Введение

http://lira.imamod.ru/msu201609/

Параллельные высокопроизводительные вычисления

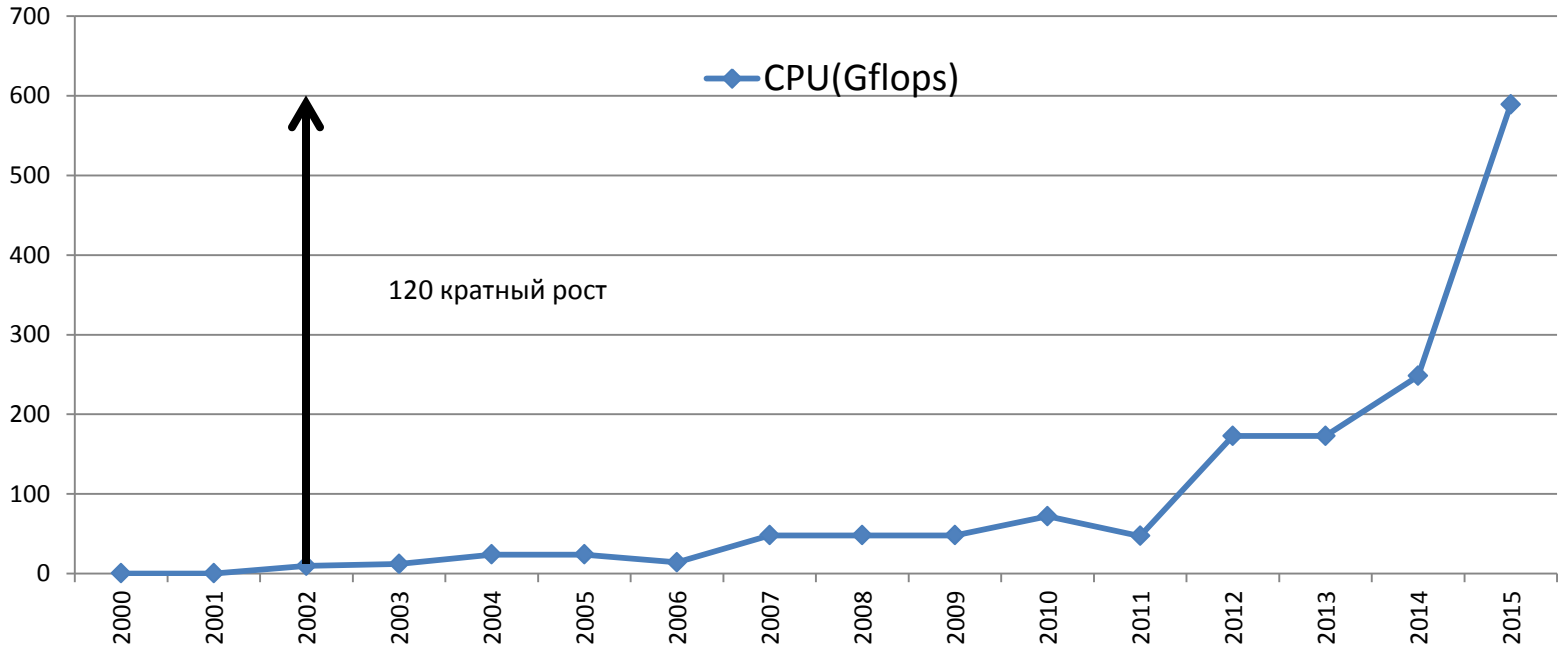
Якобовский М.В., проф., д.ф.-м.н.
СКИ МГУ,
Институт прикладной математики
им. М.В.Келдыша РАН, Москва

Цель курса

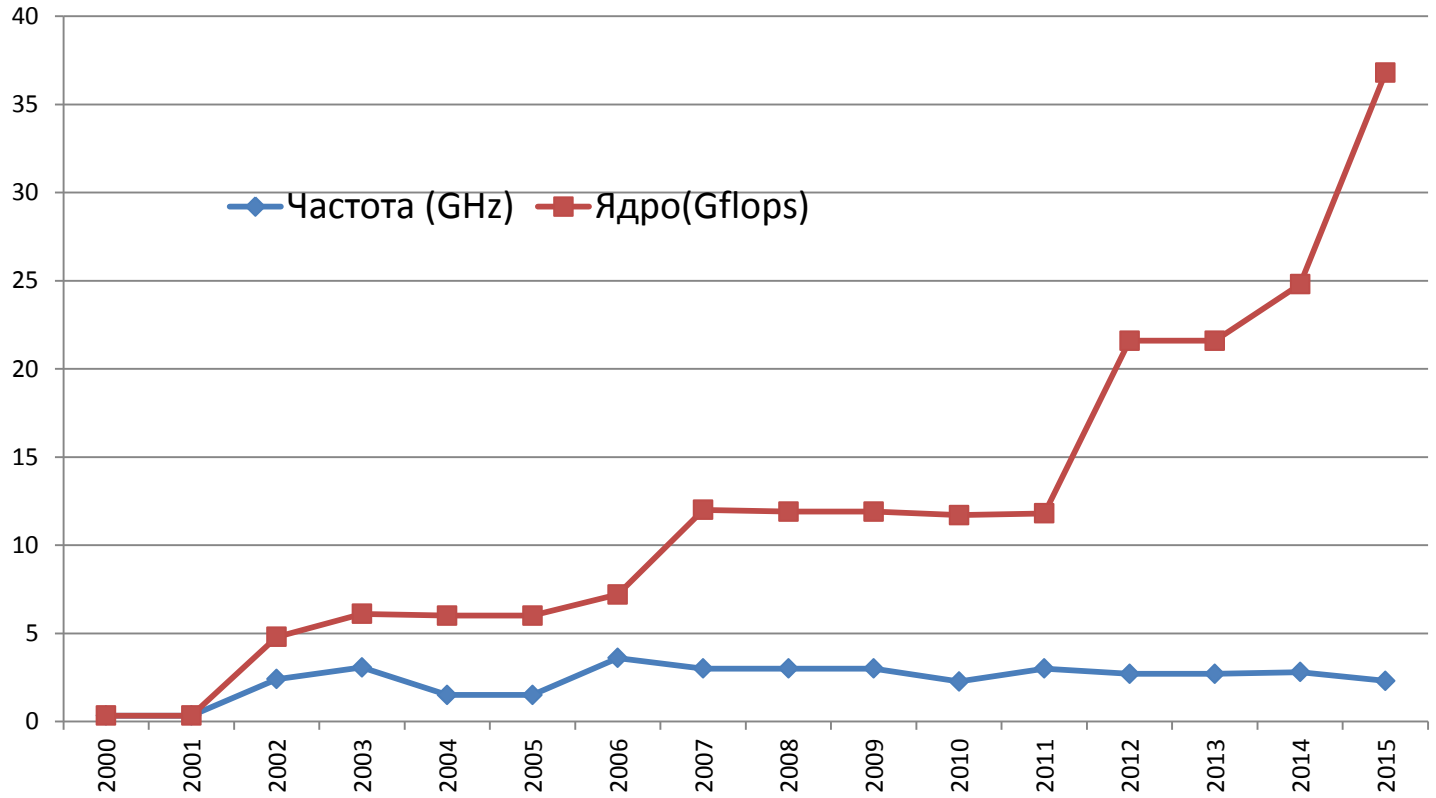
Знакомство с методами разработки параллельных алгоритмов

Изучение свойств программ, выполняющихся на многопроцессорных вычислительных системах

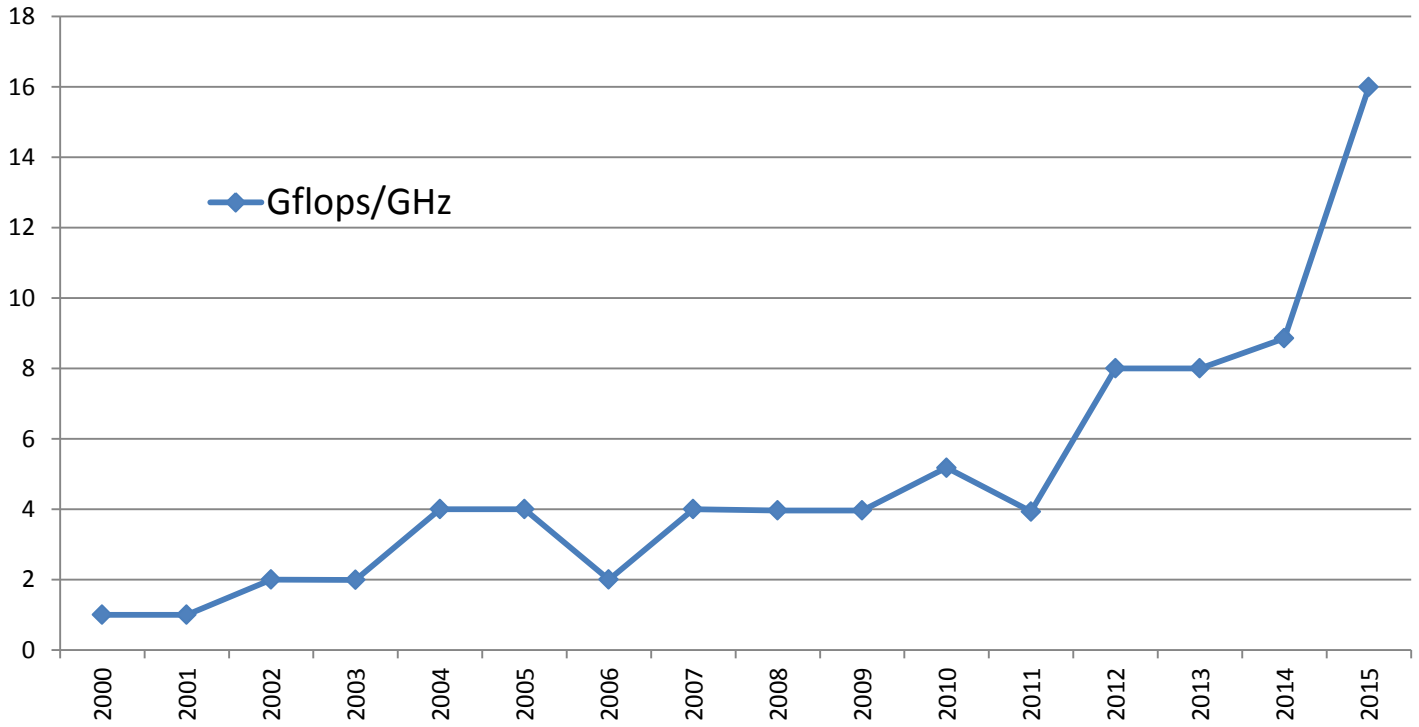
Производительность процессора



Производительность и тактовая частота процессорного ядра



Число операций, выполняемых процессорным ядром за один такт



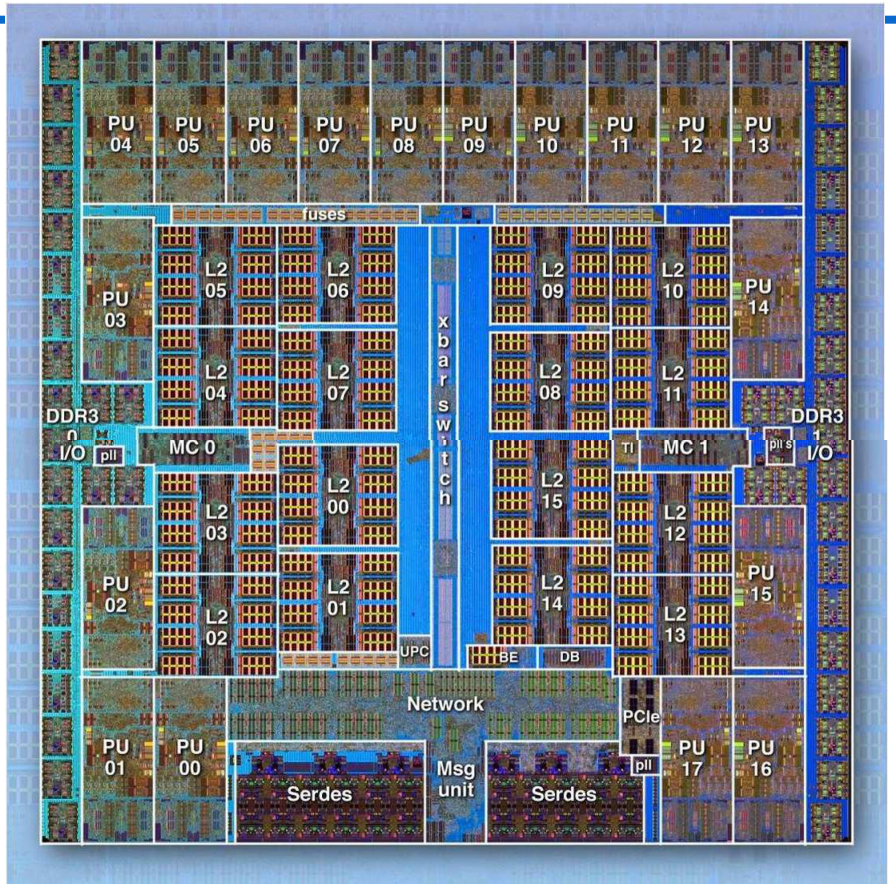
Некоторые системы top500.org

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

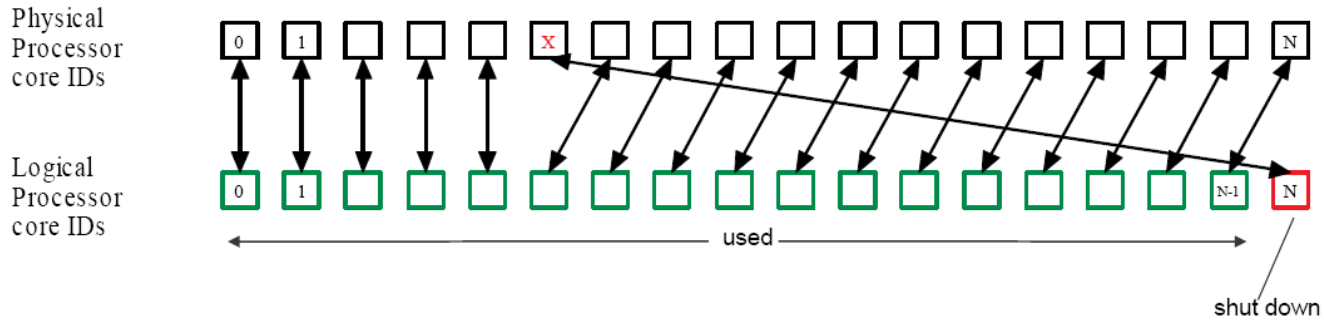
Время мощных вычислительных систем, имеющих в своем составе только один процессор прошло

- 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***

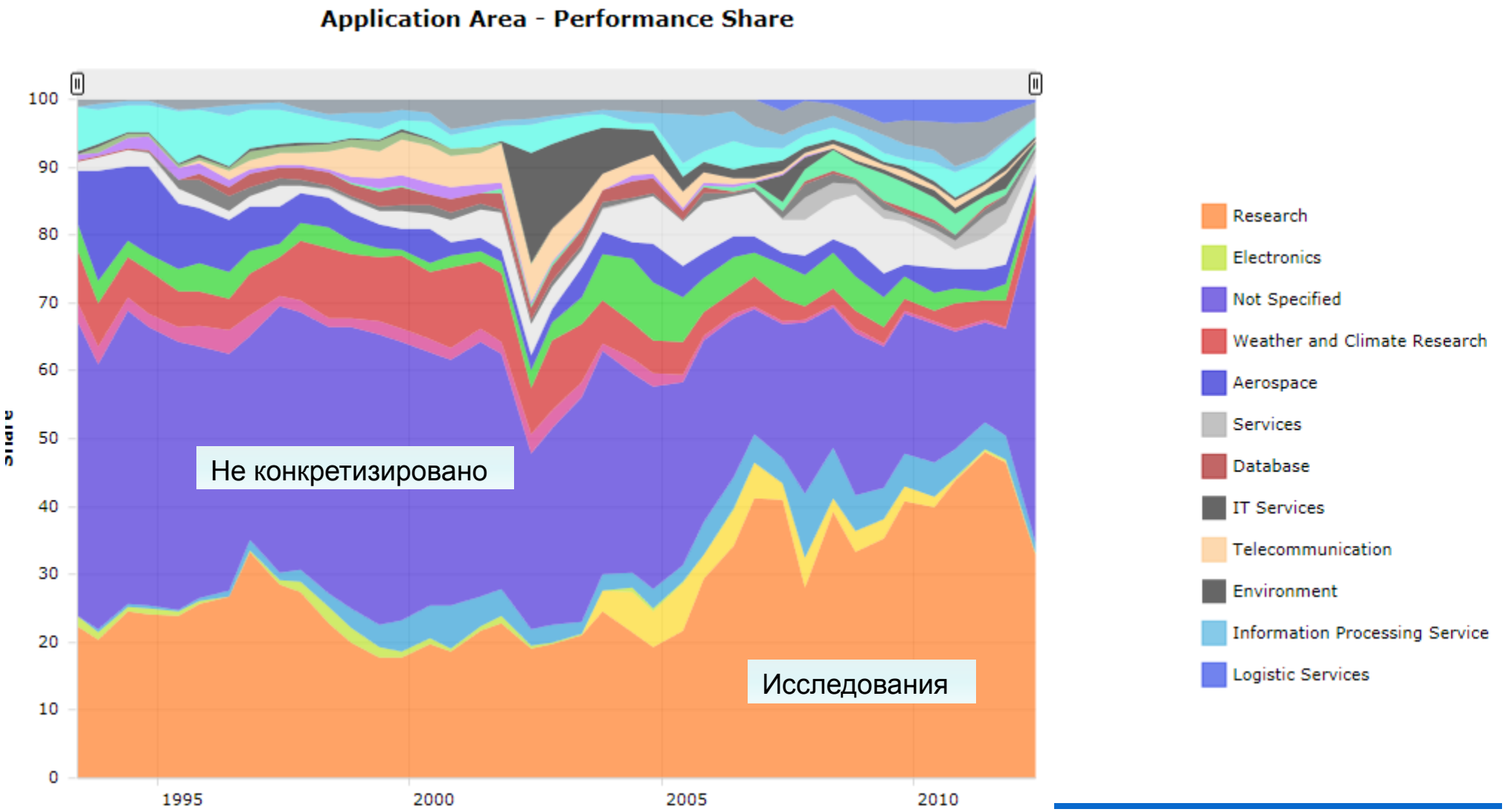
IBM PowerPC® A2 1.6 GHz, 16 cores per node



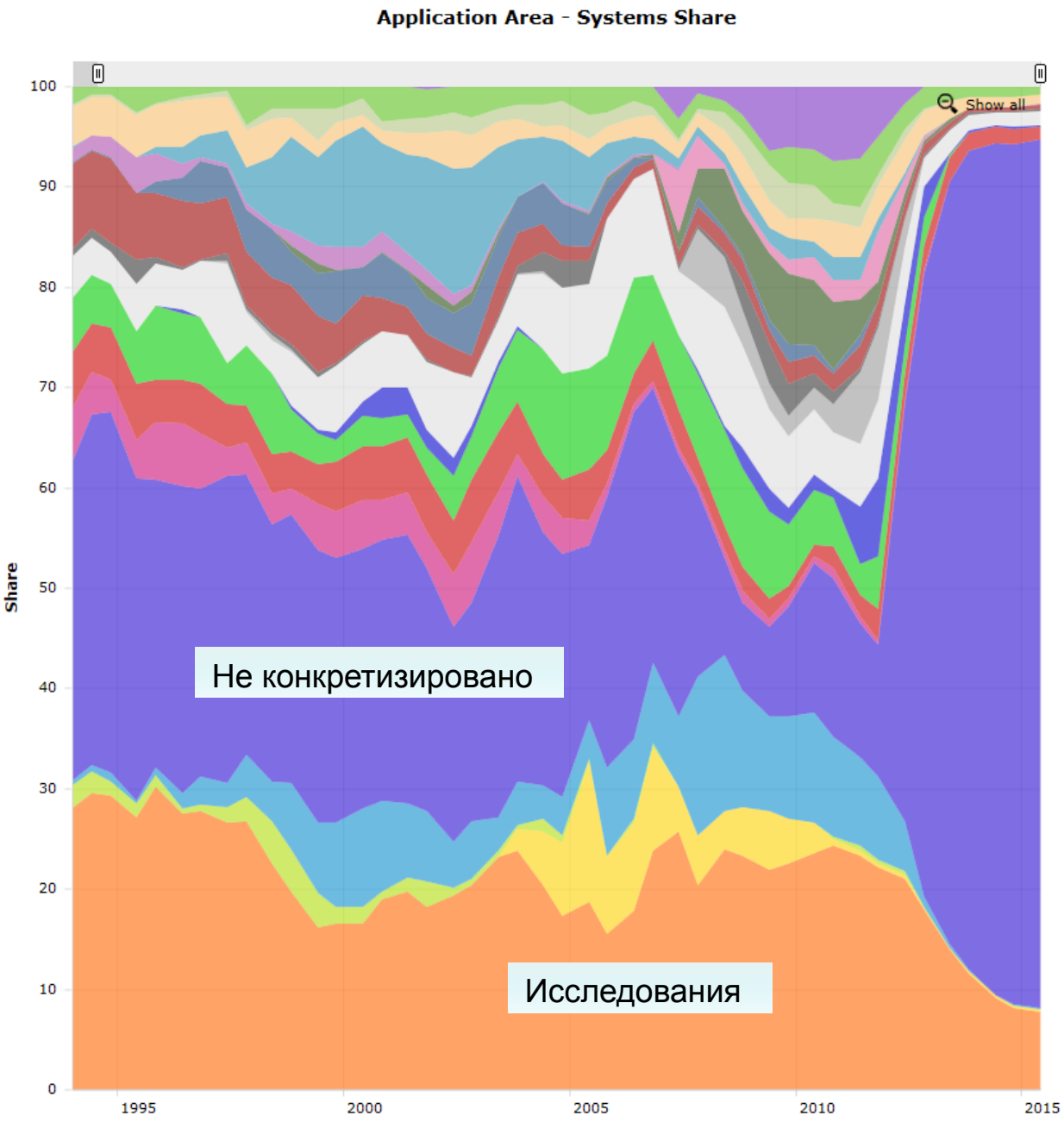
Robert W. Wisniewski. BlueGene/Q: Architecture, CoDesign; Path to Exascale / Blue Gene Supercomputer Research, January 25, 2012



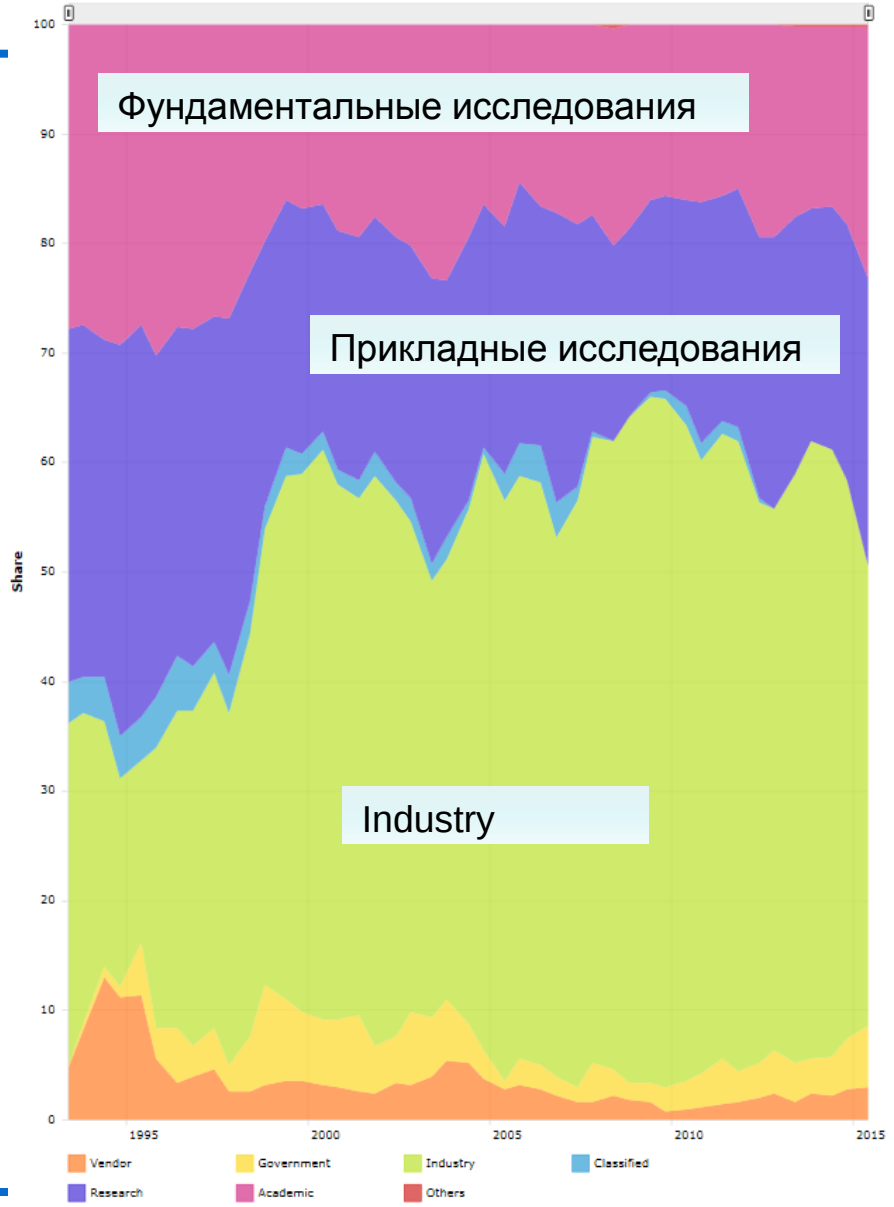
Использование мощностей суперкомпьютеров



Использование суперкомпьютеров



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)

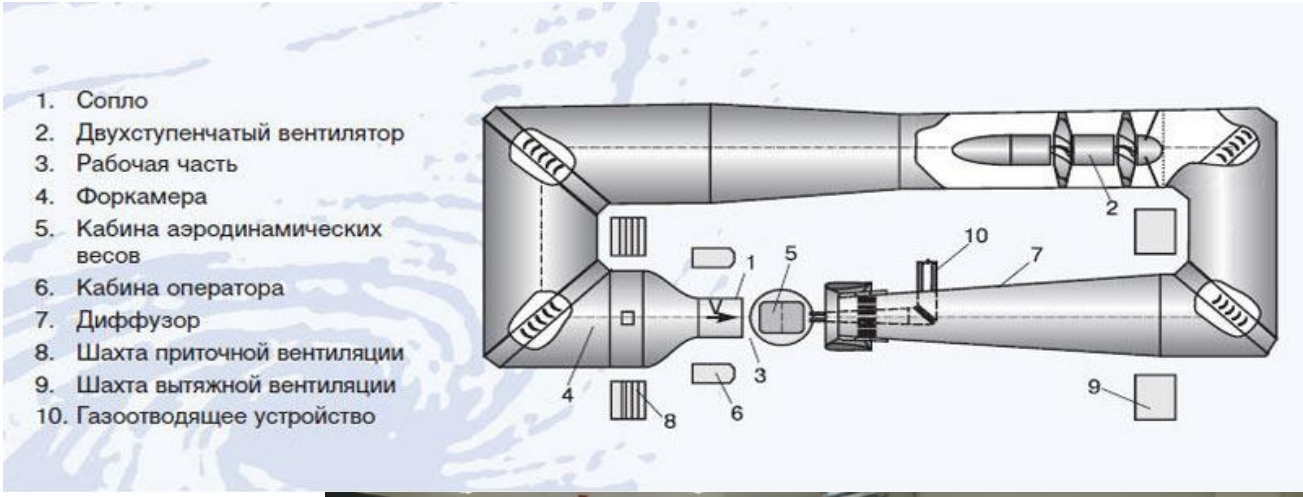
- Вычислительная газовая динамика:
  - Создание летательных аппаратов, эффективных автомобильных
  - Предсказания погоды, и глобальных климатических изменений
  - Оптимизация нефтедобычи, …
- Молекулярная динамика:
  - Создание материалов с заданными свойствами
  - Разработка новых лекарственных соединений
  - 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, …

http://en.wikipedia.org/wiki/Grand_Challenge

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**

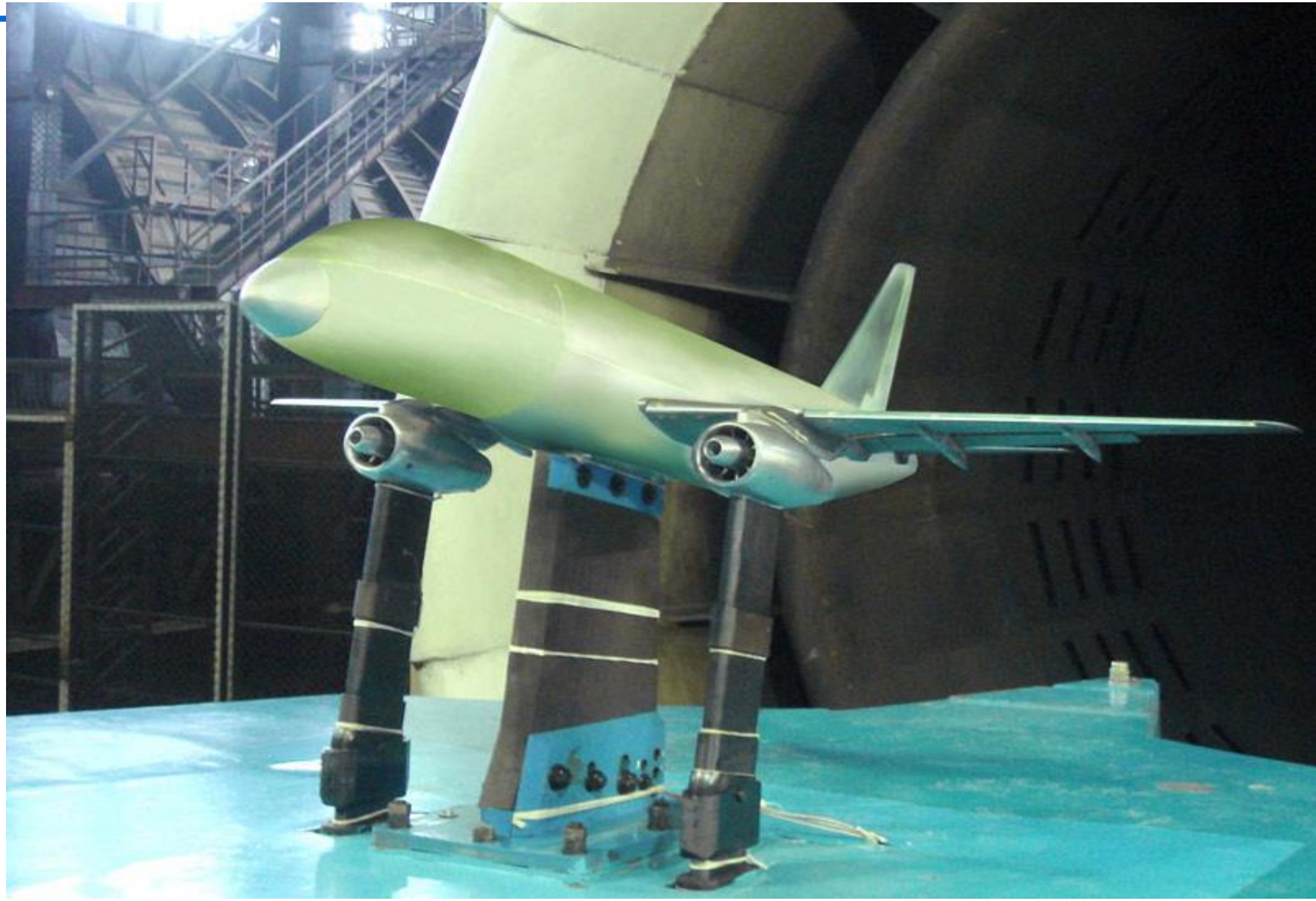
http://www.tsagi.ru/rus/base/t104



Суперкомпьютер СКИФ МГУ «ЧЕБЫШЁВ»

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

http://parallel.ru/cluster/skif_msu.html

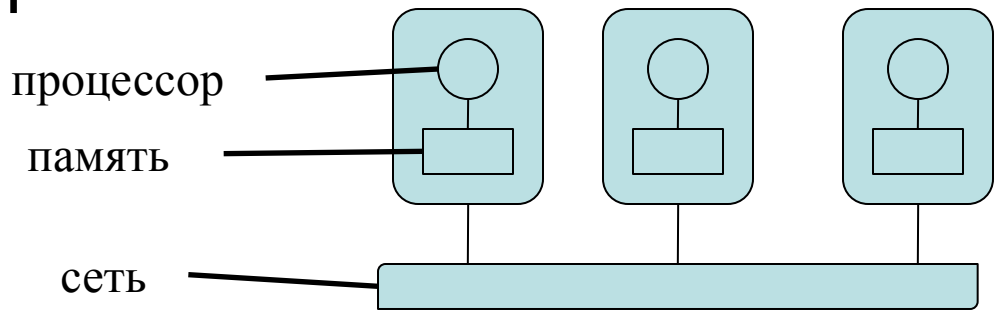


Особенности момента

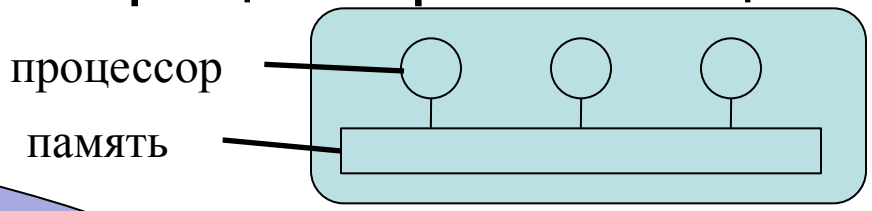
- Потребность в суперкомпьютерах высока
- Эффективность использования суперкомпьютеров низка:
  - Использование каждого ядра последовательной программой составляет проценты и доли процентов
  - Обмены, синхронизация и другие дополнительные операции снижают эффективность параллельной программы
- Есть минимальный объем вычислений на процессорное ядро, определяющий ***число используемых ядер***
- За счет ***многопроцессорности*** сложно ***сокращать*** *время* моделирования физического процесса, но можно повышать ***сложность*** решаемых задач, например за счет увеличения размеров изучаемых объектов

Круг рассматриваемых систем

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



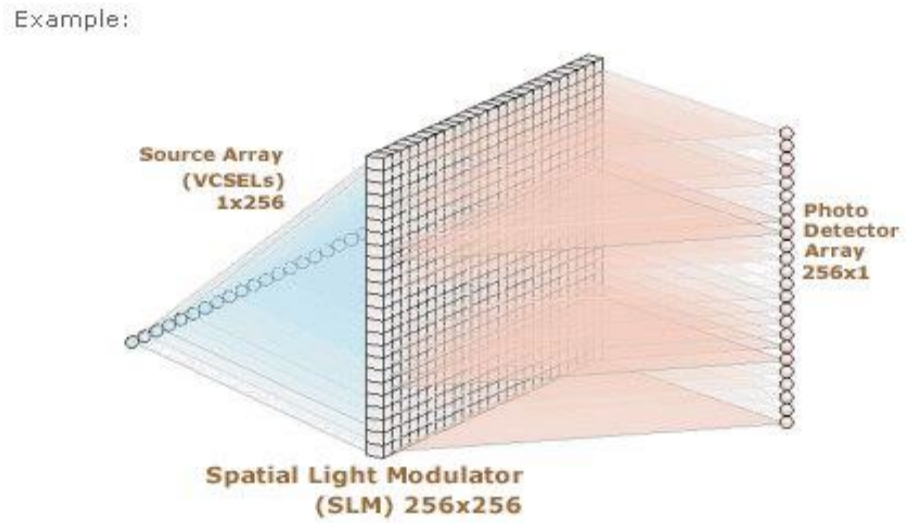
- Системы с доступом всех процессоров к общей оперативной памяти



  - Графические ускорители
  - ПЛИС
  - Нейрокомпьютеры
  - Другие …

Оптический векторно-матричный умножитель 8·10^{12} операций умножения и сложения в секунду (8TMips)

10^9 – гига
10^{12} – тера
10^{15} – пета
10^{18} – экса



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

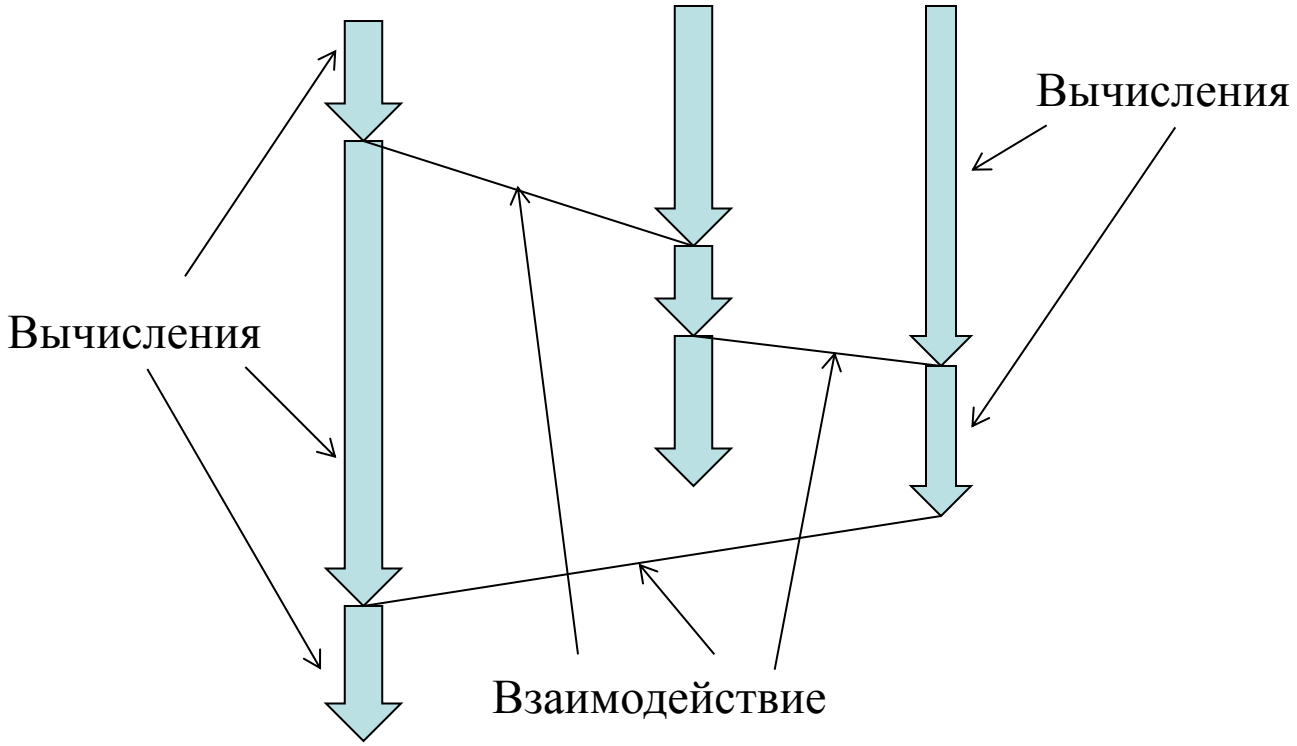
- Вычислительные системы - многопроцессорные
- Автоматическое создание параллельных программ невозможно
- Необходимо знать существующие и развивать новые параллельные методы решения задач

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



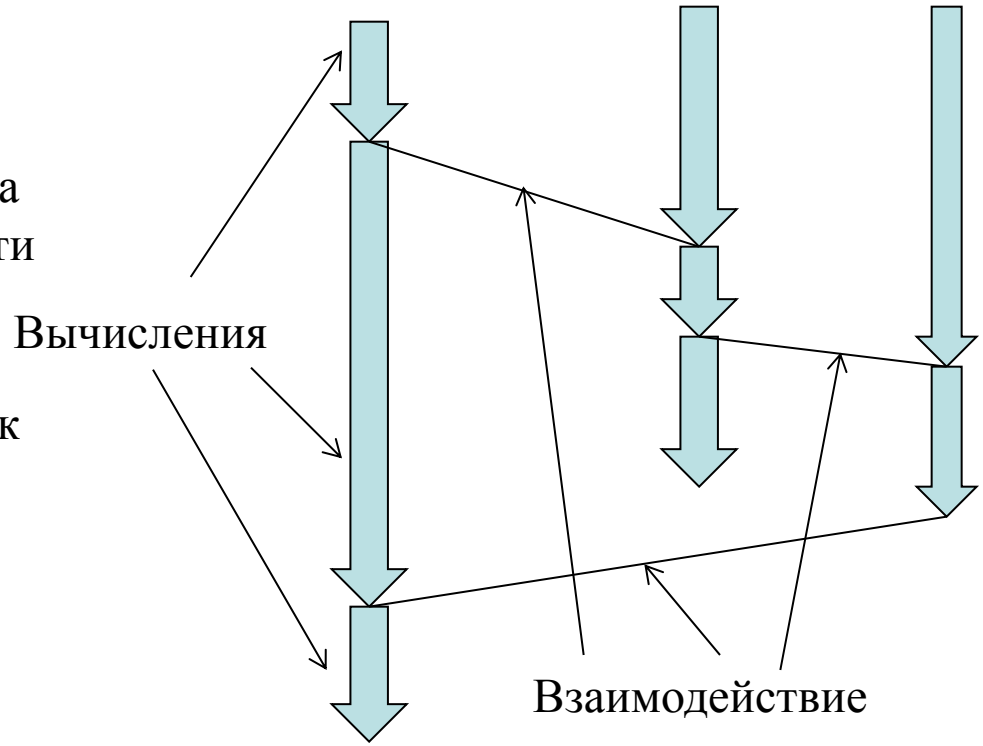
Отличие от систем фон Неймана

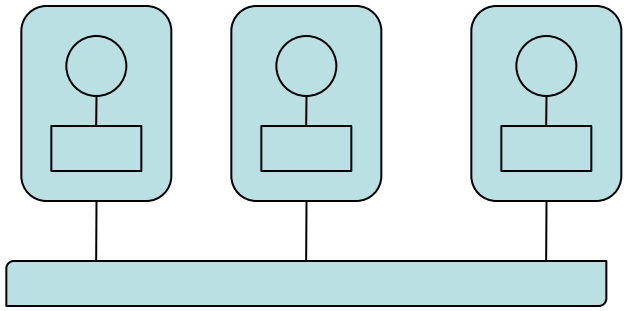
Принцип последовательного программного управления

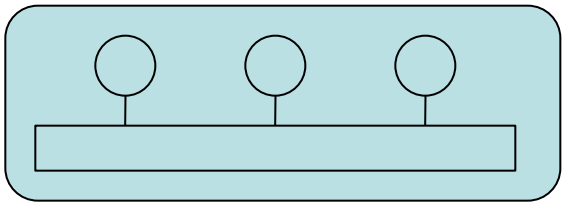
Программа состоит из набора команд, которые выполняются процессором друг за другом в определенной последовательности

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

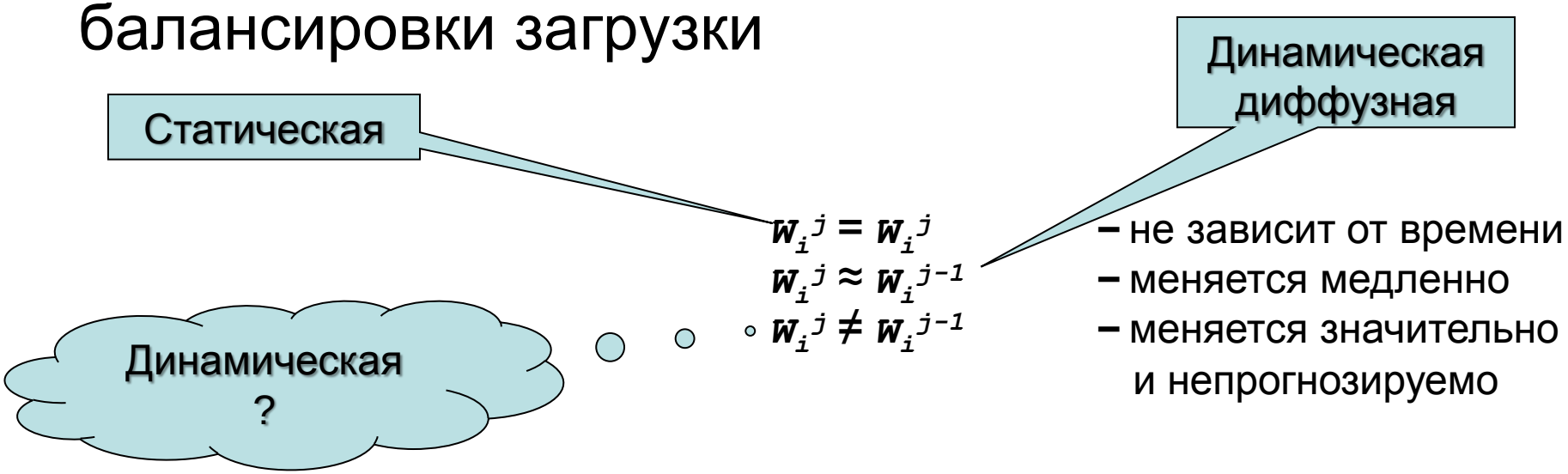
- Приложение, выполняющееся на вычислительной системе с распределенной памятью
  - Передача сообщений
- Приложение, выполняющееся на вычислительной системе с общей памятью
  - Семафоры
  - Нити

Методы построения параллельных алгоритмов

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

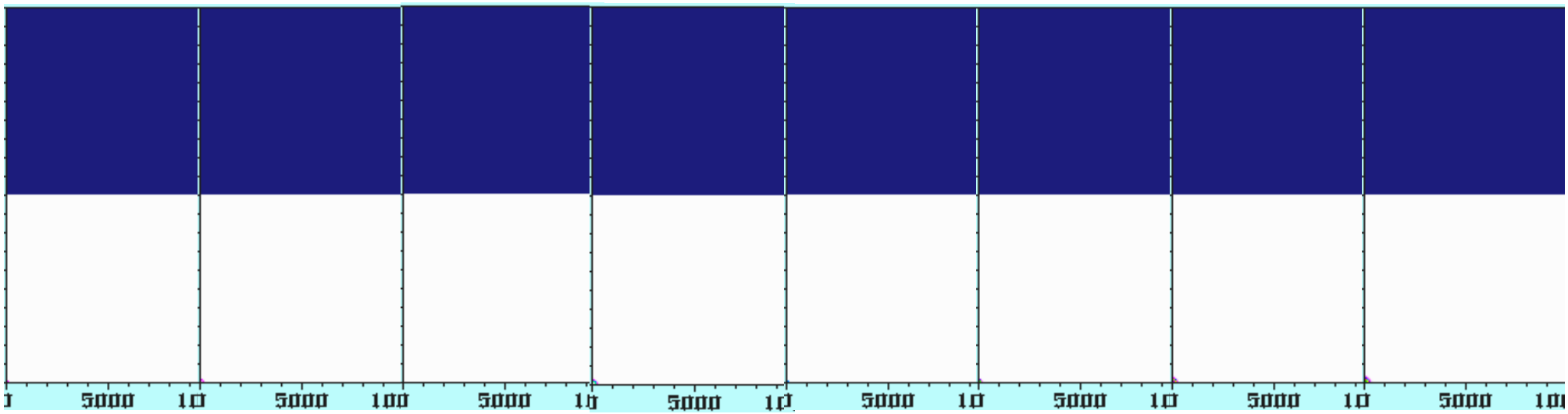
Динамическая балансировка загрузки процессоров

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

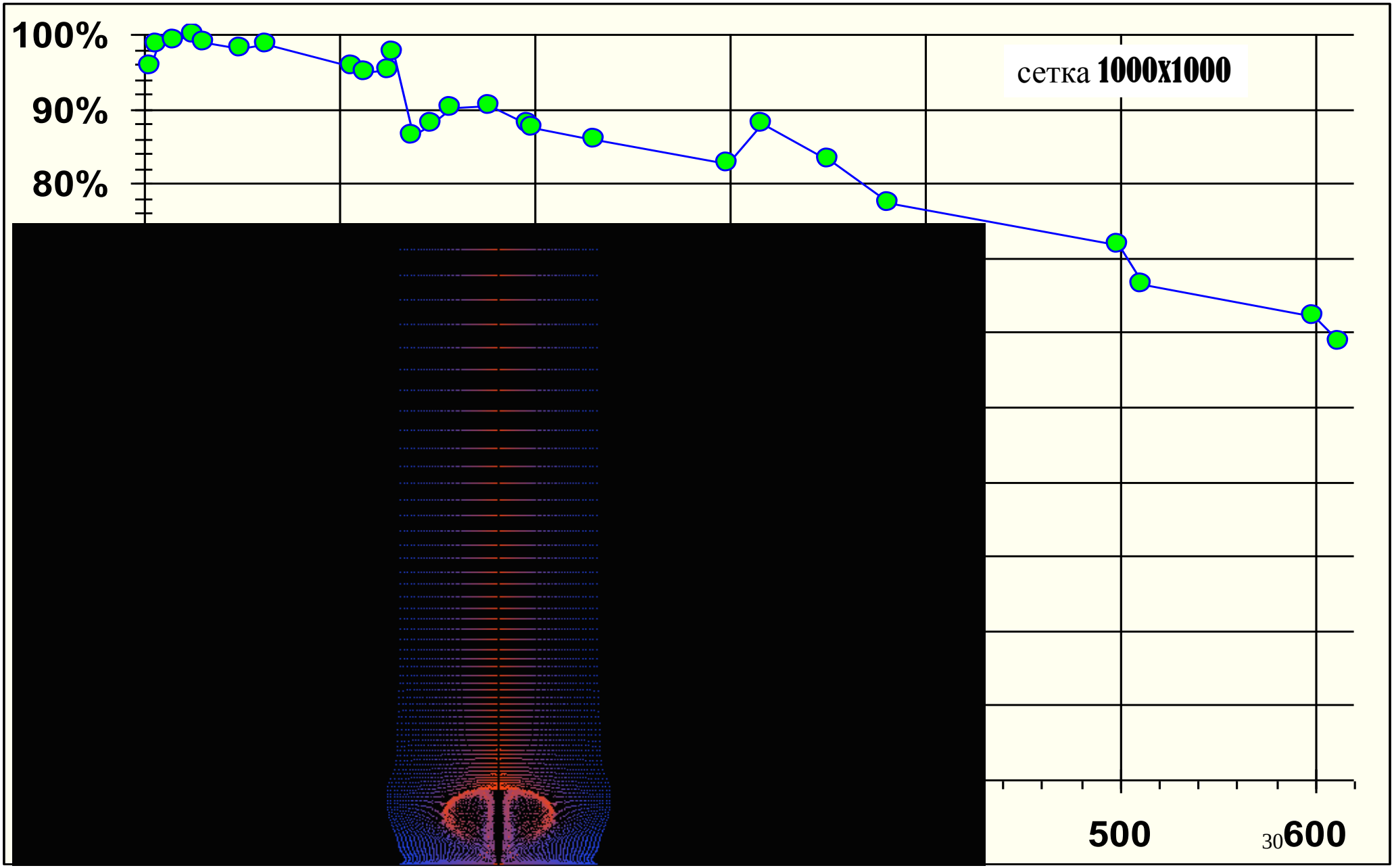


Methane combustion

CH_4 NO NO_2 N_2O CH_3 CO CO_2 T



Эффективность



Основные мотивы возникновения курса

- Сложность создания параллельных алгоритмов и программ:
  - Неадекватность алгоритмов архитектуре ЭВМ
  - Недетерминированность параллельных программ
  - Возможность возникновения тупиков
- Требует привлечения:
  - Апробированных, логически простых методов, гарантированно дающих положительный эффект

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…

- http://lira.imamod.ru/msu201609/ - *ресурс курса*
- *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 програмирования. 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

web: http://lira.imamod.ru