатория)¹⁴. Кроме того, ведомство выделило 258 млн дол. на создание СК с производительностью более 1 эксафлопс. Разработку будут вести шесть американских компаний — Hewlett-Packard, IBM, Intel, NVIDIA, Cray и AMD. Поставка первого аппарата запланирована на 2021 г.¹⁵

Параллельно с вводом новых американских СК в эксплуатацию могут быть созданы китайские вычислительные машины сопоставимой или большей производительности¹⁶. В КНР запланировано создание сразу трёх новых СК. Эксплуатация таких систем должна помочь выявить

¹² National Strategic Computing Initiative Strategic Plan // 2016. July. URL: https://www.whitehouse.gov/sites/whitehouse.gov/files/images/NSCI%20Strategic%20Plan_20160721.pdf (дата обращения: 04.10.2017).

¹³ *Fadilpašić S.* IBM Summit will be the world's fastest supercomputer // Beta news. 2016. June 28. URL: <https://betanews.com/2016/06/28/ibm-summit-worlds-fastest-supercomputer/> (дата обращения: 04.10.2017); *Sullivan D.* IBM Awarded \$325 Million to Develop Open POWER-based Systems // Cloudwards.net. 2014. November 14. URL: <https://www.cloudwards.net/news/ibm-awarded-325-million-to-develop-open-power-based-systems-5482/> (дата обращения: 04.10.2017).

¹⁴ *Ларионов В.* К 2018 г. IBM выпустит суперкомпьютер мощностью в 200 Пфлопс // Hi-News.ru. 2016. 27 июня. URL: <https://hi-news.ru/computers/k-2018-godu-ibm-vypustit-superkompyuter-moshhnostyu-v-200-petaflops.html> (дата обращения: 04.10.2017); *Будик А.* Intel и Cray выпустят 180-петафлопсный суперкомпьютер к 2018 г. // Servernews. 2015. 10 апреля. URL: <https://servernews.ru/912472> (дата обращения: 04.10.2017).

¹⁵ Department of Energy Awards Six Research Contracts Totaling \$258 Million to Accelerate U.S. Supercomputing Technology // Department of Energy. 2017. June 15. URL: <https://energy.gov/articles/department-energy-awards-six-research-contracts-totaling-258-million-accelerate-us> (дата обращения: 04.10.2017).

¹⁶ См.: *Ларионов В.* К 2018 г. IBM выпустит суперкомпьютер мощностью в 200 Пфлопс.

оптимальную архитектуру для создания суперкомпьютера производительностью не ниже 1 эксафлопс.

Каждый из суперкомпьютеров будет разрабатываться отдельной организацией. Над первой системой будут работать специалисты Оборонного научно-технического университета (НОАК, National University of Defense Technology). Местом её размещения выбран Национальный суперкомпьютерный центр в Тяньцзине. В системе должны быть использованы китайские комплектующие.

Второй суперкомпьютер разрабатывается в Национальном центре суперкомпьютерных вычислений в Цзинане группой специалистов, создавших СК Sunway TaihuLight, с использованием архитектуры последнего.

Третья система будет построена китайской компанией Sugon с использованием X86-совместимых процессоров от AMD¹⁷.

Перспективные пути развития элементной базы и построения вычислительных машин

Создание СК нового поколения затрудняется тем, что дальнейшее использование традиционных подходов к построению вычислительных машин будет связано с необходимостью преодоления физических ограничений, обусловленных энергопотреблением, надёжностью и размерами изделия. В связи с этим необходимы принципиально новые пути развития элементной базы и построения ЭВМ. Крупнейшими фирмами ведутся интенсивные разработки технических решений, позволяющих преодолеть эти ограничения.

Для разработки технологий, которые будут коренным образом отличаться от существующих (кремниевая фотоника, нейроморфные и квантовые СК), компанией IBM в 2014 г. были открыты научно-исследовательские программы с объёмом финансирования в 3 млрд дол.¹⁸

Одним из наиболее перспективных направлений развития элементной базы является кремниевая фотоника. Элементы, созданные по такой технологии, используют импульсы света для быстрой передачи огромных массивов информации как внутри одного элемента, так и между разными элементами вычислительной системы. По мнению специалистов, эта технология наилучшим образом удовлетворяет требованиям, выдвигаемым к системам обработки и передачи так называемых больших данных (big data)¹⁹.

В августе 2016 г. компания Intel объявила о начале поставок модулей кремниевой фотоники, которые будут использоваться в оптических

¹⁷ Китай планирует создание трёх новых суперкомпьютеров мощностью до 1 эксафлопса // DailyTechInfo. 2016. 26 июля. URL: <http://www.dailytechinfo.org/info-tech/8323-kitay-planiruet-sozdanie-treh-novyh-superkompyuterov-moschnostyu-do-1-ekzaflops-a.html> (дата обращения: 04.10.2017).

¹⁸ Компания IBM начинает исследовательские программы, направленные на разработку посткремниевой электроники следующего поколения // DailyTechInfo. 2014. 16 июля. URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/6085-kompaniya-ibm-nachinaet-issledovatel'skie-programmy-napravlennye-na-razrabotku-post-kremnievoy-elektroniki-sleduyuschego-pokoleniya.html> (дата обращения: 04.10.2017).

¹⁹ Большие данные (big data) — совокупность подходов, инструментов и методов обработки структурированных и неструктурированных данных огромных объёмов для получения воспринимаемых человеком результатов.

коммуникациях на больших расстояниях между серверами и центрами хранения и обработки данных ("дата-центрами"). Со временем Intel рассчитывает масштабировать технологию для передачи информации внутри компьютера.

Специалистам компании IBM также удалось добиться значительных успехов в области технологий квантовых вычислений. Данная и некоторые другие компании уже демонстрируют опытные образцы систем, работа которых базируется на возможности существования элементарной частицы сразу в двух различных состояниях. Электрон может одновременно хранить значения "1" и "0", представляя собой так называемый квантовый бит, или кубит (q-бит). Это существенно расширяет вычислительные возможности компьютера. Квантовый компьютер поможет решить те задачи, с которыми не справляются нынешние суперкомпьютеры: моделирование молекул, новых химических веществ и климатических явлений. IBM исследует эту технологию в течение нескольких лет и заявляет, что её первые применения могут начаться довольно скоро²⁰.

Ещё одним и наиболее перспективным направлением развития вычислительных технологий будущего являются нейроморфные вычисления. Работа элементов и систем, построенных по такой технологии, должна быть подобна работе нейронной сети головного мозга человека. В настоящее время в IBM уже созданы первые нейроморфные процессоры²¹. В 2014 г. был представлен процессор, предназначенный для использования в нейронных сетях²². Он содержал 1 млн нейронов и 256 млн синапсов²³, что похоже на архитектуру неокортекса²⁴. Такой процессор можно использовать для решения задач высокой и сверхвысокой производительности. Например, с его помощью можно классифицировать объекты в видеопотоке в режиме реального времени.

В июне 2017 г. IBM совместно с Научно-исследовательской лабораторией ВВС США (Air Force Research Lab, AFRL) приступили к построению первой в мире нейроморфной вычислительной системы²⁵. Система получила название TrueNorth Neurosynaptic System (TNS). Её основой станут несколько вычислительных узлов, в каждом из которых будет установлено по 64 нейроморфных процессора IBM TrueNorth. При этом каждый из узлов состоит из 64 млн искусственных нейронов и 16 млрд

²⁰ Компания IBM разрабатывает компьютеры нового поколения // Ведомости. 2017. 7 марта. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2017/03/07/680173-ibm-kompyuteri> (дата обращения: 04.10.2017).

²¹ См.: Компания IBM начинает исследовательские программы, направленные на разработку посткремниевой электроники следующего поколения.

²² Нейронная сеть — математическая модель (а также её программное или аппаратное воплощение), построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма.

²³ Синапс — место контакта между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал эффекторной клеткой.

²⁴ Неокортекс (новая кора) — область коры головного мозга, располагающаяся в верхнем слое полушарий мозга человека. Она отвечает за высшие нервные функции — сенсорное восприятие, выполнение моторных команд, осознанное мышление и речь.

²⁵ Кузнецов В. IBM приступает к созданию первого в мире нейроморфного суперкомпьютера // Hi-News.ru. 2017. 26 июня. URL: <https://hi-news.ru/computers/ibm-pristupaet-k-sozdaniyu-pervogo-v-mire-nejromorfno-go-superkompyutera.html> (дата обращения: 04.10.2017).

искусственных синапсов²⁶. Каждое ядро TrueNorth станет частью единой распределённой нейронной сети.

Новая система искусственного интеллекта TNS сможет обрабатывать данные, поступающие из разных источников, и производить параллельную обработку одного и того же потока исходных данных²⁷. В частности, система будет использоваться для идентификации наземных целей при радиолокации с воздуха.

Биокомпьютеры

Природные способы хранения и обработки информации в биологических системах могут быть умело использованы в интересах развития суперкомпьютерных технологий. Ведутся разработки нескольких типов биокомпьютеров, принцип работы которых основывается на разных биологических процессах.

Например, химическое соединение аденозинтрифосфат (АТФ), которое обеспечивает энергией клетки тел живых существ, может использоваться для обеспечения функционирования будущих биологических суперкомпьютеров. Такая конструкция позволит решать сложные задачи с меньшими энергозатратами. Команда учёных под руководством Дэна Николау-старшего из Университета Макгилла (Монреаль, Канада) создала модель такого суперкомпьютера. Устройство использует в качестве источника энергии молекулы АТФ.

В компьютере обозначенной конструкции варианты ответов выдаются не поочередно, а параллельно друг другу, так как молекулы движутся одновременно по многим каналам. Преимущество такого компьютера заключается в том, что с усложнением задачи не возрастает количество затраченного на решение времени: нужно лишь увеличить количество молекулярных агентов²⁸.

Другим перспективным направлением являются биокомпьютеры, использующие молекулы ДНК для хранения и обработки данных (ДНК-компьютеры). Исследователи из Университета Манчестера под руководством профессора Росса Кинга разработали вычислительное устройство на базе молекул ДНК, которое способно копировать себя, для обеспечения распараллеливания процессов и повышения вычислительной мощности²⁹.

Теоретически такое устройство способно увеличивать свою производительность экспоненциально, оставляя далеко позади традиционные компьютеры. ЭВМ на базе ДНК-технологии будут способны вместить в себя больше компонентов, иметь низкое энергопотребление, повышенную

²⁶ IBM и ВВС США разрабатывают нейроморфный суперкомпьютер нового поколения // Хабрахабр. 2017. 15 июля. URL: <https://habrahabr.ru/company/ibm/blog/333378/> (дата обращения: 04.10.2017).

²⁷ См.: Кузнецов В. IBM приступает к созданию первого в мире нейроморфного суперкомпьютера.

²⁸ Building living, breathing supercomputers // Science News. 2016. February 26. URL: <http://esciencenews.com/articles/2016/02/26/building.living.breathing.supercomputers> (дата обращения: 04.10.2017).

²⁹ Scientists reveal new super-fast form of computer that 'grows as it computes' // The University of Manchester. 2017. March 1. URL: <http://www.manchester.ac.uk/discover/news/scientists-reveal-new-super-fast-form-of-computer-that-grows-as-it-computes> (дата обращения: 04.10.2017).

скорость (до 10^{14} операций в сек.)³⁰, а также смогут хранить данные с плотностью 1 эксабайт на 1 мм³, что соответствует объёму данных, хранящихся в "дата-центре" компании Facebook³¹.

Кроме того, учёные из Вашингтонского университета в мае 2016 г. сообщили о том, что они приступили к разработке системы хранения данных на основе ДНК и рассмотрению возможности применения таких решений в современных и перспективных СК³².

По мнению специалистов, ещё одним важным направлением является создание клеточных компьютеров. Для этой цели идеально подошли бы бактерии при условии того, что в их геном удалось бы включить некую логическую схему, которая могла бы активизироваться в присутствии определённого вещества. Важно отметить, что при использовании такой технологии достаточно вырастить одну клетку, обладающую заданными качествами, которая далее позволит создать тысячи клеток с такой же программой.

Перспективные направления применения суперкомпьютерных технологий

Суперкомпьютеры по мере своего дальнейшего развития и роста вычислительной мощности будут способствовать развитию проектов, связанных с предсказательным моделированием крупномасштабных процессов и глубоким анализом разнородных данных.

Военно-политическим руководством США в рамках указанной выше Национальной стратегической компьютерной инициативы были обозначены ведомства, в интересах которых будут создаваться новые проекты. В их число вошли: Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства, Федеральное бюро расследований, Национальные институты здравоохранения, Министерство внутренней безопасности и Национальное управление океанических и атмосферных исследований³³.

В качестве перспективных направлений использования суперкомпьютерных технологий указаны прогнозирование погодных явлений, обеспечение деятельности правоохранительных органов и медицина.

Погодные системы и сложные модели

Климат и погода на нашей планете являются одной из наиболее сложных систем большого масштаба. Моделирование и прогнозирование погодно-климатических изменений останется перспективной задачей для дальнейшего использования СК новых поколений в долгосрочной

³⁰ Рыбак Э. Генетические и клеточные биокомпьютеры // PC Week/RE ("Компьютерная неделя"). 2003. 27 мая. С. 32. URL: <https://www.itweek.ru/themes/detail.php?ID=64496> (дата обращения: 04.10.2017).

³¹ "Заложено природой": Система хранения данных на основе ДНК // Хабрахабр. 2016. 29 июля. URL: <https://habrahabr.ru/company/1cloud/blog/306656/> (дата обращения: 04.10.2017).

³² Bornholt J., Lopez R., Douglas D., Carmean M., Ceze L., Seelig G. A DNA-Based Archival Storage System // University of Washington & Microsoft Research. 2016. URL: <https://homes.cs.washington.edu/~luisceze/publications/dnastorage-aspl16.pdf> (дата обращения: 04.10.2017).

³³ См.: National Strategic Computing Initiative Strategic Plan.

перспективе. Как предполагают отдельные специалисты, суперкомпьютеры смогут точно смоделировать погодную систему Земли целиком только после достижения ими производительности, превышающей 1 зетафлопс (1000 эксафлопс) к 2030 г.³⁴

В 2017 г. изучением климата планеты Земля и составлением точных прогнозов погоды займётся новый СК Cheyenne, задачами которого станут мониторинг климатических изменений и своевременное предупреждение о стихийных бедствиях. Производительность вычислительной машины будет рекордной для этой сферы — 5,3 петафлопс. Машина сменит на этом посту один из самых мощных компьютеров — Yellowstone³⁵.

Ещё одним перспективным исследованием в этой сфере можно считать совместный проект Техасского университета в Остине (University of Texas at Austin), Исследовательского центра IBM (IBM Almaden Research Center), Нью-Йоркского университета (New York University, NYU) и Калифорнийского технологического института (California Institute of Technology). Группа исследователей разработала новейшие алгоритмы, обеспечивающие вычисления на основе метода "неявного решения", благодаря которым стало возможно создать высокоточную модель земных недр. Это даст возможность найти причины возникновения землетрясений и вулканических извержений. Работы будут вестись на СК Sequoia IBM BlueGene/Q, который находится в Ливерморской национальной лаборатории (Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL)³⁶.

Профилирование личности

Новые суперкомпьютерные технологии хорошо масштабируются на любые вычислительные задачи. Например, когнитивная система IBM Watson способна понимать вопросы, сформулированные на естественном языке, делать выводы и обучаться. В связи с этим на её основе разрабатываются различные приложения и сервисы³⁷. Данная система приобрела широкую известность благодаря искусственному интеллекту, который позволяет извлекать данные из структурированной и неструктурированной информации и выявлять глубокие взаимосвязи, что в свою очередь даёт большие возможности для профилирования личности человека.

Одним из последних достижений в этом направлении является технология "Способность проникновения в суть индивидуальности" (Personality Insights), позволяющая составить психологический портрет человека по фрагменту текста, например из персонального блога или со страницы

³⁴ Bhavsar V.C. Parallel Computing: Past, Present and Future // 2017. February 7. P. 94. URL: https://www.cdac.in/index.aspx?id=edu_acts_Day1_Session2 (дата обращения: 04.10.2017).

³⁵ Tung L. US's latest buy? A 5.34 petaflop supercomputer to predict freak storms, wildfires // 2016. January 12. URL: <http://www.zdnet.com/article/uss-latest-buy-a-5-34-petaflop-supercomputer-to-predict-freak-storms-wildfires/> (дата обращения: 04.10.2017).

³⁶ Суперкомпьютер на базе IBM POWER детально воссоздал внешнюю оболочку Земли и движение тектонических плит // Пресс-релиз. 2015. 23 ноября. URL: <https://www-03.ibm.com/press/ru/ru/pressrelease/48305.wss> (дата обращения: 04.10.2017).

³⁷ Когнитивная система IBM Watson — будущее действительно здесь // Geektimes. 2016. 19 февраля. URL: <https://geektimes.ru/company/ibm/blog/271306/> (дата обращения: 04.10.2017).

в социальной сети. Эта технология является весомой демонстрацией способностей компьютеров к анализу информации³⁸.

Подобные универсальные системы, способные в постоянном режиме анализировать "большие данные", могут быть частью больших комплексов по сбору и анализу данных о гражданах того или иного государства.

Система, построенная по такому принципу, создаётся в Китае. Госсовет КНР в 2014 г. опубликовал Программу создания системы социального кредита (2014–2020 гг.). Такая система к 2020 г. должна будет в режиме реального времени фиксировать деятельность граждан КНР и формировать рейтинг доверия³⁹.

Предполагается, что разрозненная информация о жизни и деятельности гражданина должна будет поступать из муниципальных, коммерческих, правоохранительных, судебных органов и восьми крупных частных компаний во Всекитайскую объединённую платформу кредитной информации (единый информационный центр). Вся полученная информация будет оказывать непосредственное влияние на рейтинг доверия к гражданину⁴⁰.

Вследствие участия в программе частных компаний система получает информацию из мобильных приложений, что открывает безграничные возможности для получения дополнительных данных о местонахождении гражданина, его перемещениях, уровне реального дохода, сфере интересов, содержании его переписки⁴¹.

Отметим, что, несмотря на очевидные преимущества подобных возможностей (вычисление личности преступника и т. д.), применение машинного разума в таких целях вызывает обоснованные опасения. Технологии "профилирования личности" на основе использования "больших данных" могут быть применены государственными и негосударственными акторами для достижения своих политических и военных целей.

Моделирование и анализ сложных явлений в области живых систем

Проблематика исследования живых систем отличается широким спектром задач — от организации медицинской помощи до моделирования человеческого мозга. Решение таких проблем требует использования передовых решений в области СК-технологий.

³⁸ Суперкомпьютер IBM Watson стал способен определить индивидуальность каждого человека // DailyTechInfo. 2015. 27 июля. URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/7225-superkompyuter-ibm-watson-stal-sposoben-opredelit-individualnost-kazhdogo-cheloveka.html> (дата обращения: 04.10.2017).

³⁹ Такой рейтинг будет привязан к паспорту гражданина. Обладатели высокого рейтинга будут пользоваться различными социальными и экономическими льготами, а против граждан с низким рейтингом будут применяться различные административные ограничения.

⁴⁰ 国务院关于印发社会信用体系建设规划纲要(2014–2020年)的通知 // 2014年06月27日. URL: http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/27/content_8913.htm (дата обращения: 05.10.2017).

⁴¹ Planning Outline for the Construction of a Social Credit System (2014–2020) // China Copyright and Media. 2015. April 25. URL: <https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2014/06/14/planning-outline-for-the-construction-of-a-social-credit-system-2014-2020/> (дата обращения: 05.10.2017).

Медицинская диагностика

Отличительной особенностью данного направления использования суперЭВМ является ориентация на высокотехнологичное медицинское оборудование, при использовании которого возникают задачи сбора, хранения и обработки биомедицинской информации большого объёма.

Например, для обобщения и анализа медицинской информации группой медиков-онкологов из четырнадцати медицинских учреждений США и Канады использовалась упомянутая выше система Watson. С её помощью была предпринята попытка существенно улучшить диагностику онкозаболеваний. Важно отметить, что не существует единого универсального метода лечения онкологии, так как заболевания даже одного типа могут протекать по-разному. Обычно требуются недели и месяцы, для того чтобы определить тактику лечения, которая окажет благотворное воздействие на конкретного пациента.

Однако в данном случае Watson на основе массива информации о ДНК клеток злокачественных опухолей и существующих методах лечения создаёт базу, в которой каждому виду мутации соответствует набор наиболее эффективных препаратов и методов лечения. Машина за несколько минут находит пути противодействия мутациям для каждой раковой опухоли. Такой метод может быть быстрее, надёжнее и в конечном счёте дешевле, нежели работа коллектива высококвалифицированных врачей-онкологов⁴².

Другим важным событием в этой области может стать создание медицинского суперкомпьютера с системой искусственного интеллекта в Японии. Такая система может быть сконструирована на базе новой машины, разработка которой ведётся сейчас специалистами университета в Киото (Kyoto University) и компании Fujitsu Ltd. Она будет предназначена в первую очередь для проведения более точной диагностики состояния здоровья пациента и расчётов методов лечения выявленных заболеваний.

Новая японская система будет проводить предварительную диагностику состояния здоровья путём анализа генетического кода пациента. Для того чтобы провести корреляцию между некоторыми видами заболеваний и генетическими мутациями, суперкомпьютер будет опираться на данные, полученные из международных медицинских баз данных и других доступных источников.

Данная работа является частью более масштабного проекта Японского агентства медицинских научных исследований (Japan Agency for Medical Research and Development), в рамках которого ведётся сбор данных о генетическом коде, генетических мутациях и их связи с заболеваниями. Согласно плану, японский аналог американского Watson должен встать в строй к концу 2020 г.⁴³

⁴² Грэй С. Суперкомпьютер Watson поможет бороться с онкологическими заболеваниями // Hi-News.ru. 2015. 9 Мая. URL: <https://hi-news.ru/technology/superkompyuter-watson-pomozhet-borotsya-s-onkologicheskimi-zabolevaniyami.html> (дата обращения: 04.10.2017).

⁴³ Япония планирует создание медицинского суперкомпьютера с системой искусственного интеллекта, возможности которого превысят возможности IBM Watson // DailyTechInfo. 2016. 27 октября. URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/8601->

Биоимиджинг

Одним из традиционных направлений развития компьютерного моделирования в сфере анализа живых систем является построение изображений внутренней структуры биологических объектов с помощью использования различных типов излучений (компьютерная томография и магнитно-резонансная томография).

В марте 2016 г. американские учёные из Университета Дьюка (Duke University) в Дареме разработали программу Harvey, которая позволяет создавать трёхмерную модель сосудистой системы человека. Процесс моделирования происходил в Ливерморской национальной лаборатории в Калифорнии на суперкомпьютере Sequoia IBM BlueGene/Q с производительностью 17,2 петафлопс⁴⁴.

Моделирование работы мозга

Развитие проектов в сфере моделирования деятельности мозга в реальном времени с использованием суперкомпьютера поможет учёным серьёзно продвинуться в нейрофизиологии, медицине и развитии искусственного интеллекта.

Современные компьютерные модели мозга представляют собой интегрированное в сетевые архитектуры большое количество нейронов (несколько миллионов и выше), соединённых синаптическими связями. По мнению специалистов, для моделирования работы 1 мм³ человеческого мозга потребуются компьютерные мощности на уровне 1 петафлопс⁴⁵. В этой связи моделирование значимых объёмов мозга потребует от систем производительности, измеряемой эксафлопсами. Среди наиболее важных в этой сфере можно отметить следующие проекты:

1. "Человеческий мозг". В 2013 г. в швейцарской Федеральной политехнической школе (Лозанна) стартовал проект "Человеческий мозг" (Human Brain Project, HBP), который получил грант Еврокомиссии на 1 млрд евро. В его рамках до 2023 г. планируется собрать все знания о человеческом мозге в единую полноценную компьютерную модель и добиться глубокого понимания основ его функционирования. Полученные результаты планируется использовать в исследованиях по развитию искусственного интеллекта.

2. "Карта активности мозга" (Brain Activity Map Project, BAMP) — проект был одобрен администрацией президента Обамы в 2013 г. с бюджетом в 3 млрд дол. Предполагается, что за 10 лет американскими учёными будет зафиксирована и картографирована активность каждого нейрона человеческого мозга.

yaponiya-planiruet-sozdanie-medicinskogo-superkompyutera-s-sistemoy-iskusstvennogo-intellekta-vozmozhnosti-kotorogo-prevysyat-vozmozhnosti-ibm-watson.html (дата обращения: 04.10.2017).

⁴⁴ Балалин А. Суперкомпьютер создал трёхмерную модель сердечно-сосудистой системы человека // Hi-News.ru. 2016. 22 Марта. URL: <https://hi-news.ru/technology/superkompyuter-sozdal-trekhmernuyu-model-serdechno-sosudistoj-sistemy-cheloveka.html> (дата обращения: 04.10.2017).

⁴⁵ Эксафлопные технологии. Концепция по развитию технологии высокопроизводительных вычислений на базе суперЭВМ эксафлопного класса (2012–2020 гг.) // Госкорпорация "Росатом". 2012. С. 38. URL: http://filearchive.cnews.ru/doc/2012/03/esk_tex.pdf (дата обращения: 04.10.2017).

По замыслу учёных, нанороботы должны будут находиться внутри мозга живого существа и передавать информацию об активности нейронов с помощью беспроводной связи. Такая технология должна быть сначала отработана на насекомых и животных. Только после этого учёные смогут приступить к картированию мозга человека⁴⁶.

* *

*

Создание и применение современных суперЭВМ (суперкомпьютеров, СК) является одним из приоритетных направлений технического развития передовых государств. Своевременная разработка и внедрение суперкомпьютерных технологий оказывает непосредственное влияние на важнейшие сферы государственных интересов (включая оборонную). СК используются в качестве инструмента для обеспечения конкурентоспособности государства в мире.

США и Китай, являясь крупнейшими в мире странами — операторами СК, находятся в режиме жёсткой конкуренции в этой сфере. Эмбарго на поставки комплектующих, объявленное в апреле 2015 г. Соединёнными Штатами, вынудило Пекин отказаться от американской элементной базы (в первую очередь от процессоров) в конструкции своих будущих СК, и подтолкнуло к ускоренному развитию отрасли. Такие действия в кратчайшие сроки дали результат: КНР решила вопрос с импортозамещением, и в июне 2016 г. китайский СК Sunway TaihuLight, впервые созданный без иностранных комплектующих, возглавил рейтинг самых производительных вычислительных машин TOP500.

В краткосрочной перспективе США и КНР направят свои дальнейшие усилия на создание и совершенствование новой элементной базы и архитектурных решений для формирования технологического задела, который должен позволить им создать СК с вычислительной мощностью, значительно превосходящей существующие системы. Новое поколение вычислительных машин должно преодолеть порог производительности 1 эксафлопс, что позволит существенно повысить скорость анализа больших массивов данных и улучшить качество и точность компьютерных моделей сложных процессов, а также выявлять сложные взаимосвязи в разнородной информации. По мнению большинства специалистов, рекордная производительность СК может быть достигнута в период 2020–2022 гг.

Однако создание таких СК затрудняется тем, что дальнейшее использование традиционных подходов к разработке вычислительных машин будет связано с необходимостью преодоления физических ограничений в области энергопотребления, надёжности и размеров изделия. Для этого крупнейшими фирмами-производителями ведётся интенсивная работа по развитию технологий построения нейроморфных, квантовых и биологических суперкомпьютеров.

⁴⁶ Проекты нейроморфного моделирования // Nanonewsnet.ru. 2016. 27 мая. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2016/proekty-neiromorfno-go-modelirovaniya> (дата обращения: 04.10.2017).

СуперЭВМ, по мере своего дальнейшего развития и роста вычислительной мощности, будут использоваться для моделирования крупномасштабных процессов и глубокого анализа разнородных данных.

Получат дальнейшее развитие когнитивные системы, способные понимать естественную речь, самостоятельно делать выводы и обучаться. Вместе с тем они могут быть частью больших комплексов по сбору и анализу данных о собственных гражданах или гражданах другого государства (решать задачу так называемого профилирования личности).

Развитие таких систем несёт в себе скрытую угрозу, так как ими могут воспользоваться как государства, так и неправительственные структуры для достижения своих политических и военных целей.

Ключевые слова: *суперЭВМ — суперкомпьютеры — элементная база — технологический задел — научно-техническое развитие.*

Keywords: *supercomputer — hardware components — technologic capacity — scientific and technical development.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балалин А. Суперкомпьютер создал трёхмерную модель сердечно-сосудистой системы человека // Hi-News.ru. 2016. 22 Марта. URL: <https://hi-news.ru/technology/superkompyuter-sozdal-trekhmernuyu-model-serdechno-sosudistoj-sistemy-cheloveka.html> (дата обращения: 04.10.2017).
2. Будик А. Intel и Cray выпустят 180-петафлопсный суперкомпьютер к 2018 г. // Servernews. 2015. 10 апреля. URL: <https://servernews.ru/912472> (дата обращения: 04.10.2017).
3. Грэй С. Суперкомпьютер Watson поможет бороться с онкологическими заболеваниями // Hi-News.ru. 2015. 9 Мая. URL: <https://hi-news.ru/technology/superkompyuter-watson-pomozhet-borotsya-s-onkologicheskimi-zabolevaniyami.html> (дата обращения: 04.10.2017).
4. Гузик В., Каляев И., Левин И. Реконфигурируемые вычислительные системы // Южный федеральный ун-т. Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2016. С. 19.
5. "Заложено природой": Система хранения данных на основе ДНК // Хабрахабр. 2016. 29 июля. URL: <https://habrahabr.ru/company/1cloud/blog/306656/> (дата обращения: 04.10.2017).
6. Китай запретил экспорт высокотехнологичных беспилотников и суперкомпьютеров // ИА ТАСС. 2015. 1 августа. URL: <http://tass.ru/mezhdunarodnaya-panorama/2158880> (дата обращения: 04.10.2017).
7. Китай планирует создание трёх новых суперкомпьютеров мощностью до 1 эксафлопса // DailyTechInfo. 2016. 26 июля. URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/8323-kitay-planiruet-sozдание-treh-novyh-superkompyuterov-moschnostyu-do-1-ekzaflops-a.html> (дата обращения: 04.10.2017).
8. Когнитивная система IBM Watson — будущее действительно здесь // Geektimes. 2016. 19 февраля. URL: <https://geektimes.ru/company/ibm/blog/271306/> (дата обращения: 04.10.2017).
9. Компания IBM начинает исследовательские программы, направленные на разработку посткремниевой электроники следующего поколения // DailyTechInfo. 2014. 16 июля. URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/6085-kompaniya-ibm-nachinaet-issledovatel'skie-programmy-napravlennye-na-razrabotku-post-kremnievoy-elektroniki-sleduyushchego-pokoleniya.html> (дата обращения: 04.10.2017).

10. Компания IBM разрабатывает компьютеры нового поколения // Ведомости. 2017. 7 марта. URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2017/03/07/680173-ibm-kompyuteri> (дата обращения: 04.10.2017).
11. Кузнецов В. IBM приступает к созданию первого в мире нейроморфного суперкомпьютера // Hi-News.ru. 2017. 26 июня. URL: <https://hi-news.ru/computers/ibm-pristupaet-k-sozdaniyu-pervogo-v-mire-nejromorfno-go-superkompyutera.html> (дата обращения: 04.10.2017).
12. Ларионов В. К 2018 г. IBM выпустит суперкомпьютер мощностью в 200 Пфлопс // Hi-News.ru. 2016. 27 июня. URL: <https://hi-news.ru/computers/k-2018-godu-ibm-vypustit-superkompyuter-moshhnostyu-v-200-petaflops.html> (дата обращения: 04.10.2017).
13. Опубликовано 47-я редакция списка самых высокопроизводительных суперкомпьютеров // OpenNET.ru. 2016. 20 июня. URL: <https://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=44630> (дата обращения: 04.10.2017).
14. Опубликовано 48-я редакция списка самых высокопроизводительных суперкомпьютеров // OpenNET.ru. 2016. 14 ноября. URL: <https://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=45490> (дата обращения: 04.10.2017).
15. Опубликовано 49-я редакция списка самых высокопроизводительных суперкомпьютеров // OpenNET.ru. 2017. 24 июня. URL: <https://www.opennet.ru/opennews/art.shtml?num=46755> (дата обращения: 04.10.2017).
16. Проекты нейроморфного моделирования // Nanonewsnet.ru. 2016. 27 мая. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/articles/2016/proekty-neiromorfno-go-modelirovaniya> (дата обращения: 04.10.2017).
17. Рыбак Э. Генетические и клеточные биокомпьютеры // PC Week/RE ("Компьютерная неделя"). 2003. 27 мая. С. 32. URL: <https://www.itweek.ru/themes/detail.php?ID=64496> (дата обращения: 04.10.2017).
18. Суперкомпьютер на базе IBM POWER детально воссоздал внешнюю оболочку Земли и движение тектонических плит // Пресс-релиз. 2015. 23 ноября. URL: <https://www-03.ibm.com/press/ru/ru/pressrelease/48305.wss> (дата обращения: 04.10.2017).
19. Суперкомпьютер IBM Watson стал способен определить индивидуальность каждого человека // DailyTechInfo. 2015. 27 июля. URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/7225-superkompyuter-ibm-watson-stal-sposoben-opredelit-individualnost-kazhdogo-cheloveka.html> (дата обращения: 04.10.2017).
20. Эксафлопные технологии. Концепция по развитию технологии высокопроизводительных вычислений на базе суперЭВМ эксафлопного класса (2012–2020 гг.) // Госкорпорация "Росатом". 2012. С. 38. URL: http://filearchive.cnews.ru/doc/2012/03/esk_tex.pdf (дата обращения: 04.10.2017).
21. Япония планирует создание медицинского суперкомпьютера с системой искусственного интеллекта, возможности которого превысят возможности IBM Watson // DailyTechInfo. 2016. 27 октября. URL: <http://www.dailytechinfo.org/infotech/8601-yaponiya-planiruet-sozdanie-medicinskogo-superkompyutera-s-sistemoy-iskusstvennogo-intellekta-vozmozhnosti-kotorogo-prevysyat-vozmozhnosti-ibm-watson.html> (дата обращения: 04.10.2017).
22. IBM и ВВС США разрабатывают нейроморфный суперкомпьютер нового поколения // Хабрахабр. 2017. 15 июля. URL: <https://habrahabr.ru/company/ibm/blog/333378/> (дата обращения: 04.10.2017).
23. Bhavsar V.C. Parallel Computing: Past, Present and Future // 2017. February 7. P. 94. URL: https://www.cdac.in/index.aspx?id=edu_acts_Day1_Session2 (дата обращения: 04.10.2017).
24. Bornholt J., Lopez R., Douglas D., Carmean M., Ceze L., Seelig G. A DNA-Based Archival Storage System // University of Washington & Microsoft Research. 2016. URL: <https://homes.cs.washington.edu/~luisceze/publications/dnastorage-aspl0s16.pdf> (дата обращения: 04.10.2017).
25. Building living, breathing supercomputers // Science News. 2016. February 26. URL: <http://esciencenews.com/articles/2016/02/26/building.living.breathing.supercomputers> (дата обращения: 04.10.2017).

-
26. China aims to build world's first exascale supercomputer prototype by end of 2017 // The Verge. 2017. January 19. URL: <https://www.theverge.com/2017/1/19/14321832/china-exascale-supercomputer-prototype-2017> (дата обращения: 04.10.2017).
27. Department of Energy Awards Six Research Contracts Totaling \$258 Million to Accelerate U.S. Supercomputing Technology // Department of Energy. 2017. June 15. URL: <https://energy.gov/articles/department-energy-awards-six-research-contracts-totaling-258-million-accelerate-us> (дата обращения: 04.10.2017).
28. *Dongarra J.* Report on the Sunway TaihuLight // Tech Report UT-EECS-16-742 – University of Tennessee. 2016. June 24. URL: <http://www.netlib.org/utk/people/JackDongarra/PAPERS/sunway-report-2016.pdf> (дата обращения: 04.10.2017).
29. *Fadilpašić S.* IBM Summit will be the world's fastest supercomputer // Beta news. 2016. June 28. URL: <https://betanews.com/2016/06/28/ibm-summit-worlds-fastest-supercomputer/> (дата обращения: 04.10.2017).
30. National Strategic Computing Initiative Strategic Plan // 2016. July. URL: https://www.whitehouse.gov/sites/whitehouse.gov/files/images/NSCI%20Strategic%20Plan_20160721.pdf.pdf (дата обращения: 04.10.2017).
31. Planning Outline for the Construction of a Social Credit System (2014–2020) // China Copyright and Media. 2015. April 25. URL: <https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2014/06/14/planning-outline-for-the-construction-of-a-social-credit-system-2014-2020/> (дата обращения: 05.10.2017).
32. Scientists reveal new super-fast form of computer that 'grows as it computes' // The University of Manchester. 2017. March 1. URL: <http://www.manchester.ac.uk/discover/news/scientists-reveal-new-super-fast-form-of-computer-that-grows-as-it-computes> (дата обращения: 04.10.2017).
33. *Sullivan D.* IBM Awarded \$325 Million to Develop Open POWER-based Systems // Cloudwards.net. 2014. November 14. URL: <https://www.cloudwards.net/news/ibm-awarded-325-million-to-develop-open-power-based-systems-5482/> (дата обращения: 04.10.2017).
34. TOP500. Supercomputer Sites. URL: <https://www.top500.org/> (дата обращения: 04.10.2017).
35. *Tung L.* US's latest buy? A 5.34 petaflop supercomputer to predict freak storms, wildfires // 2016. January 12. URL: <http://www.zdnet.com/article/uss-latest-buy-a-5-34-petaflop-supercomputer-to-predict-freak-storms-wildfires/> (дата обращения: 04.10.2017).
36. 国务院关于印发社会信用体系建设 规划纲要（2014–2020年）的通知 // 2014年06月27日. URL: http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-06/27/content_8913.htm (дата обращения: 05.10.2017).