

# Интернет Университет Суперкомпьютерных технологий

## Введение

Учебный курс

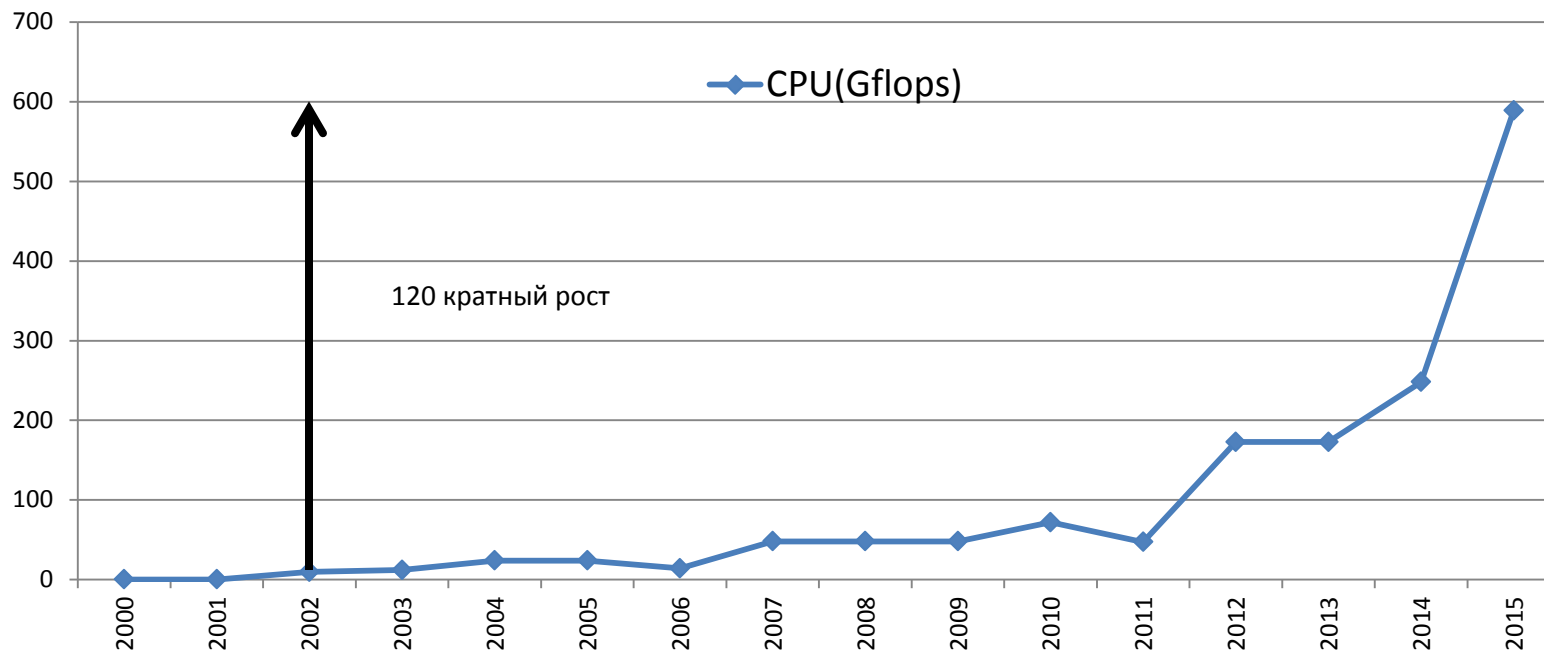
### *Введение в параллельные алгоритмы*

Якобовский М.В., проф., д.ф.-м.н.  
Институт прикладной математики  
им. М.В.Келдыша РАН, Москва

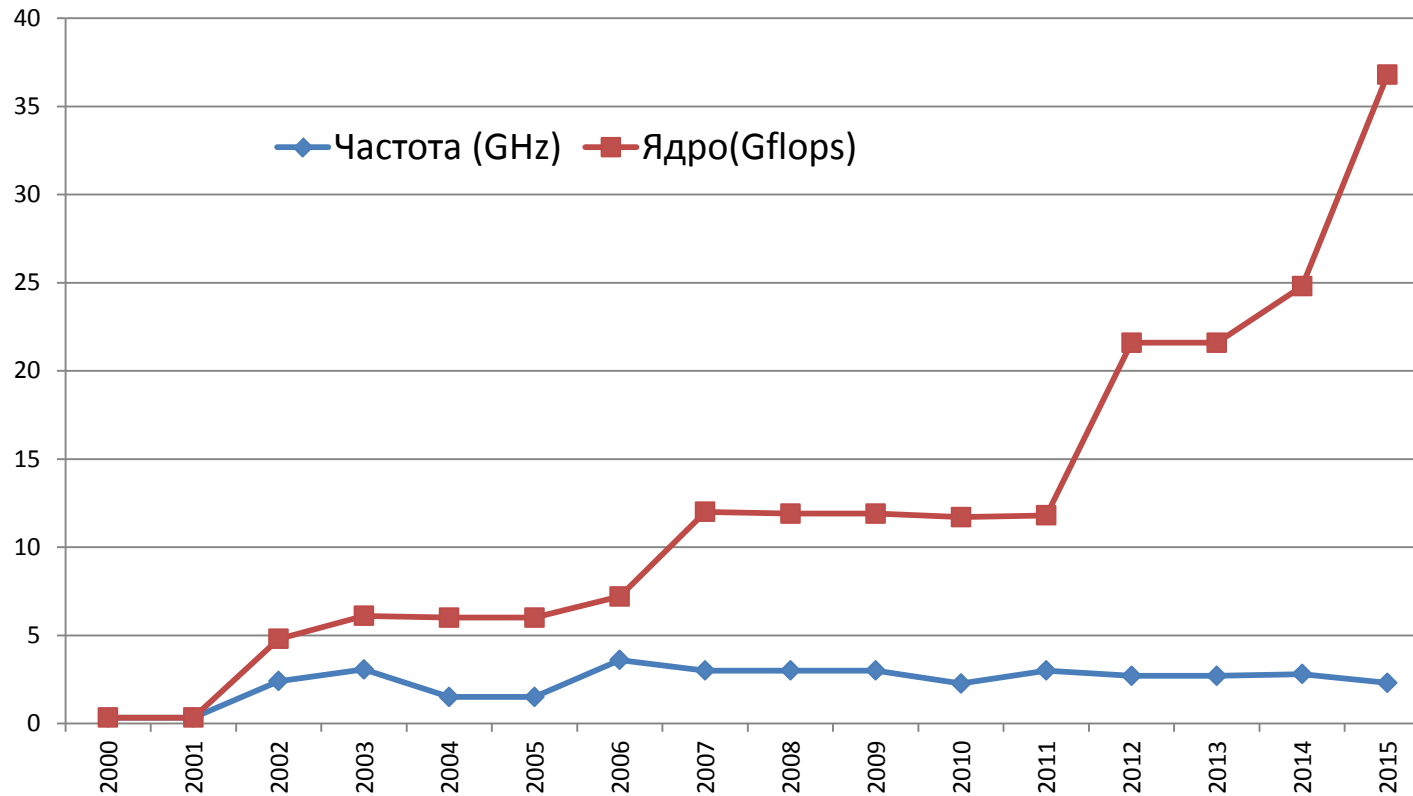
## Знакомство с методами разработки параллельных алгоритмов

Изучение свойств программ, выполняющихся на  
многопроцессорных вычислительных системах

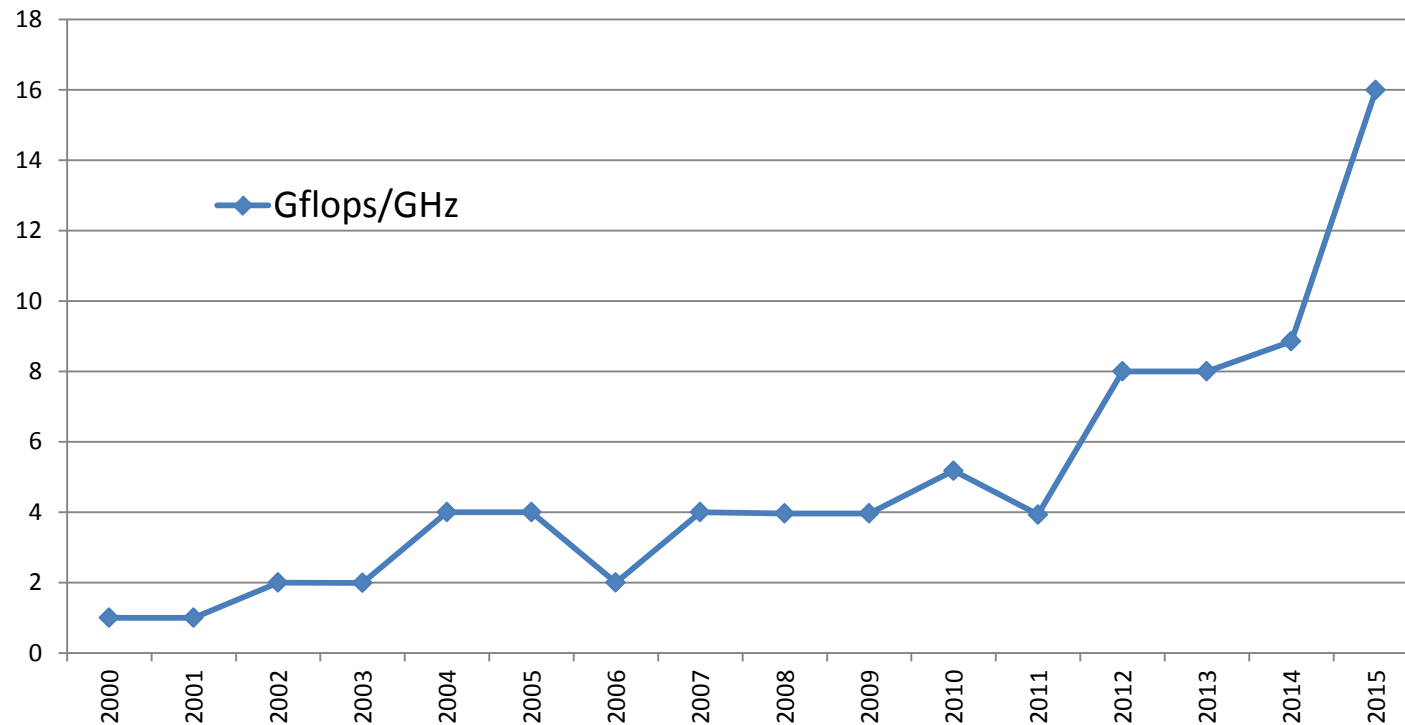
# Производительность процессора



# Производительность одного вычислительного ядра (Gflops) Тактовая частота процессора (GHz)



# Число операций, выполняемых процессорным ядром за один такт



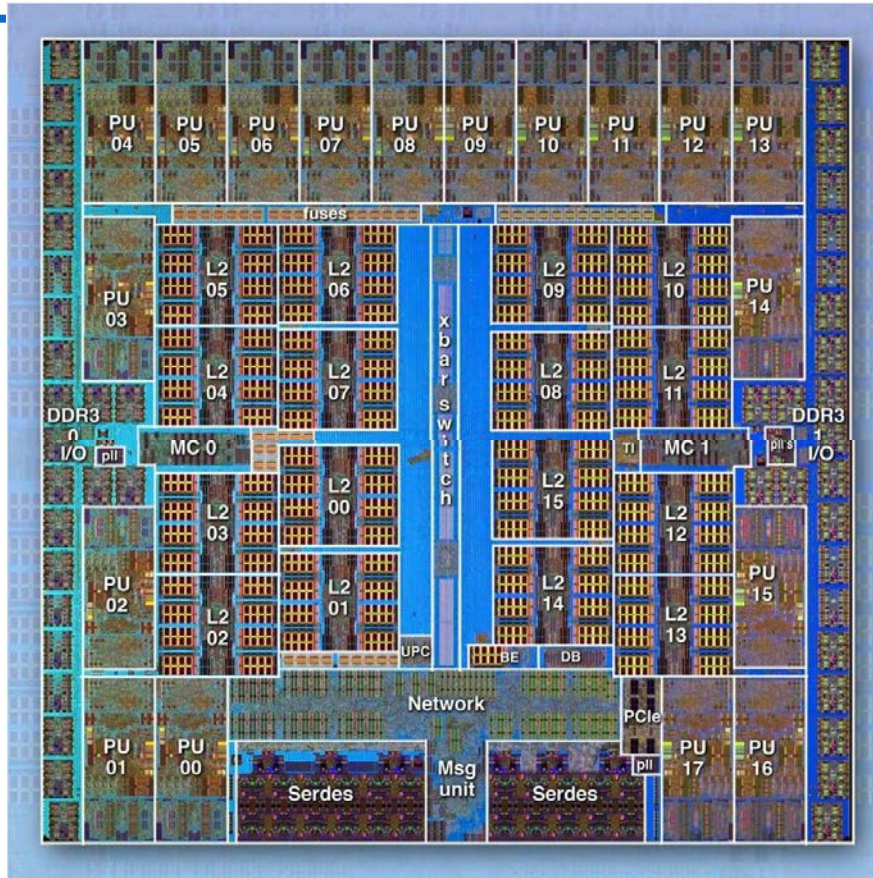
# Некоторые системы top500.org

Суперкомпьютер	Cores	Rmax Tflops	Rpeak Tflops	Power MW	Процессор
<b>Sunway TaihuLight</b>	10 649 600	93 014	125 436	15.37	Sunway SW26010 260C 1.45GHz
<b>K computer</b>	705 024	10 510	12 280	12.66	SPARC64 VIIIfx 8C 2GHz
<b>Tianhe-2 (MilkyWay-2)</b>	3 120 000	33 862	54 902	17.81	Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz <b>Intel Xeon Phi 31S1P</b> 57C 1.1GHz
<b>Sequoia, BlueGene/Q</b>	1 572 864	16 325	20 132	7.89	Power BQC 16C 1.60 GHz
<b>Lomonosov 2</b>	42 688	2 102	2 962	1.08	Xeon E5-2697v3 14C 2.6GHz

*Время мощных вычислительных систем, имеющих в своем составе только один процессор прошло*

- Вычислительная мощность суперкомпьютеров огромна, но:
  - ***Она образована суммой мощностей множества исполнительных устройств***
- На протяжении многих лет увеличение производительность компьютера автоматически означало снижение времени работы существующих программ. Теперь это не так:
  - ***Последовательные программы не могут работать на суперкомпьютерах быстрее, чем на однопроцессорных (одноядерных) компьютерах***

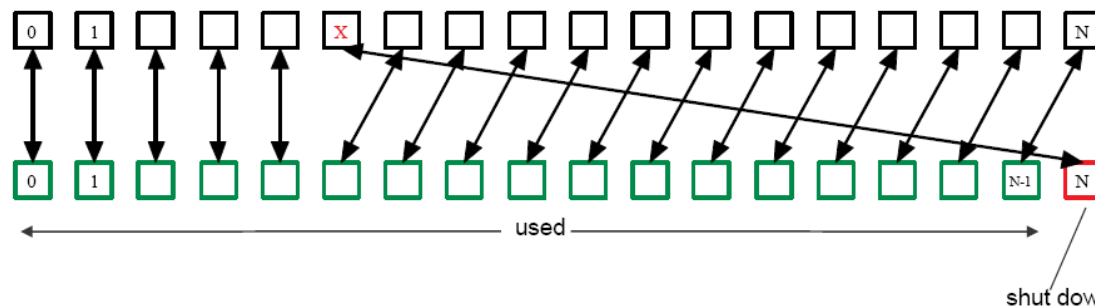
# IBM PowerPC® A2 1.6 GHz, 16 cores per node



Robert W. Wisniewski. BlueGene/Q:  
Architecture, CoDesign; Path to  
Exascale / Blue Gene Supercomputer  
Research, January 25, 2012

Physical  
Processor  
core IDs

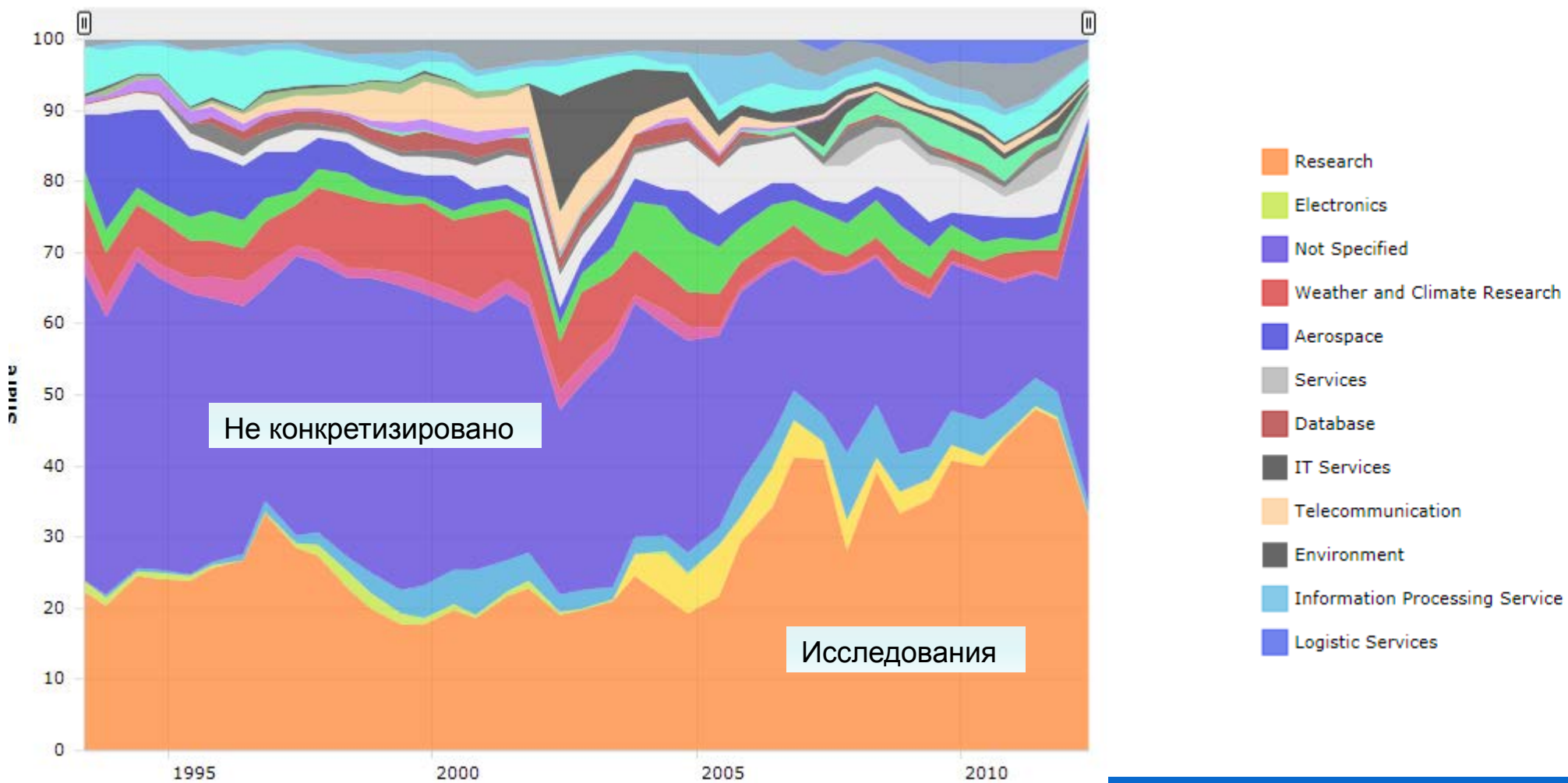
Logical  
Processor  
core IDs





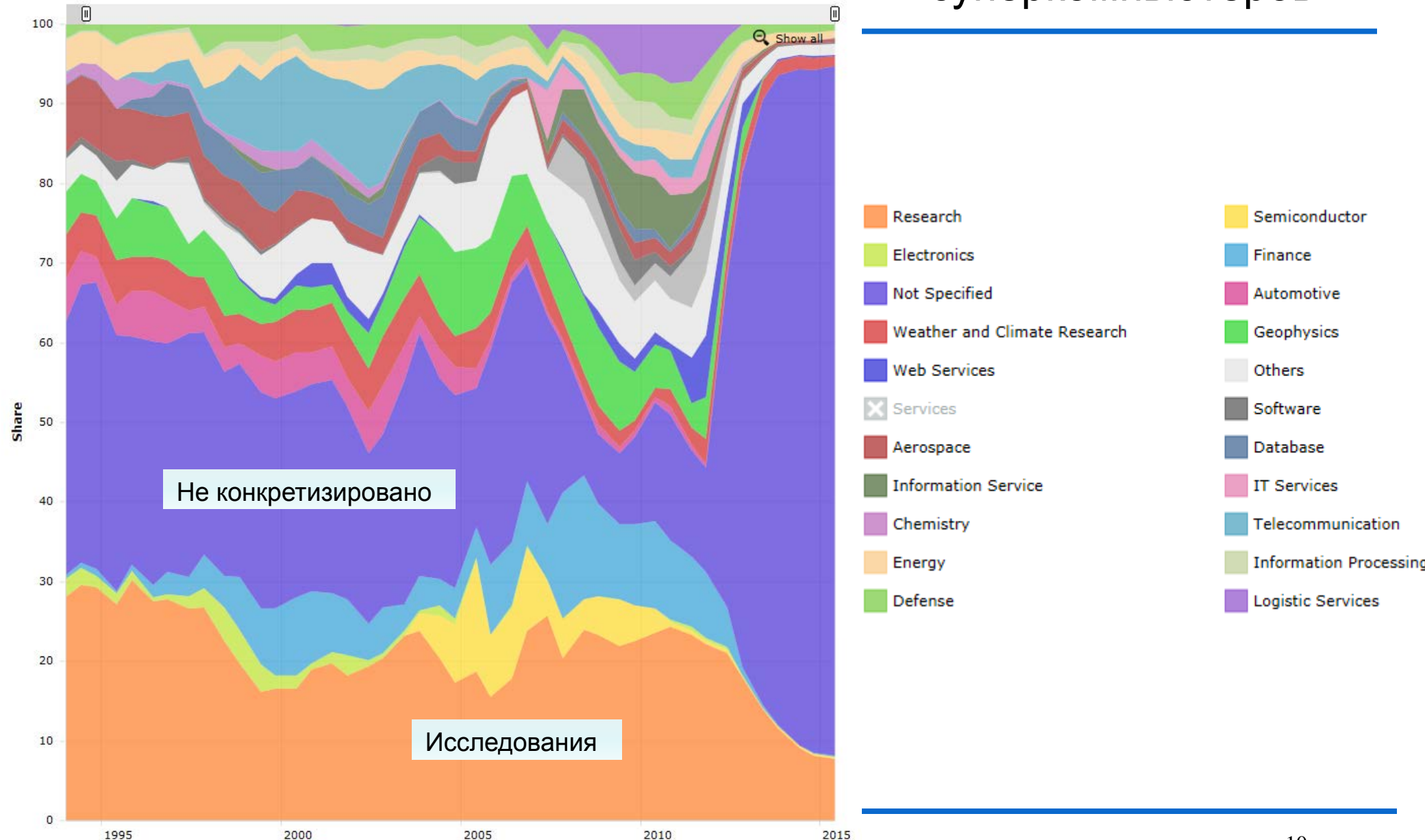
# Использование мощностей суперкомпьютеров

Application Area - Performance Share



# Использование суперкомпьютеров

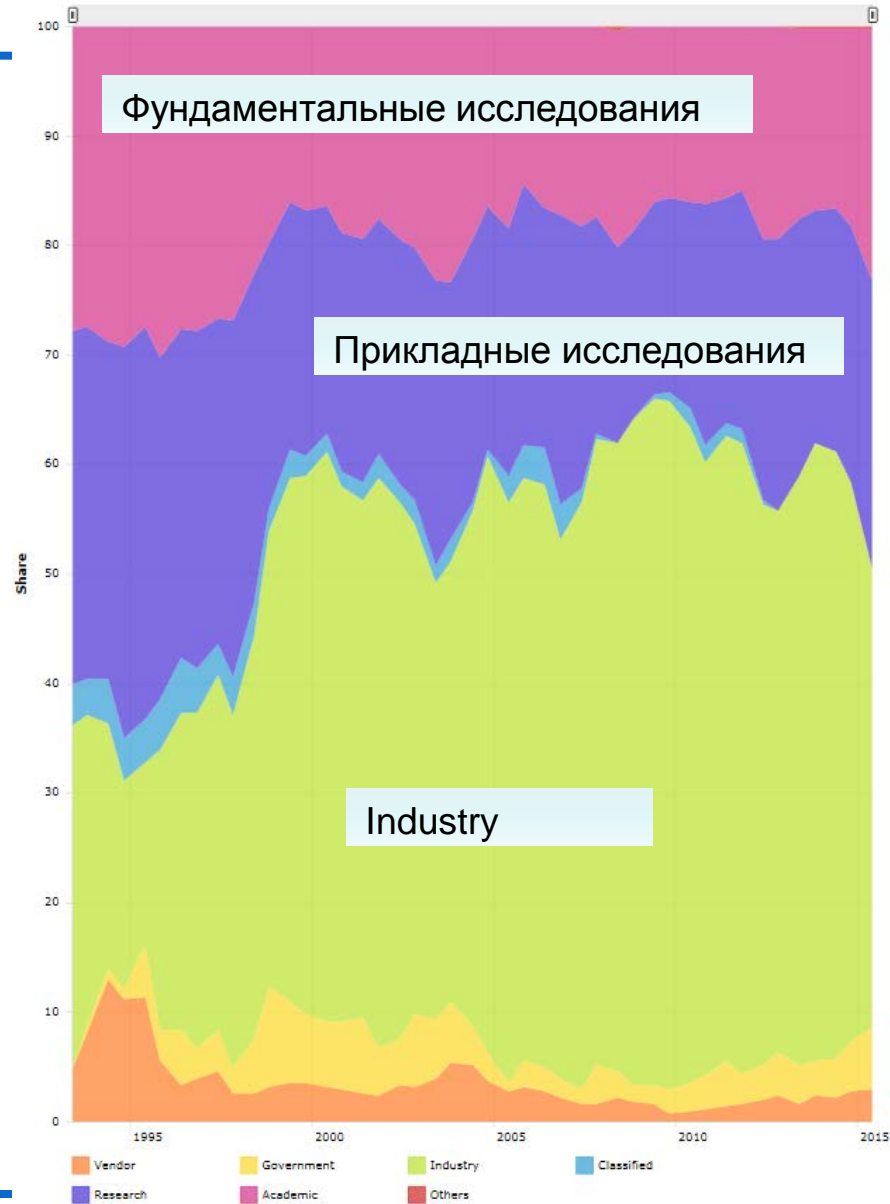
Application Area - Systems Share



Не конкретизировано

Исследования

# Использование мощностей суперкомпьютеров



# Области применения многопроцессорных систем

---

- 1) сокращение времени решения вычислительно сложных задач
- 2) сокращение времени обработки больших объемов данных
- 3) решение задач реального времени
- 4) создание систем высокой надежности

# Задачи большого вызова

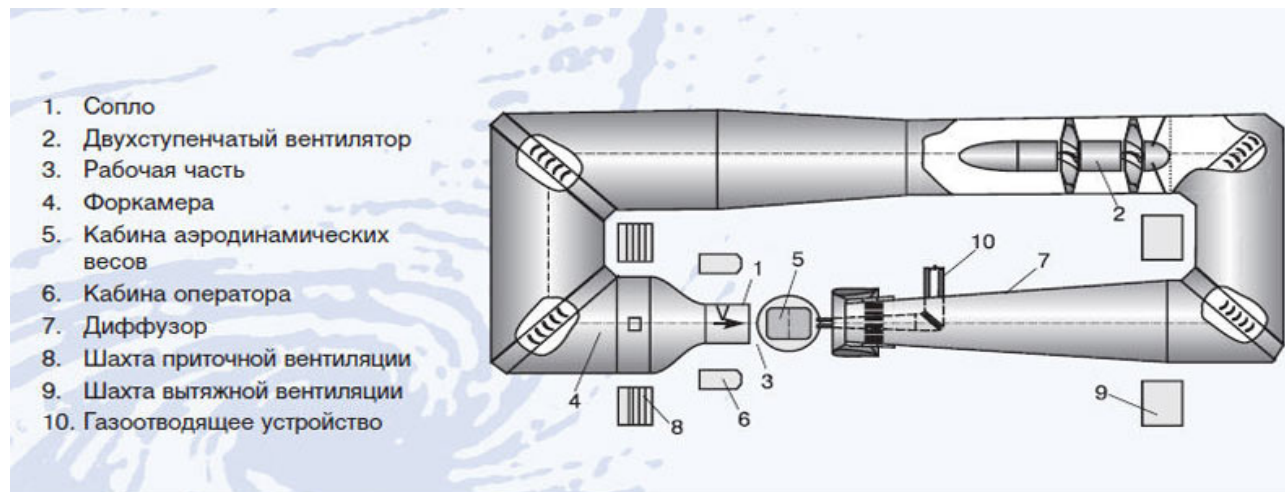
(Kenneth G. Wilson, Cornell University, 1987)

- ❑ Вычислительная газовая динамика:
  - Создание летательных аппаратов, эффективных автомобильных
  - Предсказания погоды, и глобальных климатических изменений
  - Оптимизация нефтедобычи, ...
- ❑ Молекулярная динамика:
  - Создание материалов с заданными свойствами
  - Разработка новых лекарственных соединений
  - Сверхпроводимость, Свойства веществ в экстремальных состояниях, ...
- ❑ Символьные вычисления
  - Распознавание речи
  - Компьютерное зрение
  - Изучение сложных систем
  - Автономные системы управления
- ❑ Квантовая хромодинамика и теория конденсированных сред
- ❑ Управляемый термоядерный синтез, Геном человека, ...

# Дозвуковая аэродинамическая труба Т-104, ЦАГИ

- ❑ Скорость потока **10–120 м/с**
- ❑ Диаметр сопла 7 м
- ❑ Длина рабочей части 13 м
- ❑ Мощность вентилятора **28.4 МВт**

<http://www.tsagi.ru/rus/base/t104>



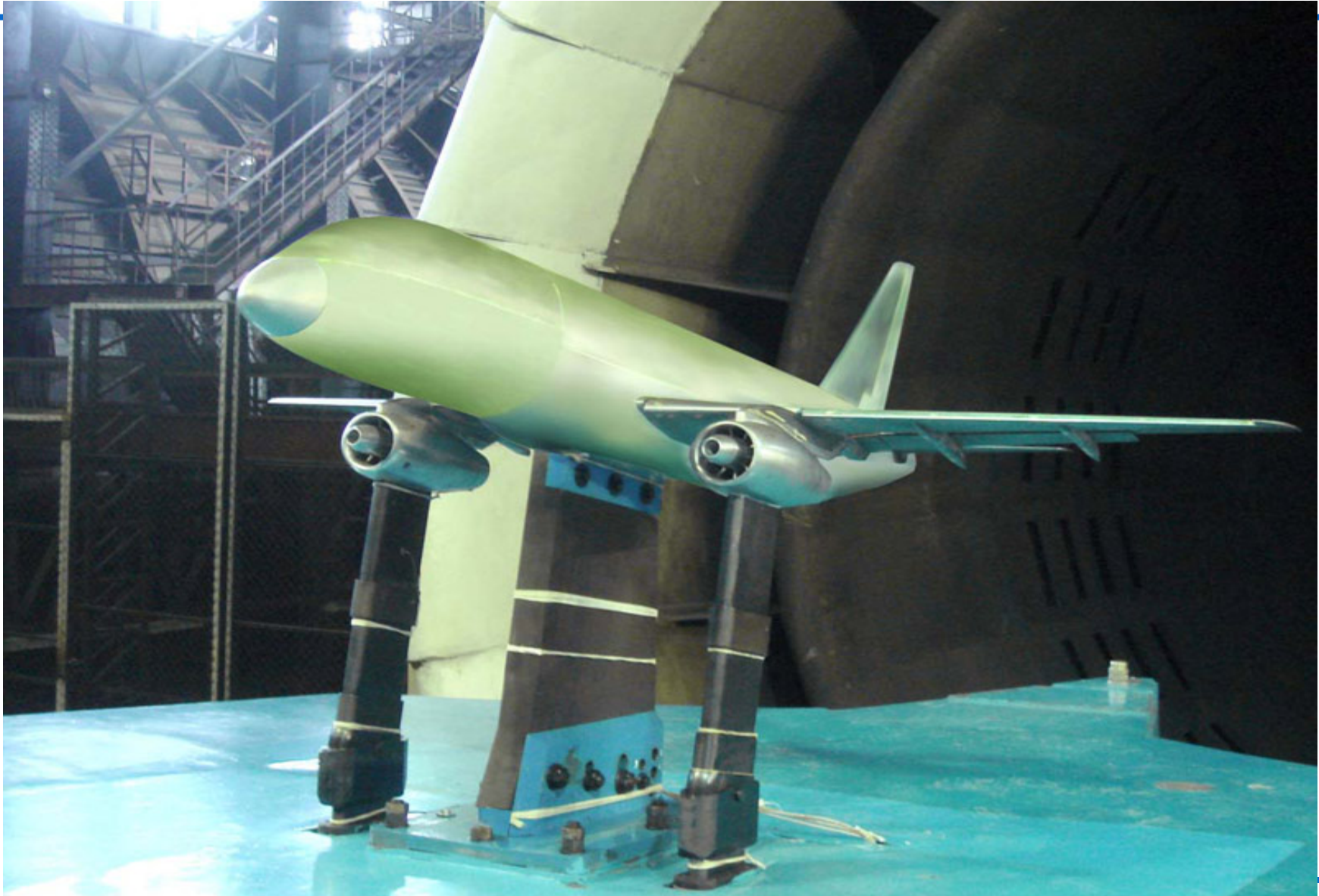
## Суперкомпьютер СКИФ МГУ «ЧЕБЫШЁВ»

- Пиковая производительность 60 TFlop/s
- Мощность комплекса **0.72 МВт**

[http://parallel.ru/cluster/skif\\_msu.html](http://parallel.ru/cluster/skif_msu.html)

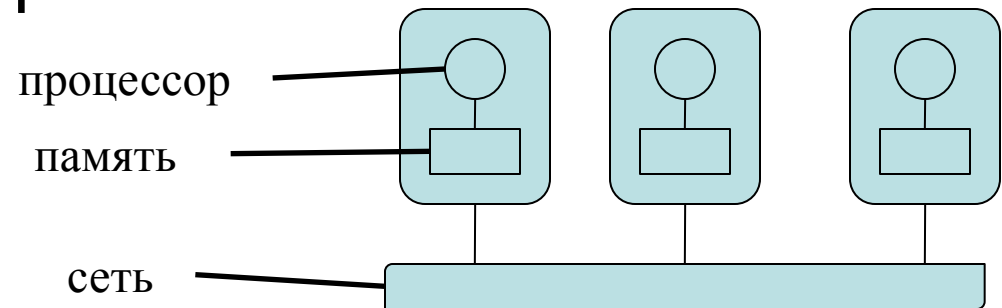




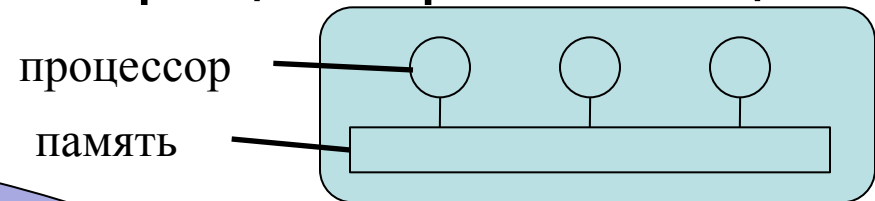


# Круг рассматриваемых систем

- ❑ Системы на основе объединенных сетью типовых вычислительных узлов – системы с распределенной оперативной памятью



- ❑ Системы с доступом всех процессоров к общей оперативной памяти



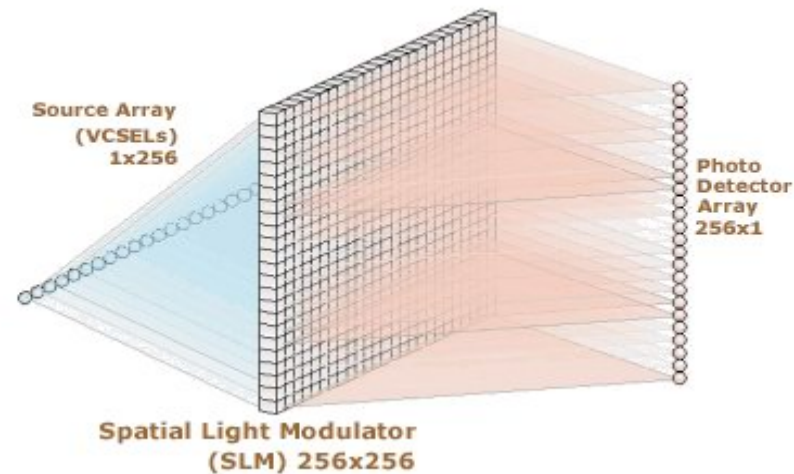
- ❑ Графические ускорители
- ❑ ПЛИС
- ❑ Нейрокомпьютеры
- ❑ Другие ...



# Оптический векторно-матричный умножитель 8·10<sup>12</sup> операций умножения и сложения в секунду (8TМips)


**10<sup>9</sup>** – гига  
**10<sup>12</sup>** – тера  
**10<sup>15</sup>** – пета  
**10<sup>18</sup>** – экса

Example:



Энергопотребление процессора составляет 40 Вт (5 мВт на 1 млрд. операций в секунду)

Д.Колисниченко. Оптические процессоры. /  
URL: <http://dkws.narod.ru/linux/etc/optical/cpu.html>

- 
- 
- ❑ Вычислительные системы - многопроцессорные
  - ❑ Автоматическое создание параллельных программ невозможно
  - ❑ Необходимо знать существующие и развивать новые параллельные методы решения задач

# Некоторые из принципов фон Неймана

---

## □ Принцип последовательного программного управления

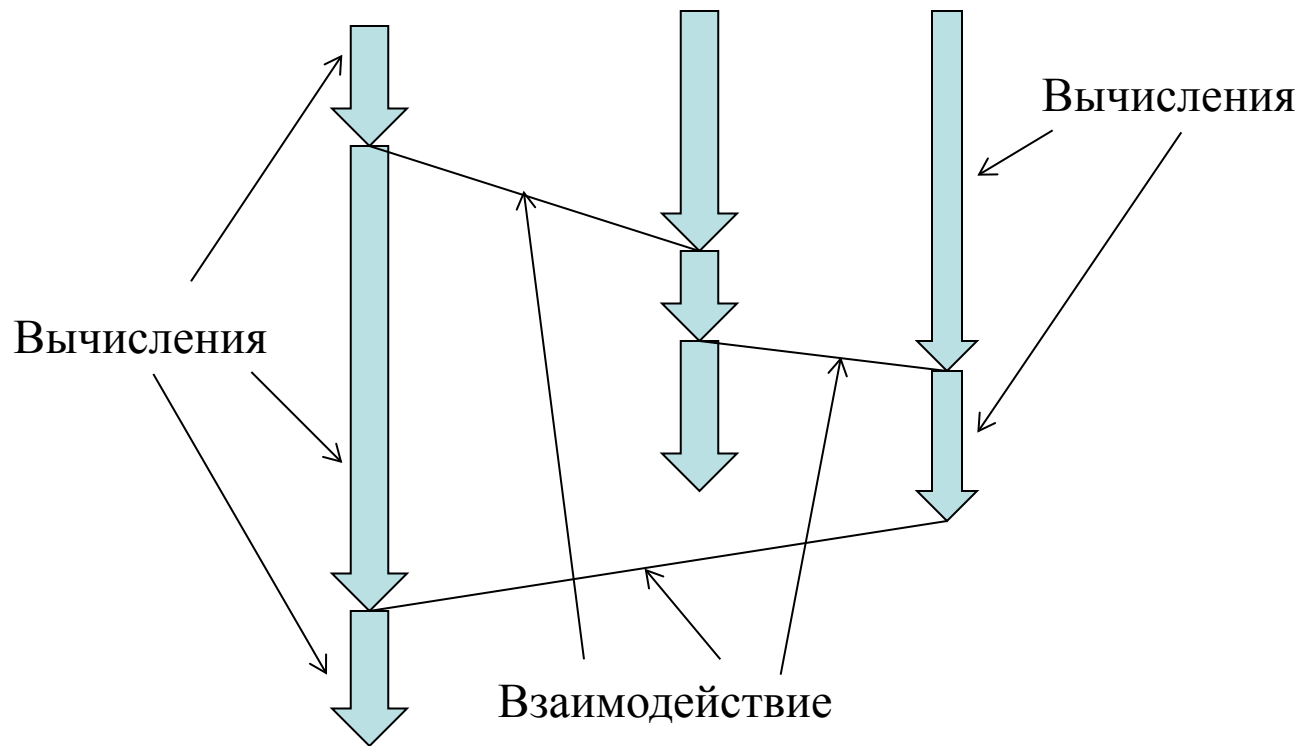
- Программа состоит из набора команд, которые выполняются процессором друг за другом в определенной последовательности

## □ Принцип адресуемости памяти

- Память состоит из пронумерованных ячеек
- Процессору в произвольный момент времени доступна любая ячейка

# Уточнение круга рассматриваемых алгоритмов

- ❑ Слабо взаимодействующие последовательные процессы



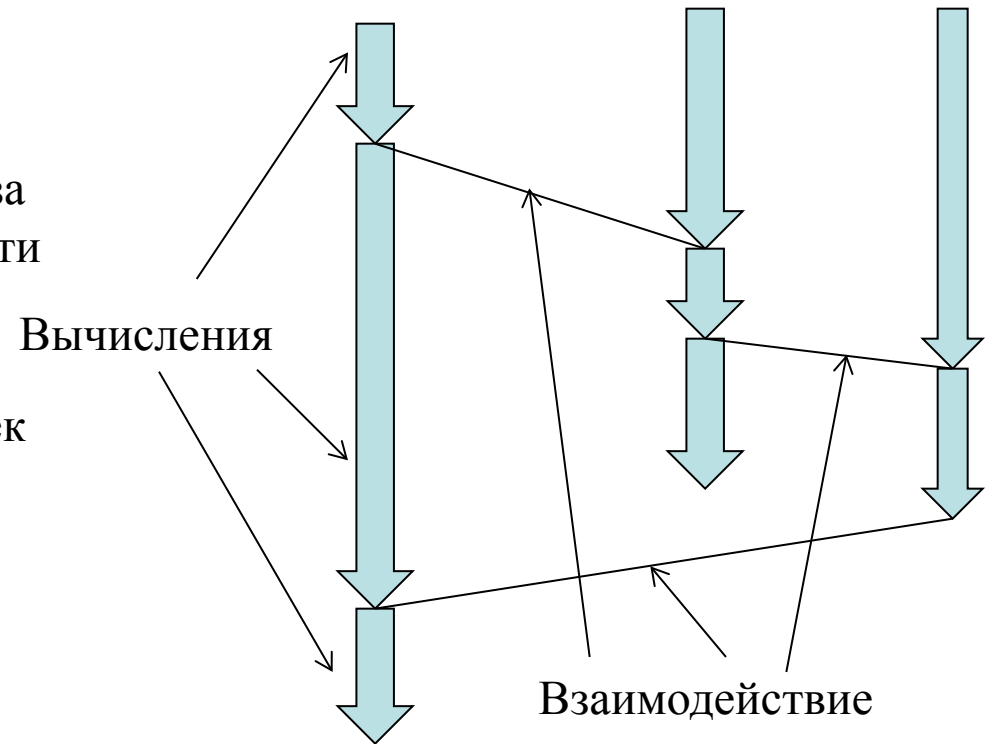
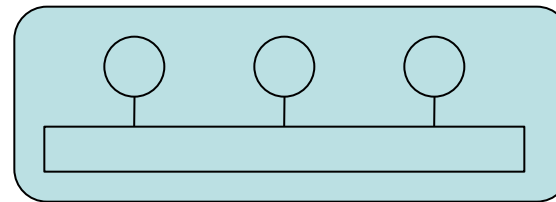
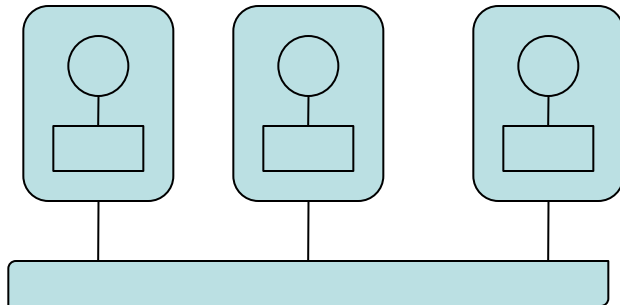
# Отличие от систем фон Неймана

## Принцип последовательного программного управления

Программа состоит из набора команд, которые выполняются процессором друг за другом в определенной последовательности

## Принцип адресуемости памяти

Память состоит из пронумерованных ячеек  
Процессору в произвольный момент времени доступна любая ячейка



# Характеристика необходимых знаний и умений

---

- Для успешного освоения основного материала курса необходимо:
  - Знание основ программирования
  - Общее представление об архитектуре вычислительных систем фон Неймана
  - Умение оценивать вычислительную сложность простых алгоритмов

# Характеристика необходимых знаний и умений

---

- Для выполнения практических заданий необходимы навыки разработки простых параллельных программ, например:
  - на основе MPI для систем с распределенной памятью
  - на основе OpenMP или стандарта Posix для систем с общей памятью

# Содержание курса

---

- ❑ Средства описания параллельных алгоритмов
- ❑ Методы построения параллельных алгоритмов
- ❑ Параллельные алгоритмы сортировки данных
- ❑ Параллельные алгоритмы генерации псевдослучайных чисел
- ❑ Динамическая балансировка загрузки процессоров
- ❑ Параллельные алгоритмы решения систем линейных уравнений



# Средства описания параллельных алгоритмов

---

- Приложение, выполняющееся на вычислительной системе с распределенной памятью
  - Передача сообщений
  
- Приложение, выполняющееся на вычислительной системе с общей памятью
  - Семафоры
  - Нити

# Методы построения параллельных алгоритмов

---

## □ Виды параллелизма

- Метод сдваивания
- Геометрический параллелизм
- Метод коллективного решения
- Конвейерный параллелизм

# Динамическая балансировка загрузки процессоров

- Общий взгляд на классификацию методов балансировки загрузки процессоров
- Задачи, требующие применения методов динамической балансировки загрузки
- Пример простого алгоритма динамической балансировки загрузки

Статическая

Динамическая  
диффузная

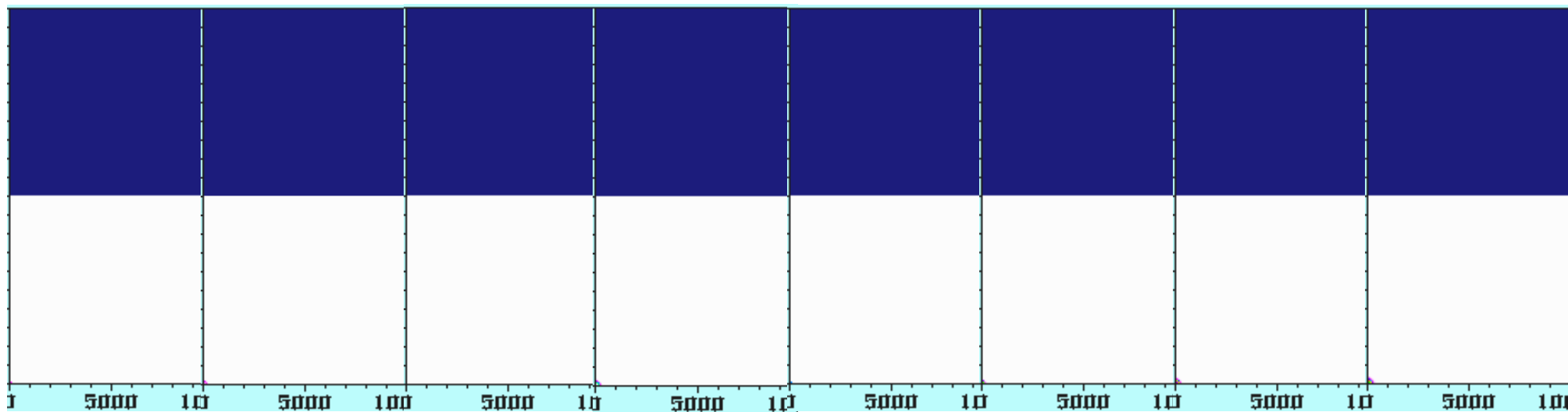
Динамическая  
?

$$\begin{aligned} w_i^j &= w_i^j \\ w_i^j &\approx w_i^{j-1} \\ \bullet w_i^j &\neq w_i^{j-1} \end{aligned}$$

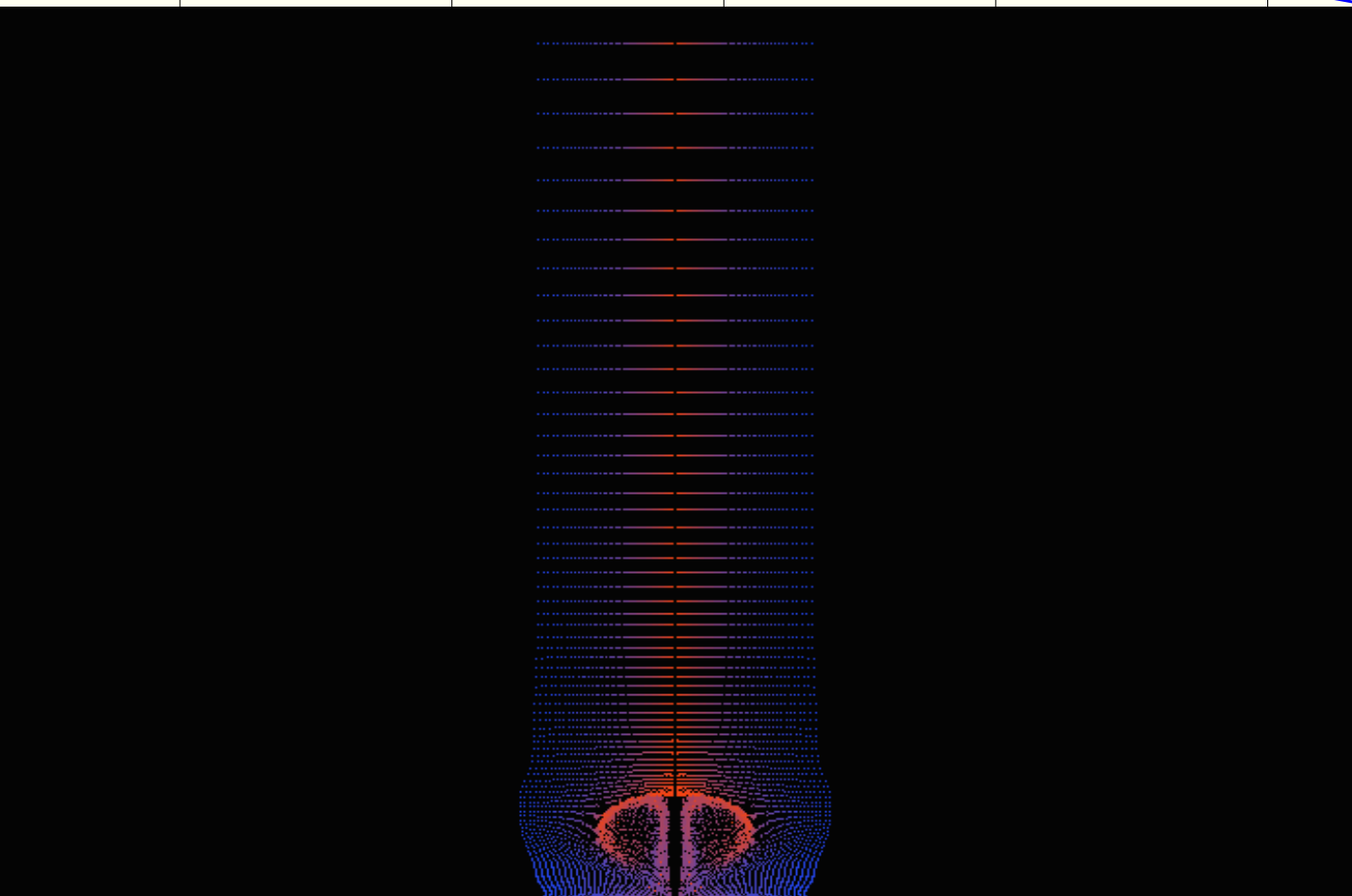
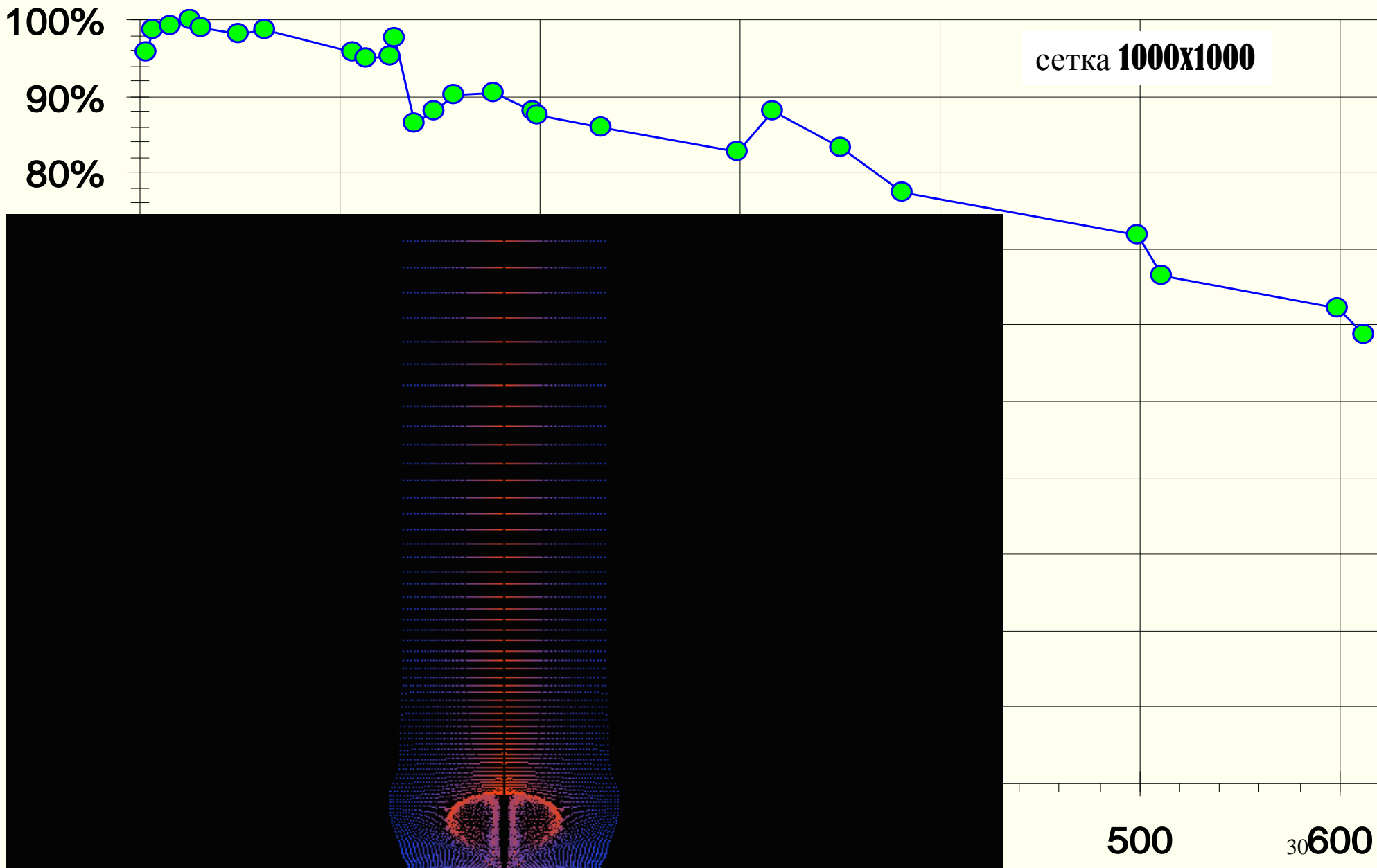
- не зависит от времени
- меняется медленно
- меняется значительно и непрогнозируемо

# Methane combustion

$\text{CH}_4$     $\text{NO}$     $\text{NO}_2$     $\text{NO}_2$     $\text{CH}_3$     $\text{CO}$     $\text{CO}_2$     $\text{I}$



# Эффективность



# Заключение

---

## ***Время однопроцессорных вычислительных систем прошло***

*Не только суперкомпьютеры, но и современные персональные компьютеры, ноутбуки, планшеты, мобильные телефоны, основаны на многопроцессорных, многоядерных и других технологиях, предполагающих одновременное выполнение множества инструкций*

*Для их полноценного использования необходимо понимание основ параллельных архитектур и умение создавать логически простые, но эффективные алгоритмы  
(на что и направлен курс)*

# Литература...

- ❑ *Якобовский М.В.* Введение в параллельные методы решения задач: Учебное пособие / Предисл.: В. А. Садовничий. – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 328 с., илл. – (Серия «Суперкомпьютерное образование»), ISBN 978-5-211-06382-2
- ❑ *Лацис А.О.* Параллельная обработка данных. – М.: Академия, 2010 г. 336 стр. ISBN 978-5-7695-5951-8
- ❑ *Якобовский М.В.* <http://lira.imamod.ru>
  
- ❑ *Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.* Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002.
- ❑ *Грегори Р. Эндрюс* - Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования. "Вильямс ", 2003
- ❑ Языки программирования. Редактор Ф.Женюи. Перевод с англ. В.П.Кузнецова. Под ред. В.М.Курочкина. М.: "Мир", 1972  
*Э. Дейкстра.* Взаимодействие последовательных процессов.  
<http://khpi-iip.mipk.kharkiv.edu/library/extent/dijkstra/ewd123/index.html>

# Литература...

## Учебные курсы Интернет Университета Информационных технологий

- Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений. — <http://www.intuit.ru/department/calculate/paralltp/>

## Лекции в форме видео-конференций

- Гергель В.П. Основы параллельных вычислений. — <http://www.hpcu.ru/courses/15/>
- Немнюгин С.А. Основы параллельного программирования с использованием MPI . — <http://www.hpcu.ru/courses/14/>
- Крюков В.А., Бахтин В.А. Параллельное программирование с OpenMP . — <http://www.hpcu.ru/courses/16/>

## Дополнительные учебные курсы:

- Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. — <http://www.intuit.ru/department/calculate/calcalgo/>



# Литература

---

## Ресурсы Internet

- ❑ <http://parallel.ru>
- ❑ <http://top500.org>
- ❑ <http://supercomputers.ru>

# Вопросы для обсуждения

---

- ❑ Какие классы задач решаются с применением многопроцессорных систем и суперкомпьютеров?
- ❑ Какие факторы препятствуют эффективному использованию многопроцессорных систем?
- ❑ В чем качественное отличие многопроцессорных систем от систем архитектуры фон Неймана?

# Контакты

---

*Якобовский М.В., профессор, д.ф.-м.н., зав. сектором  
«Программного обеспечения многопроцессорных систем  
и вычислительных сетей» Института прикладной  
математики им. М.В.Келдыша Российской академии наук*

[mail: lira@imamod.ru](mailto:lira@imamod.ru)

[web: http://lira.imamod.ru](http://lira.imamod.ru)