

Чем суперкомпьютеры помогут России?



Алексей Шмелев,
Исполнительный директор
Группа компаний РСК

Высшая Школа Экономики
16 марта 2015 г.

- Что такое суперкомпьютер?
- История суперкомпьютеров
- Единицы измерения
- Зачем нужен суперкомпьютер?
- Лучшие суперкомпьютеры мира
- Суперкомпьютеры в России
- Рост производительности
- Тренды развития
- Проблематика и пути решения
- Сделано в России
- Примеры использования в РФ
- Чем суперкомпьютеры помогут России?



Что такое суперкомпьютер?

Суперкомпьютер (англ. *Supercomputer*) — очень мощная специализированная вычислительная машина, значительно превосходящая по своим техническим параметрам и скорости вычислений большинство существующих в мире компьютеров*.

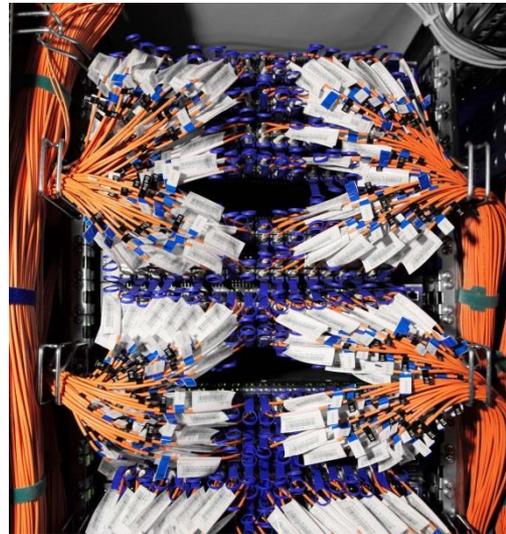
* Источник: Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/Суперкомпьютер>



Современный суперкомпьютер – это совокупность большого числа (сотни или тысячи) высокопроизводительных серверов (узлов), соединённых друг с другом высокопроизводительным межсоединением (кластер) для достижения максимальной производительности путем распараллеливания вычислительных задач.



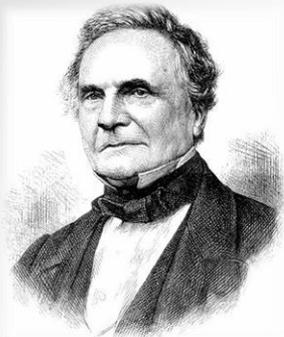
Вычислительный узел «РСК Торнадо» с жидкостным охлаждением



Высокоскоростные межсоединения



Вычислительный шкаф «РСК Торнадо»



Чарльз Бэббидж

Малая разностная машина, 1822 г.



Конрад Цузе

Z3 — первая полнофункциональная программно-управляемая и свободно программируемая в двоичном коде с плавающей точкой вычислительная машина, 1941 г.



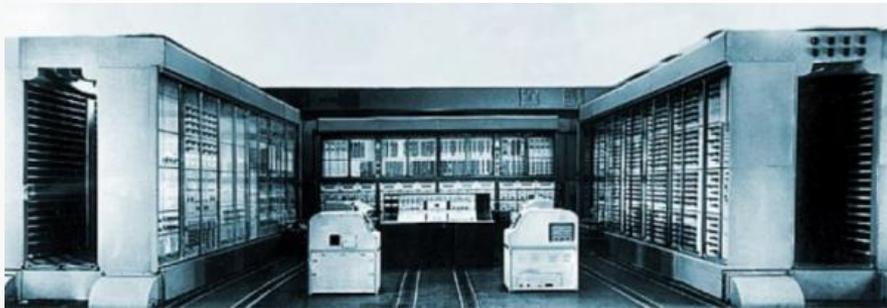
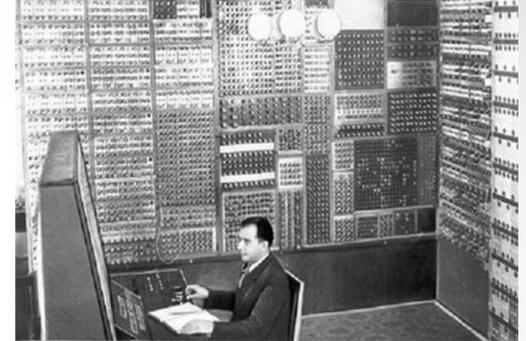
Сеймур Крей

Cray-1 — первый компьютер, построенный по кластерной технологии, 1976 г.





Сергей Александрович Лебедев
Малая электронная счетная машина
(МЭСМ), 1948 г.



ЭВМ «Стрела», 1950 г.



ЭВМ БЭСМ-6, 1968 г.



ЭВМ МИР-2, 1968 г.

И многие, многие, другие ...

FLOPS (также flops, flop/s, ФЛОПС ФЛОП/с) (акроним от англ. **F**loating-**p**oint **O**perations **P**er **S**econd) — внесистемная единица, используемая для измерения производительности компьютеров, показывающая, сколько операций с плавающей запятой в секунду выполняет данная вычислительная система.*

$$\begin{array}{r}
 \times 123 \\
 \times 456 \\
 \hline
 738 \\
 + 615 \\
 492 \\
 \hline
 56088
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \times 456 \\
 \times 123 \\
 \hline
 1368 \\
 + 912 \\
 456 \\
 \hline
 56088
 \end{array}$$

**Зачем же нужен
суперкомпьютер?**

Основы современной науки, исследований и инженерных разработок

Эксперимент, Наблюдение



Теория

$$\frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_r}{\partial \phi} - \frac{u_\theta^2 + u_\phi^2}{r} = -\frac{\partial p}{\partial r} + \rho g_r$$

$$\frac{1}{\sin(\phi)^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r^2 \sin(\phi)} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\sin(\phi) \frac{\partial u_r}{\partial \phi} \right) - 2 \frac{u_r + \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + u_\phi}{r^2}$$

$$\frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \phi} + \frac{u_r u_\theta + u_\theta u_\phi \cot(\phi)}{r} = -\frac{1}{r \sin(\phi)} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \rho g_\theta$$

$$\frac{1}{\sin(\phi)^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r^2 \sin(\phi)} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\sin(\phi) \frac{\partial u_\theta}{\partial \phi} \right) + \frac{2 \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + 2 \cos(\phi)}{r^2 \sin(\phi)}$$

$$\frac{\partial u_\phi}{\partial \theta} + \frac{u_\phi}{r} \frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} + \frac{u_r u_\phi - u_\theta^2 \cot(\phi)}{r} = -\frac{1}{r} \frac{\partial p}{\partial \phi} + \rho g_\phi$$

$$\frac{1}{\sin(\phi)^2} \frac{\partial^2 u_\phi}{\partial \theta^2} + \frac{1}{r^2 \sin(\phi)} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(\sin(\phi) \frac{\partial u_\phi}{\partial \phi} \right) + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \phi} - \frac{u_\phi + \dots}{r}$$

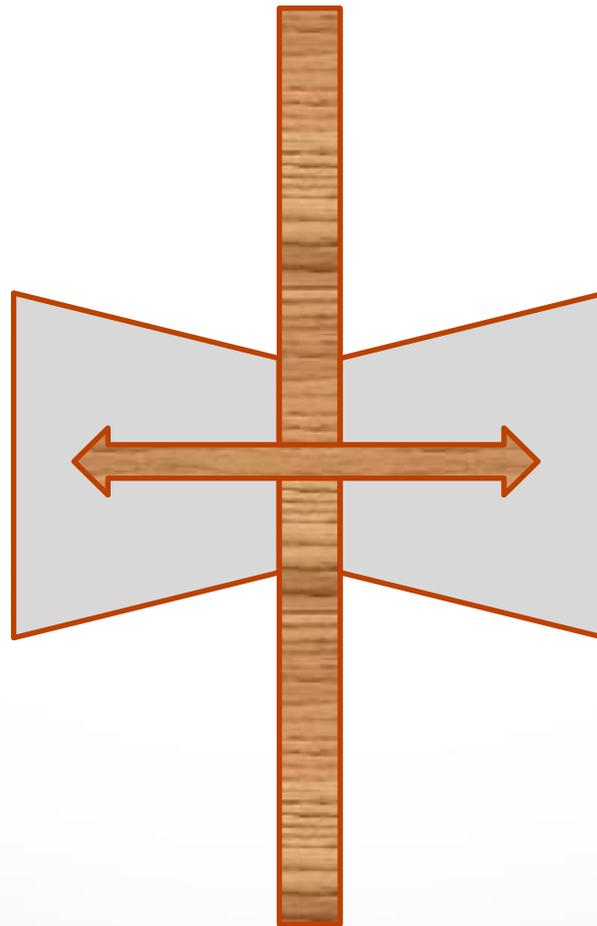
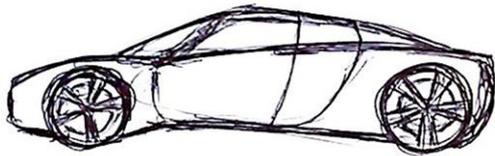
Численное моделирование



$$\frac{2\pi(\phi) \partial \theta}{I \partial \theta} + \frac{1}{I} \frac{2\pi(\phi) \partial \phi}{\partial \phi} \left(\frac{2\pi(\phi) \partial \phi}{\partial \phi} \right) + \frac{1}{I} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} - \frac{1}{I} \frac{\partial \theta}{\partial \phi} + \frac{1}{I} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} + \frac{1}{I} \frac{\partial \theta}{\partial \phi} + \frac{1}{I} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = -\frac{1}{I} \frac{\partial \theta}{\partial \phi} + \dots$$

Психика

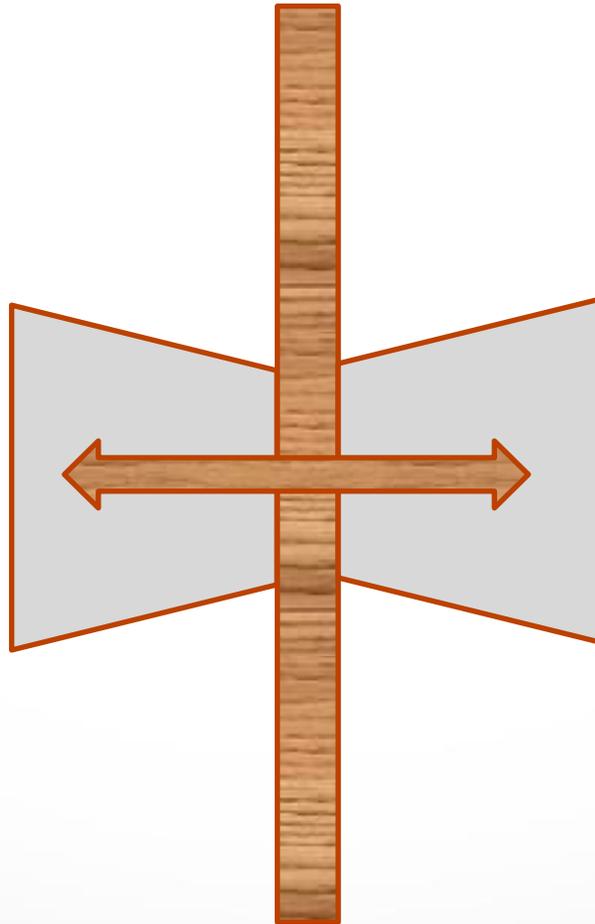
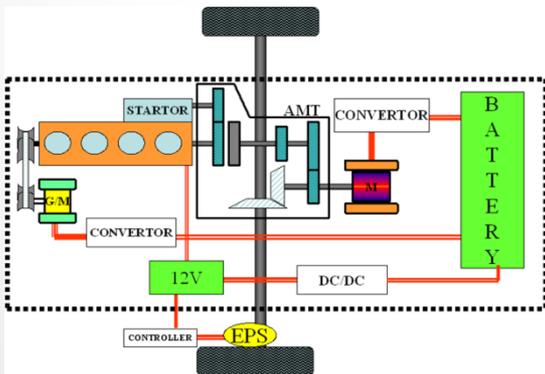
Реальный мир



- Точность модели (количество деталей)
- Скорость обработки
- Повторяемость расчета

Компьютерный мир

Реальный мир



Истоки:

- расчет обтекания крыла боевых самолетов
- расчёты по ядерному и термоядерному оружию
- ядерные реакторы

С ростом возможностей рождаются новые научные дисциплины:

- численный прогноз погоды,
- биоинформатика и вычислительная медицина,
- вычислительная химия,
- вычислительная гидродинамика,
- вычислительная лингвистика и проч.,

Выходят на новый уровень сложившиеся:

- прочностные расчеты
- наука о материалах
- электроника
- и др.

Математические проблемы	<ul style="list-style-type: none"> • Криптография • Статистика
Вычислительная биология	<ul style="list-style-type: none"> • Фолдинг белка • Расшифровка ДНК
Вычислительная химия, Медицина	<ul style="list-style-type: none"> • Поиск и создание новых лекарств
Физика высоких энергий, Оборона, Энергетика	<ul style="list-style-type: none"> • Процессы внутри атомного ядра • Физика плазмы • Анализ данных экспериментов, проведенных на ускорителях • Разработка и совершенствование атомного и термоядерного оружия • Моделирование ядерных испытаний • Моделирование жизненного цикла ядерных топливных элементов • Проекты ядерных и термоядерных реакторов
Наука о Земле	<ul style="list-style-type: none"> • Прогноз погоды, состояния морей и океанов • Предсказание климатических изменений и их последствий • Исследование процессов, происходящих в земной коре, для предсказания землетрясений и извержений вулканов • Анализ данных геологической разведки для поиска и оценки нефтяных и газовых месторождений • Моделирование процесса выработки месторождений • Моделирование растекания рек во время паводка, растекания нефти во время аварий
Физика, Прикладные задачи в промышленности, Строительство	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Газодинамика</i>: турбины электростанций, горение топлива (авто-, авиа- и ракетные двигатели), аэродинамические процессы для создания совершенных форм крыла, фюзеляжей самолетов, ракет, кузовов автомобилей • <i>Гидродинамика</i>: течение жидкостей по трубам, по руслам рек • <i>Материаловедение</i>: создание новых материалов с заданными свойствами, анализ распределения динамических нагрузок в конструкциях, моделирование краш-тестов при конструировании автомобилей



Лучшие суперкомпьютеры мира

Рейтинг Top500, ноябрь 2014 г.



#2 - суперкомпьютер Titan

6 суперкомпьютеров в первой десятке,
37 в первой сотне, всего 231 система

США



№1 в списке,
7 суперкомпьютеров в первой сотне,
всего 61 система

#1 - суперкомпьютер Tianhe-2 (MilkyWay-2)

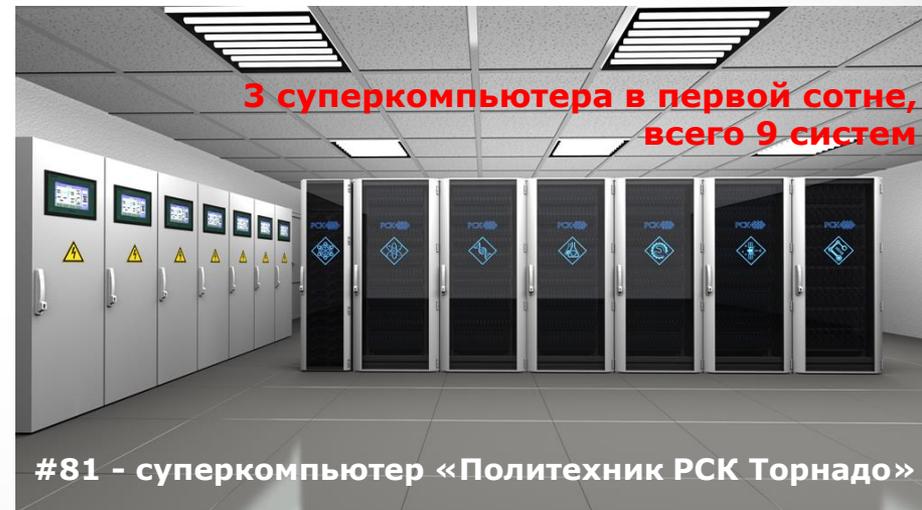
Китай



#4 - суперкомпьютер K computer

1 система в первой десятке,
10 суперкомпьютеров в первой сотне,
всего 32 системы

Япония

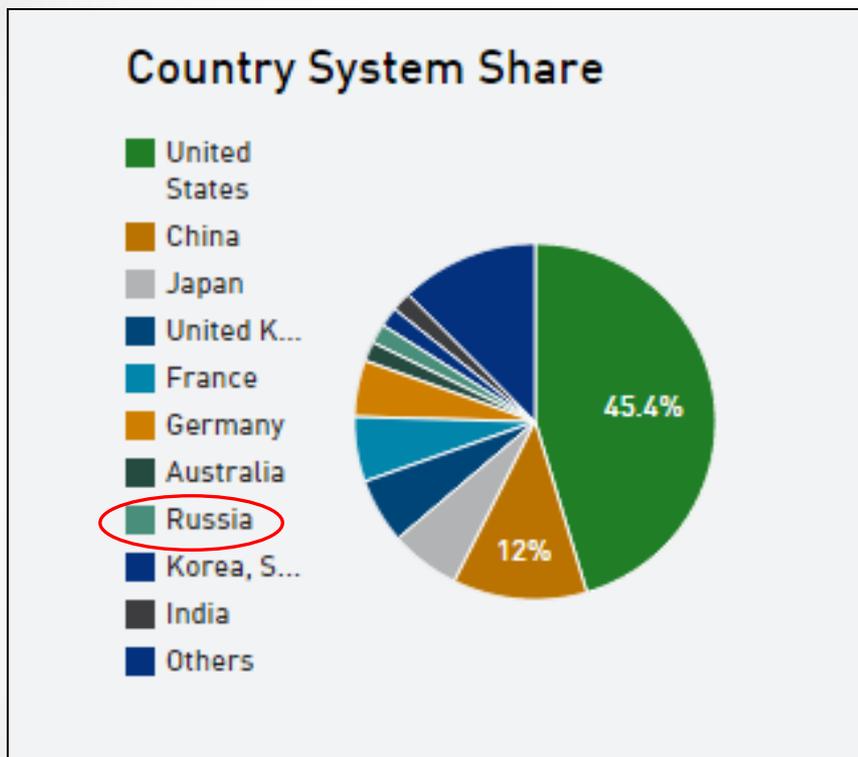


3 суперкомпьютера в первой сотне,
всего 9 систем

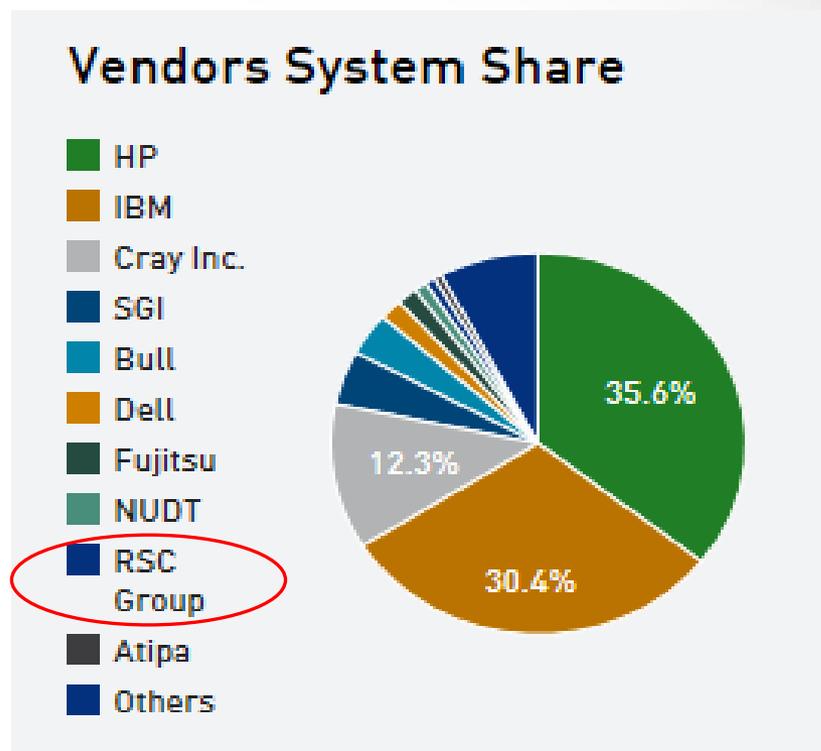
#81 - суперкомпьютер «Политехник РСК Торнадо»

Россия

Рейтинг Top500, ноябрь 2014 г.



Россия – менее 2% систем из списка Top500



Российская компания впервые вошла в Top10 мировых производителей (РСК - #9)

Основные суперкомпьютерные центры в России

Санкт-Петербург:

- Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбПУ)

Сибирь:

- ССКЦ Сибирское отделение РАН
- Тюменский государственный университет

Москва:

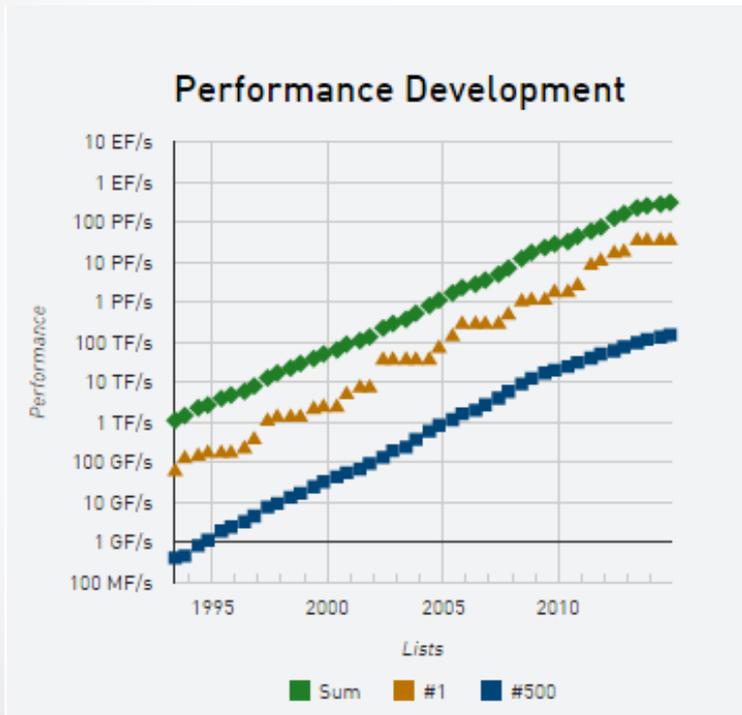
- МСЦ РАН
- Курчатовский институт
- Росгидромет
- МГУ

Урал:

- Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ)



Рост производительности суперкомпьютеров (скорости вычислений) происходит гораздо быстрее, чем в других областях.



XIX век	XXI век
Лошадь – км/ч	Ракета – км/сек
Печь – кВт	Электростанция – ГВт

- **Многоядерные процессоры**

- ⇒ Приложениям потребуется использовать миллионы потоков
- ⇒ Более мощные векторные команды/команды SIMD, ограниченные ресурсы памяти и уменьшенное время задержек
- ⇒ Сложная иерархия памяти, ограниченные возможности ввода/вывода

- **Массивно-параллельная система для удовлетворения потребностей экзафлопсного уровня**

- ⇒ Система для процессоров с большим количеством ядер
- ⇒ Архитектура, поддерживающая масштабирование вычислительных ресурсов, систем хранения данных и сетевых подсистем до решений экзафлопсного уровня

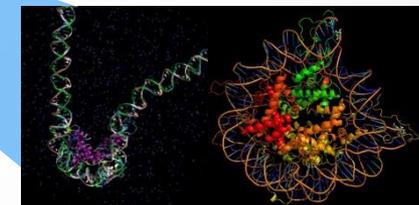
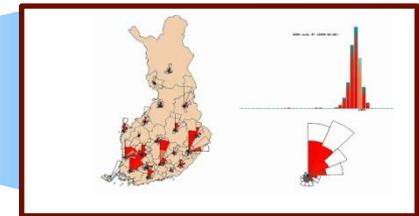
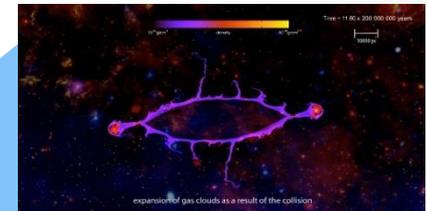
- **Защита инвестиций в ПО**

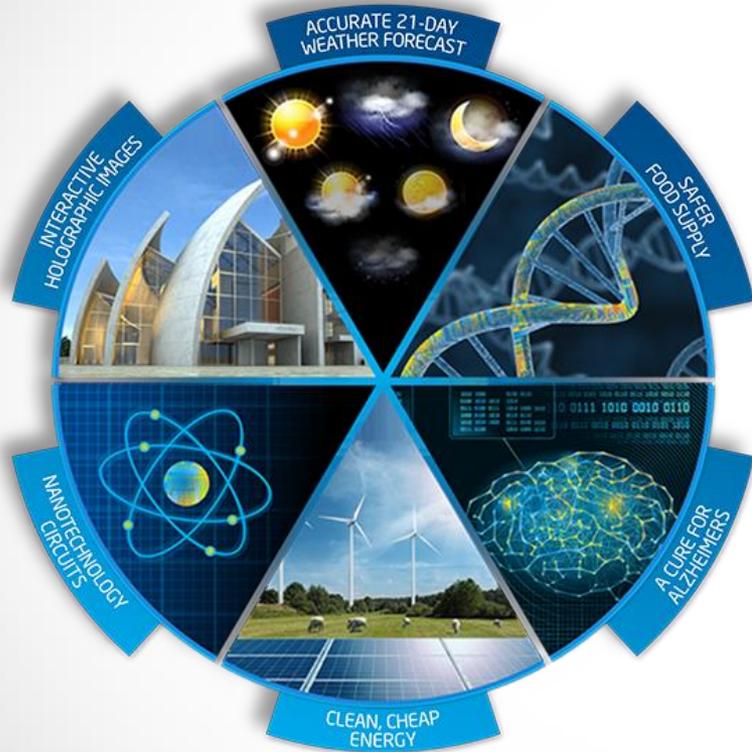
- ⇒ На базе стандартной архитектуры x86
- ⇒ Использование существующих моделей программирования, возможность использования имеющихся приложений
- ⇒ Защита инвестиций в оптимизацию ПО для будущих многоядерных платформ

Первое орудие
производства человека



Современный инструмент для
развития знаний и экономики





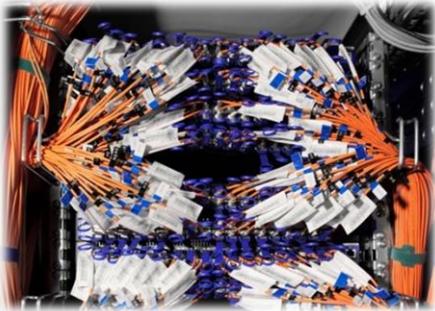
Постоянное развитие науки требует все больших и больших вычислительных ресурсов для моделирования и решения различных задач.



- **Обеспечение параллельной работы десятков-сотен тысяч вычислительных ядер**
- **Эффективный отвод тепла**
- **Компактный размер**
- **Высокоскоростные соединения**
- **Эффективные методы управления**



- Эффективное жидкостное охлаждение
- Компактный дизайн



- Высокоскоростное межсоединение (интерконнект)



- Единая точка мониторинга и управления
- Эффективное управление энергопотреблением



Сделано в России



- Российский разработчик и системный интегратор с 2009 г.
- Все центры разработки находятся в РФ
- Производится на российских предприятиях, интегрируется в России под ключ
- Уникальные технологии, не имеющие мировых аналогов или на уровне лучших в мире
- Защищено патентами РФ и международными
- Импортозамещение – система охлаждения, система мониторинга и управления, интегрированный стек ПО, эффективное электропитание и управление серверными фермами
- Готовность использовать отечественные процессоры («Эльбрус») и коммуникационные сети



Наши технологии и решения

Кластерная архитектура
«**PSK Торнадо**»



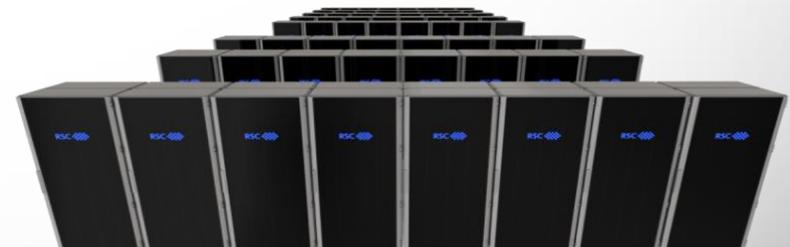
Массивно-параллельная
архитектура **RSC PetaStream**

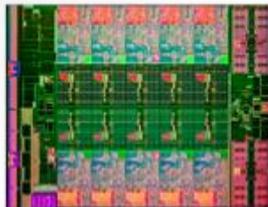


до **100 кВт** и 128 узлов
на шкаф 42U (1,28 м³)
269 ТФЛОПС



до **400 кВт** и 1024 узла
на шкаф (2,0 м³)
1,2 ПФЛОПС





Процессор

- Intel® Xeon® E5-2600 v3
- До 18 ядер x86 / 36 потоков
- 0.66 ТФЛОПС (пик. произ-ть)
- 68 Гб/с пик. пропускная способность памяти
- 45 МБ общей кеш-памяти



Вычислительный узел

- Двухпроцессорная конфигурация
- До 128 Гб DDR4-2133 памяти
- Интегрированный интерконнект InfiniBand FDR/QDR до 56 Гб/сек
- Дополнительный слот PCIe Gen3 x16
- Жидкостное охлаждение компонентов
- ОС: Linux, Windows
- Вирт.: Hyper-V, VMware, Xen, KVM



Пакет расширения PSK «Торнадо»:

- HPC Expansion Pack
- BigData Expansion Pack
- VDI Expansion Pack
- Security&Protection Expansion Pack
- Connectivity Expansion Pack
- SDM Expansion Pack
- и другие пакеты, доступные по запросу



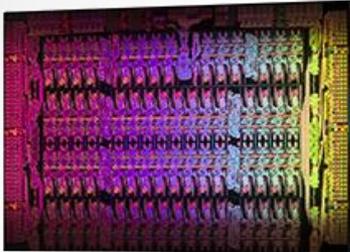
Кластерная система

- Идеальна для создания систем петафлопсного диапазона
- Расширяемая в соответствии с требованиями заказчиков
- Гибкие сетевые возможности
- Основана на широко доступных компонентах



Вычислительный шкаф

- Производительность до 269 ТФЛОПС или 128 самых быстрых серверов
- Процессоры Intel Xeon E5 2600 v3, готов к обновлению на семейство v4
- Полный интегрированный стек программного обеспечения «PSK БазиС», оптимизированный для высокопроизводительных вычислений
- Единая точка мониторинга и управления всей системой
- Занимаемая площадь 0.64 м²



Процессор

- Intel® Xeon Phi™
- 61 ядро x86 / 244 потока
- > 1,2 ТФЛОПС (пик. производительность)
- 352 ГБ/с пик. пропускная способность
- 30 МБ общей кеш-памяти

Вычислительный узел

- Intel® Xeon Phi™ 7120D
- Один процессор
- 16 ГБ памяти
- 64 Гбит/с пропускная способность подсистемы ввода/вывода
- Linux µOS

Вычислительный модуль

- 8 Вычислительных узлов
- Несколько вычислительных узлов
- > 200 Гбит/с пропускная способность подсистемы ввода/вывода
- Жидкостная система охлаждения
- Встроенная система управления
- Эффективное электропитание



Intel®
Cluster
Ready



Система

- Идеальна для создания суперкомпьютеров экзафлопного диапазона
- Надежная жидкостная система охлаждения РСК
- Линейно масштабируемая, в соответствии с требованиями заказчиков
- Гибкие сетевые возможности
- Основана на широко доступных стандартных компонентах

Шкаф

- Более 1,2 ПФЛОПС (пик. производительность)
- 250 тысяч потоков / 1024 узла
- До 400 кВт
- Встроенная система управления
- Занимаемая площадь 1 м²



Примеры использования в РФ

- Санкт-Петербургский политехнический университет (СПбПУ), 1,1 ПФЛОПС
- Российская академия наук (МСЦ РАН), 600 ТФЛОПС
- Южно-Уральский государственный университет (ЮУрГУ), 473,6 ТФЛОПС
- Росгидромет, 35 ТФЛОПС
- Московский физико-технический институт (МФТИ), 83,5 ТФЛОПС
- Авиационная промышленность, Энергетика, Компьютерная графика, Нефтегазовая отрасль
- ... и многие другие

Более 2,5 ПФЛОПС

Суммарная производительность инсталлированных суперкомпьютеров РСК с жидкостным охлаждением



- Самый современный и один из самых крупных в России вычислительных центров
- Суммарная пиковая производительность – более **1,1 ПФЛОПС**
- **Самая энергоэффективная система в России**
- **#21** в рейтинге **Green500**, **#81** в рейтинге **Top500**

Состав суперкомпьютера



- **«Политехник РСК Торнадо»:**

- Производительность – **830 ТФЛОПС**
- Новые процессоры Intel® Xeon® E5-2697 v3

- **«Политехник RSC PetaStream»:**

- Производительность – **270 ТФЛОПС**
- Процессоры Intel® Xeon Phi™ 5120D

Решение актуальных проблем в:

- механике,
- гидро- и аэродинамике,
- физике твердого тела и плазмы,
- материаловедении,
- электронике,
- вычислительной и квантовой химии,
- биофизике и биотехнологиях.

Проектирование новых образцов техники в:

- энергетич. машиностроении,
- самолетостроении,
- биотехнологиях,
- радиоэлектронике.



Суперкомпьютер СПбПУ





- Один из самых крупных в России вычислительных центров
- Суммарная пиковая производительность – более **600 ТФЛОПС**
- **#2 по энергоэффективности** в России
- **#3 в Top50, #75 в Green500, #133 в Top500**
- Крупнейшая в Европе и первая вне США система на базе Intel® Xeon Phi™

Состав суперкомпьютера



- **МВС-10П (РСК Торнадо):**

- Процессоры Intel® Xeon® E5-2690
- Сопроцессоры Intel® Xeon Phi™ SE10X

- **МВС-10П МП (RSC PetaStream):**

- Процессоры Intel® Xeon Phi™ 7120D
- Сервис-процессоры Intel® Xeon® E5-2600

Примеры решение актуальных задач:

- приложения с методами Monte-Carlo,
- приложения квантовой хромодинамики,
- расчет прогноза погоды WRF и др.



- Самый крупный региональный вычислительный центр в России
- Суммарная пиковая производительность – более **473 ТФЛОПС**
- **#3 по энергоэффективности** в России
- **#5 в Top50, #107 в Green500, #190 в Top500**
- Единственная университетская система на базе Intel® Xeon Phi™ в Европе

Состав суперкомпьютера

- **«РСК Торнадо ЮУрГУ»:**
 - Процессоры Intel® Xeon®
 - Сопроцессоры Intel® Xeon Phi™ SE10X



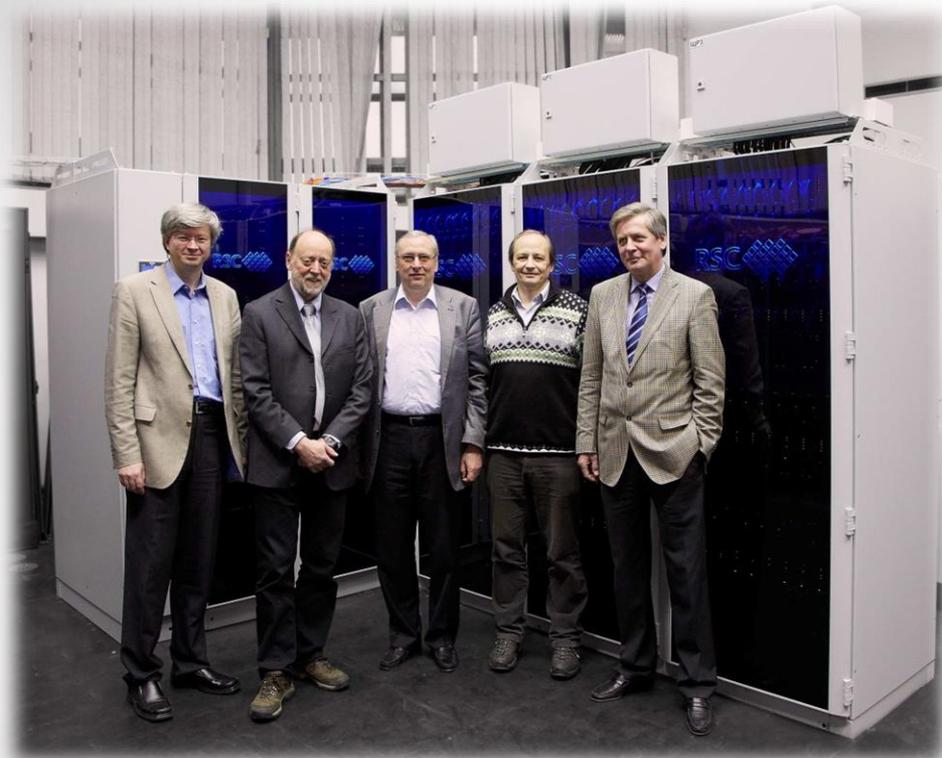
Intel®
Cluster
Ready

Более 350 примеров решения актуальных задач в промышленности:

- инженерные задачи в области машиностроения,
- металлургия и металлообработка,
- топливно-энергетический комплекс,
- легкая промышленность и др.



Экспертная оценка



«Южно-Уральский Государственный Университет и МСЦ РАН имеют современные вычислительные центры с компетентным персоналом, обслуживающим мощные и энергоэффективные суперкомпьютеры, занимающие высокие места в рейтингах Top500 и Green500. В этих вычислительных центрах используются системы на базе архитектуры RSC Торнадо с инновационным жидкостным охлаждением и новейшими сопроцессорами Intel Xeon Phi, которые обеспечивают высокую производительность и энергоэффективность, помогая решать сложные научно-исследовательские и инженерные задачи». – отметил **Джек Донгарра, ведущий мировой эксперт в области HPC и создатель рейтинга Top500.**



Чем суперкомпьютеры помогут России?

- Модернизировать российскую экономику – переход от ресурсной модели к наукоемкой и интеллектуальной
- Совершить прорывы и передовые открытия в фундаментальной и прикладной науке, лидерство в создании новой техники и развитие отечественного производства
- Повысить конкурентоспособность страны на мировом рынке
- Улучшить качество и продолжительность жизни, уровень благосостояния россиян
- Повысить национальную обороноспособность и безопасность
- Создать новые рабочие места
- Сократить «утечку мозгов» и вернуть лучшие умы в Россию



Контакты

Алексей Шмелев

Исполнительный директор

ЗАО «РСК Технологии»

alexeysh@rsc-tech.ru

Олег Горбачев

Директор по корпоративным
коммуникациям

oleg.gorbachov@rscgroup.ru



Спасибо

www.rscgroup.ru