УДК 004.9:65.011.56:378.4

ЗАЧЕМ СУПЕРКОМПЬЮТЕР ДАЛЬНЕВОСТОЧНОМУ ФЕДЕРАЛЬНОМУ УНИВЕРСИТЕТУ?

**Шаповалова К.В., Андриющенко П.Д., Нефедев К.В., Белоконов В.И.,
Афремов Л.Л., Чеботарев А.Ю., Ковтанюк А.Е.**

*ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Школа естественных наук,
Владивосток, e-mail: Shapovalova.kv@mail.dvfu.ru*

В статье рассматриваются возможности, которые могут предоставить суперкомпьютерные технологии современному университету. Выполнен сравнительный анализ современных университетов на основании рейтинговых систем QS World University Rankings, Топ 100 университетов России, который показал, что для занятия университетом высоких позиций в рейтинге наличие суперкомпьютерного оборудования является необходимым. Для каждой школы Дальневосточного федерального университета были представлены новые научные направления, которые университет мог бы развивать, если бы высокопроизводительное оборудование имелось в наличии. Продемонстрированы выгоды, которые могли бы получить город Владивосток, Приморский край, Дальневосточный регион от развития суперкомпьютерного научного направления и целевой подготовки кадров в этой области для своих нужд и своего опережающего развития в XXI, информационном веке.

Ключевые слова: суперкомпьютер, суперкомпьютерные технологии, новые суперкомпьютерные технологии, современное научно-образовательное учреждение, современный университет, наукоемкие образовательные технологии

WHY DOES FAR EAST FEDERAL UNIVERSITY NEED SUPERCOMPUTER?

**Shapovalova K.V., Andruschenko P.D., Nefedev K.V., Belokon V.I.,
Afremov L.L., Chebotarev A.Yu., Kovtanyuk A.E.**

*Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Far East Federal University,
School of natural sciences, Vladivostok, e-mail: Shapovalova.kv@mail.dvfu.ru*

The article discusses the opportunities that can be provided with supercomputer technology for the modern University. A comparative analysis of modern universities was made on the basis of the rating system QS World University Rankings, Top 100 universities in Russia which showed that the availability of supercomputing equipment was necessary for taking high positions in the ranking of University. The new research directions were presented for each school of Far Eastern Federal University that the University could develop if efficient equipment was available. Demonstrated benefits could be obtained with Vladivostok, Primorsky Krai, Far East region from the development of supercomputer research activities and targeted training in this area for their needs and their advanced development in the twenty-first, the information age.

Keywords: supercomputer, supercomputer technologies, new supercomputer technologies, modern scientific educational institutional, modern university, high educational technologies

«Зачем суперкомпьютер Дальневосточному федеральному университету?» — вопрос, на который хотело бы знать ответ руководство Дальневосточного федерального университета, потому что задача, поставленная перед руководством Российской Федерации — построить конкурентоспособный университет на Дальнем востоке, занимающий достойное место в рейтинге университетов мира. На сегодняшний день по всему миру существует огромное количество университетов. Но как это множество ранжировать, как университеты сравнивать между собой? Для ответа на этот вопрос различные организации стали составлять рейтинги университетов (Times Higher Education, QS World University Rankings, Best Global Universities, Academic Ranking of World Universities), и каждый университет стремится занять строчку повыше. Ос-

новными критериями оценки в рейтингах университетов являются открытия, престижные премии, публикации научных результатов, техническое оснащение, количество нобелевских лауреатов, работающих в вузе, публикации научных результатов. Но только современное научное оборудование дает возможности для открытий и стимулирует их.

В данной работе мы рассмотрим потенциальные выгоды, которые мог бы приобрести Дальневосточный федеральный университет при развитии суперкомпьютерного направления.

Статус и престиж университета

Современный гетерогенный вычислительный комплекс на базе процессоров, сопроцессоров и графических ускорителей представляет собой систему с чрезвычайно высокой вычислительной производитель-

ностью. Основная сфера применения этих систем – математическое моделирование физических, химических, биологических, социальных, экономических и любых других процессов, где предполагается обработка больших массивов данных. Переход на использование суперкомпьютеров для задач моделирования – это выход на новый уровень по скорости и эффективности работы, поэтому количество научных коллективов и частных компаний, использующих в своей работе суперкомпьютеры, постоянно растет в мире в целом и в России в частности.

В современном мире время играет не меньшую, а иногда даже и большую роль, чем деньги. Иногда время вообще становится единственным решающим фактором. Математическое моделирование и численные методы стали одним из способов радикально сократить затраты времени и финансовых средств на разработку новых технологий и продуктов [2, 4, 6].

Следует трезво оценивать экономическую эффективность использования суперкомпьютера. Создание и ввод в производственную эксплуатацию собственных вычислительных ресурсов для Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) не роскошь, а неизбежная в информационном веке необходимость. И так как ДВФУ позиционирует себя как международный научно-образовательный центр, который желает занять высокую строчку в мировых рейтингах университетов, в нем всегда есть задачи и проекты, требующие значительных вычислительных ресурсов.

Рейтинги лучших университетов мира регулярно составляются различными агентствами. На сегодняшний день один из самых весомых рейтингов является QS World University Ranking, который составляется компанией Quacquarelli Symonds (QS) [10]. Можно с полной уверенностью заявить, что сегодня нет университетов, имеющих высокие рейтинги QS, у которых бы отсутствовали современные вычислительные ресурсы, производительность которых ниже уровня требуемого современной наукой и образованием. Более того, поскольку мы живем в информационном веке, все университеты мира можно ранжировать по другой независимой и объективной системе, альтернативной QS, в которой рейтинг университета определялся не какими-то абстрактными требованиями, а количеством обрабатываемой (передаваемой, сохраняемой, генерируемой, модифицируемой и т.д.) информации за единицу времени всеми имеющимися в распоряжении сотрудников и студентов университета вычислительными устройствами. И вполне ожидаемо, что

результаты QS совпадают с производительностью суперкомпьютеров университетов (см. табл. 1, 2).

Сегодня суммарная пиковая производительность информационно-вычислительных ресурсов ДВФУ, доступная преподавателям и студентам, не превышает 39 Тфлопс (Тфлопс – величина, используемая для измерения производительности компьютеров, показывающая, сколько операций с плавающей запятой в секунду выполняет данная вычислительная система). Не может идти никакой речи о конкурентоспособности и взаимовыгодном сотрудничестве Дальневосточного федерального университета в сфере науки, образования и создания новых технологий, если университеты соседних стран (Китай, Корея и Япония), находящиеся в непосредственной близости к Владивостоку, обладают вычислительными ресурсами, позволяющими обработать информации за то же самое время в тысячи раз больше! Последнее может означать, что за то же самое время наши соседи, наши научные конкуренты решают в тысячи раз больше задач, которые могут быть решены в ДВФУ на имеющихся мощностях. Поэтому усовершенствование научно-технического задела и в части материально-технического обеспечения, и в части разработки современных программно-аппаратных средств, для последующего их использования в научной, научно-технической и образовательной деятельности Дальневосточного федерального университета является одной из ключевых проблем, которые предстоит решить ДВФУ, для достижения цели – топ 300 QS, утвержденной Президентом Российской Федерации.

Решение этой проблемы могло бы быть получено на базе современной лаборатории мирового класса. Вполне естественно, что в создании мультидисциплинарной лаборатории «высокопроизводительных компьютерных систем», которая может обеспечить в будущем вычислительными, образовательными и научными ресурсами весь Дальневосточный федеральный университет, именно представители естественных и инженерных наук испытывают острую нехватку информационно-производственных мощностей.

Суперкомпьютерные технологии в учебном процессе представляются наиболее эффективным способом вовлечения студентов в реальную практику научных исследований. Такой подход развивается в ведущих университетах РФ и мира [13]. По данным табл. 1 видно, что суперкомпьютер, который имеет ДВФУ, не входит в рейтинг 50 лучших суперкомпьютеров

России. Его мощность в сотни раз меньше мощности суперкомпьютера МГУ им. Ломоносова и в десятки раз меньше других суперкомпьютеров, которые входят в данный рейтинг. Из табл. 1 также видно, что место в рейтинге 100 лучших университетов России явно коррелирует с положением в рейтинге суперкомпьютеров в топ 50 суперкомпьютеров России.

Моделирование с помощью суперкомпьютеров применяется в самых разных проектах, как чисто научных (модели-

рование природных процессов, исследования космоса, моделирование ядерных взрывов, исследования в области биологии, включая моделирование работы органов человека, фармакологии и во многих других областях), так и вполне прикладных – например, обкатка новой модели двигателя для автомобиля, моделирование процессов деформации, температурных режимов и пр. Также суперкомпьютеры значительно ускоряют решение задач численными методами [3].

Таблица 1

Краткий рейтинг университетов Российской Федерации по имеющимся суперкомпьютерным мощностям

Место в рейтинге Топ 50 суперкомпьютеров РФ	Университет	Кол-во CPU/ядер	Производительность (Тфлопс)		Место в рейтинге	
			Linpack	Пиковая	Топ 100 университетов России	Рейтинг QS
1	Московский государственный университет им. Ломоносова, Москва	1472/42688	2102,00	2962,30	1	108
3	Санкт-Петербургский политехнический университет, Санкт-Петербург	1424/19936	658,11	829,34	11	411–420
7	Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород	360/30760	289,50	573,00	28	411–420
8	Южно-Уральский государственный университет, Челябинск	768/28032	288,20	473,64	57	411–420
20	Томский государственный университет, Томск	1330/6384	78,29	106,82	13	377
	Дальневосточный федеральный университет, Владивосток	120/480	2,5	39	37	551–600

Примечание. Источник: [7–9].

Таблица 2

Краткий рейтинг университетов мира по имеющимся суперкомпьютерным мощностям

Место в рейтинге топ 500 суперкомпьютеров мира	Университет	Кол-во ядер	Производительность (Тфлопс)	
			Linpack	Пиковая
5	RIKEN Advanced Institute for Computational Science (AICS), Япония, г. Кобе	705024	10510,0	11280,4
10	King Abdullah University of Science and Technology, Саудовская Аравия, г. Джедда	196608	5537,0	7235,2
26	Information Technology Center, Nagoya University, Япония, г. Нагоя	92160	2910,0	3244,0
31	Tokyo Institute of Technology, Япония, г. Токио	74520	2785,0	5617,5
38	National Institute for Fusion Science, Япония, г. Токио	82944	2376,0	2621,0
41	Московский государственный университет им. Ломоносова, Россия, г. Москва	42688	2102,00	2962,30

Примечание. Источник [8].

Возможная польза от суперкомпьютерных технологий для ДВФУ

Поскольку место в данной публикации ограничено, очень кратко перечислим какие потенциальные преимущества могла бы получить каждая школа Дальневосточного федерального университета от развития суперкомпьютерных технологий на базе вуза.

Школа биомедицины

Биоинформатика и моделирование лекарственных препаратов являются одними из самых быстрорастущих областей, где существует острая необходимость использования высокопроизводительных вычислений на суперкомпьютерах. Актуальность таких исследований состоит в том, что прорывы в сфере новых методов медицинской диагностики, лечения, создания новых лекарств и т.д. возможны только с развитием новых вычислительных моделей и платформ, учитывающих специфику биомедико-фармацевтических задач [1].

Одной из самых важных задач в медицине, где используется суперкомпьютер, ведущие биологи и врачи считают разработку лекарственных препаратов, где начальный этап упрощается за счет применения методов компьютерного молекулярного моделирования. Исходя из этого, применение суперкомпьютеров для разработки лекарств не только может дать мощный толчок для дальнейшего ускоренного развития биофармацевтики, но и может повысить эффективность создания новых лекарственных препаратов, что в результате должно привести к существенному удешевлению лекарств [6].

Кардинально меняются возможности диагностических процессов как в осмыслении результатов известных инструментальных методов типа МРТ, так и возможности прогнозирования развития патологий в большой совокупности влияющих факторов посредством имитационного моделирования. Например: исследование процесса циркуляции крови для нахождения причин новообразований, представляющих угрозу для человеческой жизни; исследование процесса инфицирования для более глубокого понимания того, как атакует вирус. Ко всему прочему стоит прибавить моделирование возможности смешивания биологических материалов с пластиком или керамикой с целью создания более прочных протезов.

Огромный объем данных полученных при исследованиях связанных с раковыми заболеваниями суперкомпьютер может обрабатывать за короткий период времени. С помощью суперкомпьютера исследователи могут

получить более полное представление о механизмах, которые приводят к генетической нестабильности и в конечном счете к болезням.

Школа естественных наук

Области применения суперкомпьютера в естественных науках практически необъятны, они включают исследования начиная с самого маленького масштаба – исследования элементарных частиц, атомов, их превращения и заканчивая глобальными масштабами вселенной. Применение суперкомпьютеров позволит значительно расширить диапазон проводимых научных исследований в области естественных наук. Для решения задач в этих областях требуется разработка новых методов и подходов для проведения суперкомпьютерного моделирования с требованием высокой степени параллелизации алгоритмов, а также эффективного масштабирования проводимых вычислений на десятках и сотнях тысяч узлов.

Примером задач может быть работа, проведенная в 2015 году сотрудниками СПбПУ «Прямое численное моделирование взаимодействия ударной волны с турбулентным пограничным слоем в трансзвуковом потоке». Проще говоря, исследовалось то, как турбулентность влияет на крыло гражданского самолёта и как его сделать надёжным. Проблема в том, что, хотя математическая модель турбулентных течений и была разработана ещё в конце XIX века, решение соответствующих уравнений требует гигантских вычислительных мощностей. Если верить прогнозам, прямое численное моделирование (ПЧМ) обтекаемости автомобиля или самолёта целиком станет возможным лишь к концу этого века. И это при постоянно растущей мощи вычислителей. Тем не менее современные машины позволяют решать такие задачи хотя бы частично. На «Политехнике» (кластер «Торнадо») и суперкомпьютере Mira (6-е место в TOP 500 на текущий момент) было проведено такое моделирование, причём решение РСК оказалось почти на порядок эффективнее.

Уникальность данного расчёта в том, что использовалась сетка на 8,7 млрд ячеек – ничего подобного в России до сего момента не было. Столь большой размер сетки вызван тем, что типичный размер крыла исчисляется метрами, а размер самых маленьких вихрей (маленького турбулентного потока), которые необходимо смоделировать, – порядка одного микрометра. Для расчёта необходимо проделать от ста тысяч до одного миллиона итераций. Экспериментально столь высокую точность исследования получить невозможно. Расчёт методами молекулярной динамики занял две недели.

Если бы суперкомпьютер был полностью отдан в руки исследователей, то на расчёты ушло бы всего четыре дня [2].

Инженерная школа

Ярким примером применения суперкомпьютера в российской инженерии может служить использование суперкомпьютера в рыбном НПО «Сатурн». Сатурн разрабатывал новый двигатель для Sukhoi Superjet, и за счет суперкомпьютерного моделирования у них в разы сократилось количество натурных испытаний, а это больше 100 млн руб. на каждый опытный образец, сократился общий срок разработки [4].

В общем в инженерии область применения суперкомпьютера невероятно широка, и вот некоторые из них:

- 1) проектирование инженерных сооружений, автомобилей, судов и летательных аппаратов;
- 2) вычислительная гидродинамика (CFD);
- 3) проектирование электронных и полупроводниковых устройств;
- 4) различные задачи математической физики;
- 5) моделирование атмосферы и мирового океана, предсказание погоды;
- 6) бортовые, встроенные, real-time системы.

Школа гуманитарных наук

Имеется множество примеров различных проектов, где суперкомпьютеры применяются и в гуманитарных науках. Приведем некоторые из них.

18thConnect. Совместный проект с университетами Майами и Иллинойса, целью которого является создание первой в своем роде онлайн-базы данных культурологических материалов, изданных в XVIII веке. Актуальность проекта обусловлена тем, что существующие на данный момент базы данных исторических, литературных и философских произведений, датированных 1700–1800 годами, в большинстве своем являются коммерческими, источники оцифрованы в формате изображений, что негативно сказывается на поиске информации [12].

База данных карт колонизации Америки (CACD). Цифровые технологии позволяют обеспечить простой и удобный доступ к тысячам редких изображений с высокой детализацией. Основная задача CACD – предоставление ученым и студентам свободного доступа к бесплатной базе данных, позволяющей анализировать хранящиеся в ней карты в более широком географическом и историческом контексте. Помимо карт в CACD будут храниться сотни связанных с ними изображений уникальных материалов и рукописей. товары из

Германии Каждая запись в базе данных будет проиндексирована, что позволит пользователям проводить расширенный поиск, создавать коллекции карт с учетом особенностей исследований и упростит анализ и интерпретацию данных [12].

«Культурономика 2.0». Культурономика является одной из форм вычислительной лексикологии, которая изучает человеческое поведение и культурные тенденции при помощи количественного анализа оцифрованных текстов. Термин впервые был использован в статье Жана-Батиста Мишеля и Эреза Либермана Эйдена «Количественный анализ культуры с помощью миллионов оцифрованных книг», опубликованной в журнале Science в 2010 году. Гарвардские ученые Мишель и Эйден участвовали в создании сервиса Google Ngram, анализирующего частоту появления терминов в миллионах книг за заданный интервал времени. Основываясь на исследованиях коллег из Гарварда, ученые проанализировали миллионы новостных статей из печатных и электронных СМИ (включая телевизионные и радиостенограммы). В общей сложности было использовано около 100 миллионов статей. Анализ новостей осуществлялся по двум параметрам – настроению, «тональность» статьи (хорошая/плохая новость) и по географическому признаку – месту, где произошло событие. В результате команда смогла предсказать (правда, задним числом) события «Арабской весны» 2011 года и вычислить местонахождение «террориста номер один» Усамы бен Ладена с точностью до 200 километров.

По словам Калева Литару, руководителя проекта «Культурономика 2.0», результаты исследования являются наглядным примером того, что суперкомпьютеры способны определять уровень социальной напряженности в определенном регионе на основе анализа потока новостных сообщений.

Исследование «Культурономика 2.0» проводилось при помощи суперкомпьютера «Наутилус», расположенного в университете штата Теннесси и способного совершать 8,2 триллиона операций в секунду [12].

Школа искусства, культуры и спорта

Владимир Воеводин, заместитель директора по науке Научно-исследовательского вычислительного центра МГУ им. Ломоносова, рассказывает: «Спорт высоких достижений. Причем тут суперкомпьютеры? Так и здесь используются расчеты: каким образом одеть спортсмена, чтобы сопротивление воздуха было минимальным; каким образом должна быть устроена фигура спортсмена, для того чтобы результаты были оптимальными» [1].

Суперкомпьютер необходим и культуре. С его помощью можно восстанавливать уничтоженные документы и снимать фильмы. Именно суперкомпьютеры смоделировали спецэффекты для «Властелина колец» и «Шрека». Без них на расчет кадров пришлось бы потратить 20 млн часов. Можно сказать, что сегодня редко можно встретить фильм без суперкомпьютерной постобработки.

Школа экономики и менеджмента

В предупреждении взломов электронных почт и мошенничества в области финансовых операций суперкомпьютеры играют большую роль. Например, крупнейшая электронная платежная система PayPal обрабатывает более 13 миллионов финансовых операций в день. Для обеспечения безопасности был установлен суперкомпьютер. В первый год работы он анализировал большие данные PayPal и определил, что операции на \$170 млн были выполнены мошенниками, которые в противном случае не были бы замечены.

Юридическая школа

В США компания ROSS Intelligence разработала различные приложения для юристов, которые работают на суперкомпьютере IBM Watson. В начале 2015 года было представлено первое приложение для юристов и адвокатов с доступом к программному интерфейсу Watson. Приложение Ross, разработанное командой из Университета Торонто, позволяет задать системе юридический вопрос, ответ на который будет дан за считанное время после анализа и оценки тысяч юридических документов, нормативных актов и судебных дел. В качестве ответов Ross может предложить как цитаты, так и целые тексты для последующего прочтения, а также сформировать и представить рейтинг доверия.

Другие примеры юридических продуктов на базе Watson – приложение LegalOnRamp для работы с контрактами и система юридического искусственного интеллекта Intelligent Choice, внедрение которой позволяет наладить и сделать эффективными управленческие процессы, а также переложить на систему выполнение множества рутинных операций [14].

Школа педагогики

Наиболее распространенной областью применения суперкомпьютеров остается образование, второе место занимают различные исследования, все остальное, порядка 30% отводится на промышленность, финансы и др.

Одним из самых крупных международных проектов является OpenCirtus. Его

цель – создание открытого испытательного стенда на базе распределенных центров обработки данных, который призван поддерживать разработчиков, как прикладных, так и системных программных средств в новой инновационной области «облачных вычислений». Российская академия наук в рамках Программы «Университетский кластер», стала первой (июнь 2009) в Восточной Европе и седьмой в мире организацией, присоединившейся к программе OpenCirtus, став одним из семи «центров компетенции». В марте 2011 стала доступна бета-версия проекта. В нем обеспечивается возможность создания широкого спектра сервисов в рамках единой инфраструктуры, в том числе создание предметно-ориентированных web-лабораторий, например проведение вебинаров и визуализация результатов. Принципиально новая возможность создания сообществ профессионалов в специализированных областях, стандартизации используемого инструментария, форматов хранения данных. Принципиально новые возможности по передаче знаний: лекции, семинары (практические занятия), лабораторные работы и др. Все это приводит к интеграции науки, образования и индустрии на новом технологическом уровне [5].

Возможная польза для города Владивостока и Дальневосточного региона

Какие же преимущества может получить город Владивосток, а также и весь Дальневосточный регион от использования суперкомпьютерных технологий?

В мире уже давно используют суперкомпьютеры и получают выгоду практически во всех областях жизни. Сбалансированность транспортной и социальной инфраструктур представляется необходимым условием долгосрочного устойчивого территориального и социально-экономического развития территории. Для формирования сбалансированного плана развития города необходим надёжный инструмент оценки последствий реализации того или иного градостроительного мероприятия и их совокупности.

Для оценки градостроительных мероприятий в области транспорта таким инструментом могут быть статические транспортные макромодели. Их особенность заключается в возможности моделирования транспортной ситуации на протяжённых участках транспортной сети (например, на улично-дорожной сети города, региона, страны или континента). При этом транспортный поток описывается в макроскопических моделях максимально упрощённо: для описания такого потока на каждом

участке транспортной сети используется лишь несколько его макроскопических характеристик, например скорость и интенсивность. Таким образом, автотранспортный поток считается равномерным и имеет постоянные характеристики на протяжении каждого участка дороги.

Таковы лишь некоторые преимущества от применения суперкомпьютеров в нашей повседневной жизни. Ясно, что высокопроизводительные вычисления помогли бы решать действительно серьезные проблемы и работать таким образом, чтобы улучшить мир, в котором мы живем.

Заключение

В случае с ДВФУ причинами существования факторов, ограничивающих развитие области информационных технологий, можно назвать отсутствие соответствующего оборудования, отсутствие необходимых курсов и спецкурсов для подготовки высококвалифицированных кадров из-за элементарного отсутствия материально-технического обеспечения и, в некоторой мере, непонимание указанным выше проблем.

Информационные технологии дают возможность повысить качество предоставления государственных услуг и поднять на новый уровень такие направления, как медицина и образование. Для России это означает также возможность применения новых форм организации работы, включая распределение задач между группами и работу вне офиса, и управления предприятиями с использованием систем планирования ресурсов предприятия (ERP), электронной бухгалтерии и документооборота, а также систем поддержки принятия решений. Переход к таким возможностям необходимо активно реализовывать на предприятиях всех ведущих секторов экономики, что позволит повысить производительность труда в экономике и более эффективно задействовать потенциал удаленных территорий.

Область информационных технологий в силу своей специфики находится на переднем крае внедрения инноваций в образовании и может выступать в качестве пилотной. Среди таких новаций необходимо отметить электронное обучение, широкое использование массовых открытых онлайн-курсов и виртуальные обучающие среды. В частности, необходимо развитие дистанционного образования и расширение использования онлайн-курсов в области образования в информационных технологиях, а также широкомасштабное включение курсов на русском языке в наиболее популярные мировые системы онлайн-обучения. Развитие российских платформ для онлайн-

образования является обязательным, поскольку модель коммерциализации части наиболее популярных зарубежных образовательных платформ предполагает продажу информации об обучающихся в иностранные коммерческие компании.

Список литературы

1. Владимир Воеводин: Вычислительный эксперимент фантастически удешевляет производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://narfu.ru/life/news/persona/?ELEMENT_ID=199084 (дата обращения: 20.10.16).
2. День открытых дверей в Суперкомпьютерном центре СПбГУ. Репортаж [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3dnews.ru/932221/page-2.html> (дата обращения: 15.10.16).
3. Зачем нужны суперкомпьютеры. Российский производитель суперкомпьютеров – компания «Т-Платформы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://smb.ixbt.com/articles/tehnologii-i-produkty/2016-02-14/zachem-nuzhny-superkompjutyery-rossijskij-proizvoditel-superkompjuterov--kompanija-tplatformy> (дата обращения: 25.09.16).
4. Лучше делить прибыль на двоих, чем убытки на одного [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vedomosti.ru/technology/characters/2015/09/14/608536-luchshe-delit-pribil-na-dvoih> (дата обращения: 19.09.16).
5. Отчет о конференции «Облачные вычисления. Образование. Исследования. Разработка» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.unicluster.ru/events/32-report-conference-cloud-computing-2011.html> (дата обращения 15.11.2016).
6. Применение суперкомпьютеров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ti-sys.tradition.ru/articles/174/7553/> (дата обращения 20.10.16).
7. Рейтинг 100 лучших вузов России составлен и уже названы лидеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solnca-net.com/science/reiting-vuzov-rossii-19903.html> (дата обращения: 18.10.16).
8. Рейтинг лучших университетов мира по версии QS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2016> (дата обращения: 18.10.16).
9. Рейтинг суперкомпьютеров Российской Федерации. Top-50 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://top50.supercomputers.ru/?page=gating> (дата обращения: 18.10.16).
10. Родионов Д.Г., Кушнев О.А., Рудская И.А. Рейтинг университетов как инструмент в конкурентной борьбе на мировом рынке образовательных услуг // Инновации. – 2013. – № 11 (181). – С. 89–97.
11. Стратегия развития отрасли информационных технологий в Российской Федерации на 2014–2020 годы и на перспективу до 2025 года: распоряжение правительства Российской Федерации от 01 ноября 2013 г. № 2036-р г. Москва.
12. Суперкомпьютеры для гуманитарных наук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.supercomputers.ru/index.php?option=com_k2&view=item&id=341:%D1%81%D1%83%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%8C%D1%8E%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%8B-%D0%B4%D0%BB%D1%8F-%D0%B3%D1%83%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85-%D0%B%D0%B0%D1%83%D0%BA (дата обращения: 25.09.16).
13. Хоперсков А.В. Внедрение суперкомпьютерных технологий в образовательный процесс по направлению «Информатика и вычислительная техника» // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 6: Университетское образование. – 2012. – № 13. – С. 62–68.
14. Юристы и искусственный интеллект от IBM: конкуренты или коллеги? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://blog.casebook.ru/2015/08/21/%D0%B8%D1%81%D0%BA%D1%83%D1%81%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9-%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82-%D0%BE%D1%82-%D0%BF%D0%BE%D0%BE%D0%BE%D1%89%D1%8C/> (дата обращения: 18.10.16).
15. Su, Xiaoquan, Jian Xu, and Kang Ning. «Parallel-META: A high-performance computational pipeline for metagenomic data analysis». 2011 IEEE International Conference on Systems Biology (ISB). IEEE, 2011.