

Введение в параллельные методы

Якововский Михаил Владимирович

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

*Институт прикладной
математики им. М.В.Келдыша
Российской академии наук*



*Кафедра суперкомпьютеров и
квантовой информатики
Кафедра вычислительных методов
ВМК МГУ им. М.В.Ломоносова*

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

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

4 октября 1957 года в 22:28 по МОСКОВСКОМУ времени

КОДОВОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ «ПС-1»

(«Простейший спутник-1»)

Время запуска: 22.28,34 (мск) 4 октября 1957 года

Место: 5-й научно-исследовательский полигон
Минобороны СССР «Тюра-Там» (позднее
переименованный в космодром Байконур)

Ракета-носитель: «Спутник» (создана на базе
межконтинентальной баллистической ракеты «Р-7»)

Что внутри:

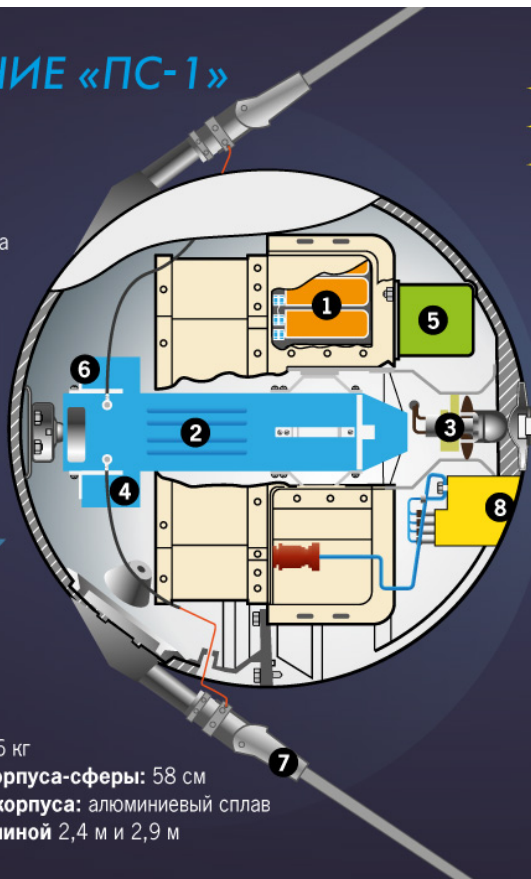
- 1 - блок аккумуляторов массой около 50 кг
- 2 - радиопередатчик
- 3 - вентилятор системы терморегулирования
- 4 - контрольные термореле и барореле
- 5 - дистанционный переключатель
- 6 - сдвоенное термореле системы терморегулирования
- 7 - антенна
- 8 - отрывной электроразъем

Масса: 83,6 кг

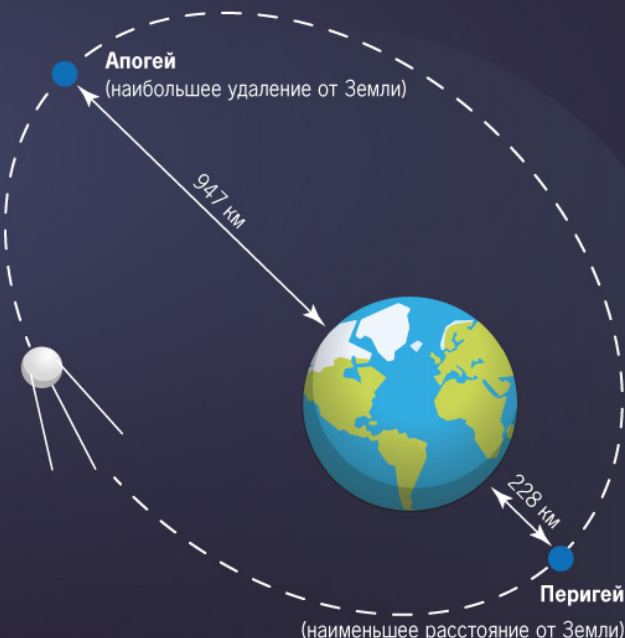
Диаметр корпуса-сферы: 58 см

Материал корпуса: алюминиевый сплав

Антенны длиной 2,4 м и 2,9 м



- ✦ Две недели после старта передавал сигналы («Бип, бип»)
- ✦ Совершил 1440 оборотов вокруг Земли
- ✦ 4 января 1958 года (спустя 92 дня после запуска) прекратил свое существование, сгорев в атмосфере



Руслан КАЮМОВ

<https://www.kp.ru/best/msk/pervyj-iskusstvennyj-sputnik-zemli/>

14 февраля 1954 года в кабинете М.В.Келдыша прошло ПЕРВОЕ совещание по искусственному спутнику Земли

- Присутствовали **С.П. Королев, П.Л. Капица, И.А. Кибель, М.К. Тихонравов, А.Ю. Ишлинский, С.Н. Вернов** и ряд других людей. Это были те, кто был непосредственно связан с созданием космической техники, и те, кто мог высказать предложения по научным исследованиям, которые нужно было бы проводить со спутников.
- В 1954 году **М.В.Келдышем, С.П.Королевым и М.К.Тихонравовым** было представлено письмо в ЦК КПСС и Совет министров с предложением о создании и запуске искусственного спутника Земли

Компьютеры, применение

- Уже до начала войны стало ясно, что возрастающая скорость самолётов опрокинула классические методы управления огнём и что необходимо встроить в прибор управления огнём все вычислительные устройства, обеспечивающие расчеты для выстрела.
- ... пилот *не имеет возможности* неограниченного манёвра.

Можно решать задачу предсказания положения самолёта через требуемое время

Нортберт Винер, 1940

Прямой расчет мощности взрыва

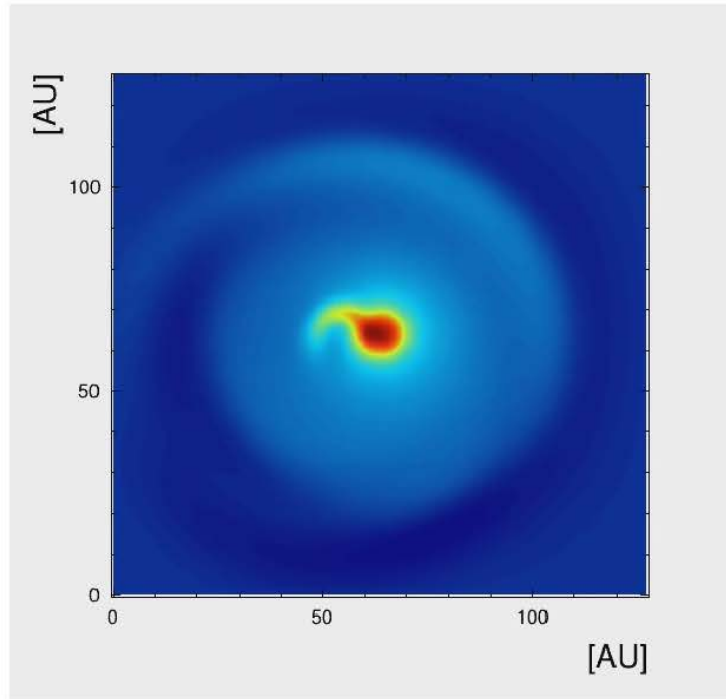
А.А. Самарский.

Наука и общество: история советского атомного проекта (40-50 годы).
Труды международного симпозиума ИСАП-96.

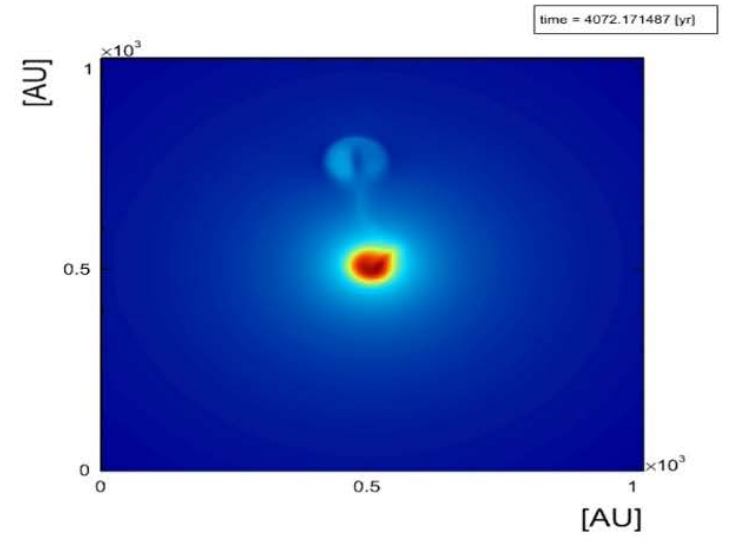
- В 1947 году заканчивались конструкторские работы по созданию советской атомной бомбы. Возник вопрос о теоретическом прогнозе мощности взрыва.
- Присутствовавший на семинаре А.Н. Тихонов предложил провести методом конечных разностей прямой численный расчет взрыва на основе полных моделей физических процессов (распространения нейтронов и тепла, ядерного горения и газодинамики).
- Поэтому это заявление было неожиданным для физиков и вызвало реплику Л.Д. Ландау, что такой расчет явился бы научным подвигом.
- Испытания подтвердили высокую точность численного моделирования

Accretion of a cloud of interstellar gas on a compact astronomical object

Low resolution



High resolution



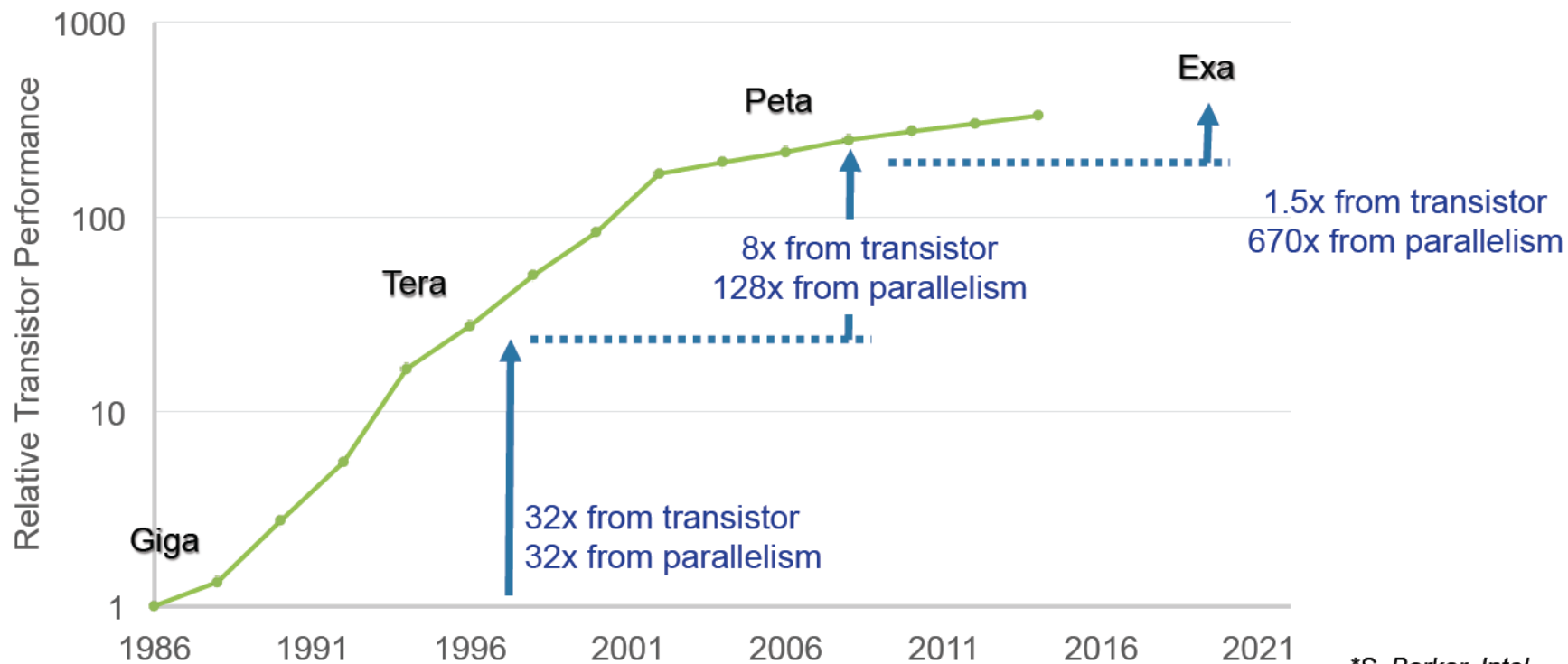
- Interstellar cloud 5 AU
- Density $0.8 \times 10^{-11} \text{ kg/m}^3$
- Cloud speed 300 m/s
- Impact parameter 4-10 AU
- compact astronomical object:
 - Weight 1030 Kg
 - Radius 0.5 AU
- Temperature of space $T = 20 \text{ K}$

July 31, 2016

Paul Messina, Argonne National Laboratory, ECP Director

A Path to Capable Exascale Computing

From Giga to Exa, via Tera & Peta*



Performance from parallelism

Текущее состояние

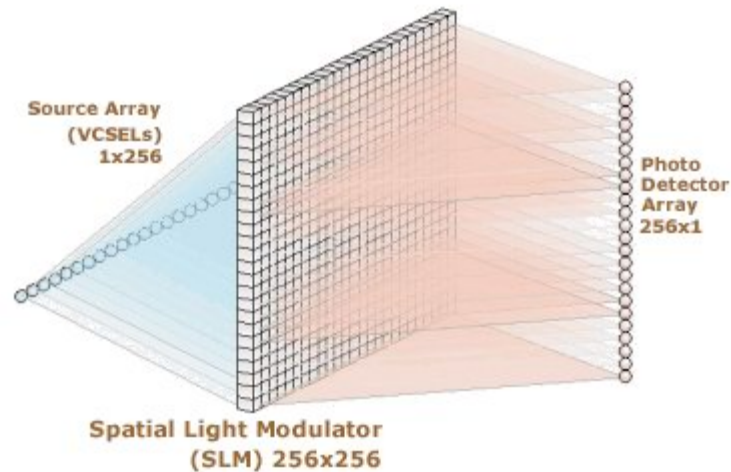
- Вычислительная мощность суперкомпьютеров велика, но:
 - *Она образована суммой мощностей множества исполнительных устройств*
- На протяжении ряда лет увеличение производительность компьютера автоматически означало снижение времени работы существующих программ. Теперь это не так:
 - *Последовательные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

Перспективы

- Смена технологии
 - Механические
 - Пневматические
 - Ламповые
 - Электронные
 - СБИС
 - Фотонные
- Смена принципов функционирования
 - Квантовые вычисления
- Параллелизм
 - **Многопроцессорность**
 - Векторность
 - Реконфигурируемость
 - Выполнение вычислений по готовности данных

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

Example:

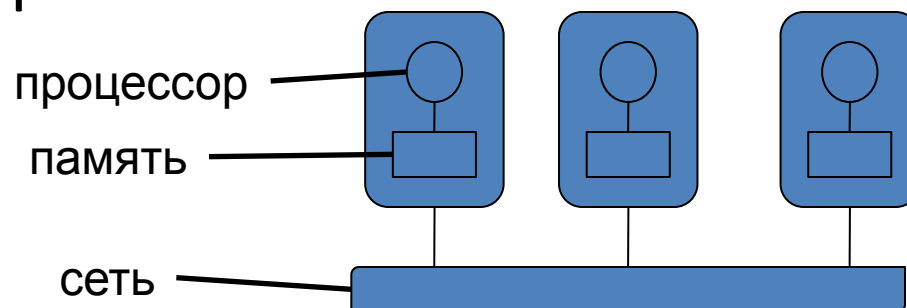


Энергопотребление процессора составляет 40 Вт (5 мВт на 1 млрд. операций в секунду)

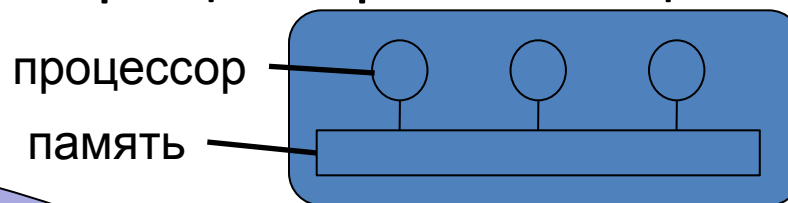
Д.Колисниченко. Оптические процессоры. /
URL: <http://dkws.narod.ru/linux/etc/optical/cpu.html>

Многопроцессорные системы

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

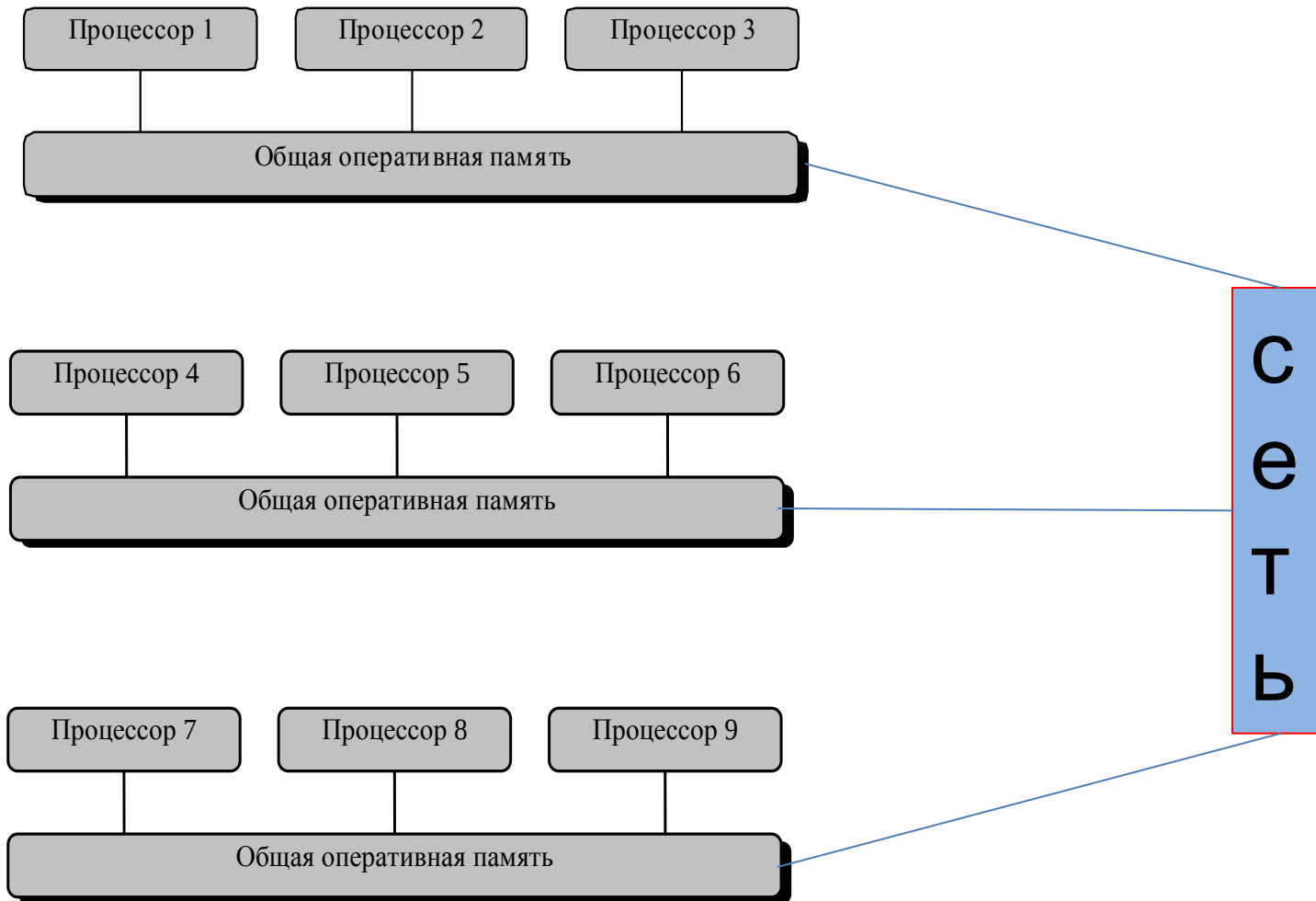


- Системы с доступом всех процессоров к общей оперативной памяти



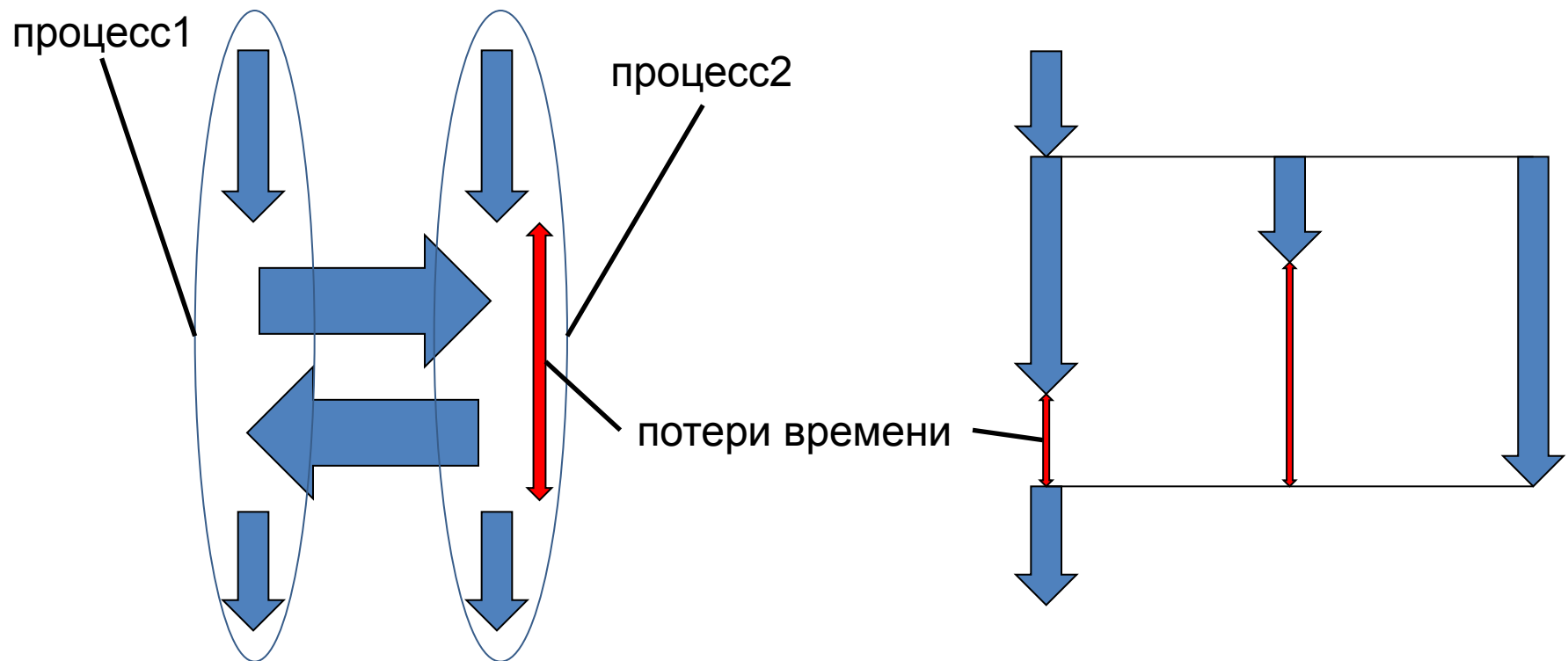
- Графические ускорители
- ПЛИС
- Нейрокомпьютеры
- Другие ...

Вычислительные системы общего вида



Параллельная программа

Параллельная программа – это ансамбль взаимодействующих слабосвязанных последовательных процессов

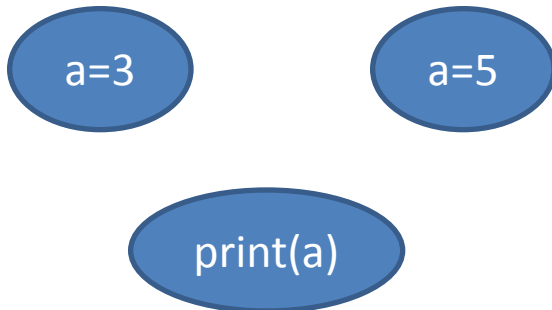


Методы построения параллельных алгоритмов

... если для нас представляют интерес реально работающие системы, то требуется убедиться, (и убедить всех сомневающихся) в корректности наших построений

... системе часто придется работать в невоспроизводимых обстоятельствах, и мы едва ли можем ожидать сколько-нибудь серьезной помощи от тестов

*Dijkstra E.W.
1966*



Не все задачи решаются простыми методами, но многие - решаются

Простые методы построения параллельных алгоритмов:

- Статическая балансировка
 - метод сдваивания
 - геометрический параллелизм
 - конвейерный параллелизм
- Динамическая балансировка
 - коллективное решение
 - диффузная балансировка загрузки

Ускорение и эффективность параллельных алгоритмов

ускорение
параллельного
алгоритма

$$S(p) = T(1)/T(p)$$

эффективность
использования
вычислительной мощности

$$E(p) = S(p)/p$$

Может ли ускорение превышать число процессоров?

$$S(p) > p$$

$$E(p) > 100\%$$

Ускорение и эффективность параллельных алгоритмов

ускорение
параллельного
алгоритма

$$S(p) = T(1)/T(p)$$

эффективность
использования
вычислительной мощности

$$E(p) = S(p)/p$$

Может ли ускорение превышать число процессоров?

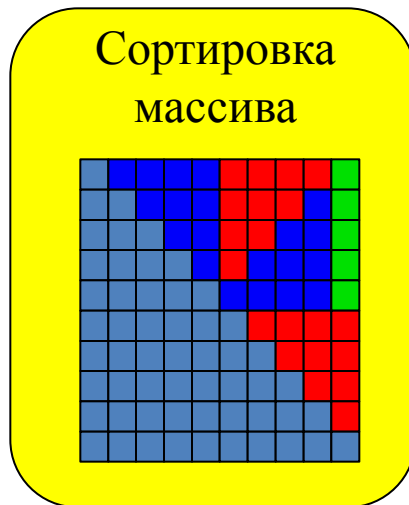
Да, если в последовательном алгоритме выполняется больше операций, чем в параллельном

$$S(p) > p$$
$$E(p) > 100\%$$

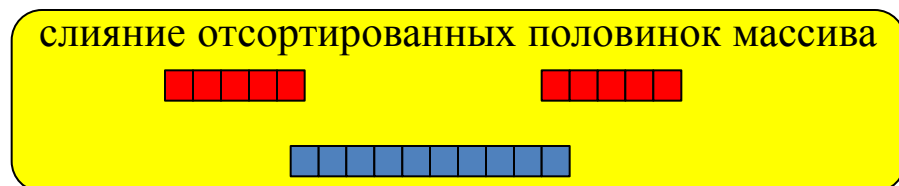
Да, если учитывать влияние аппаратных особенностей вычислительной системы

Может ли быть $S(p) > p$?

- В последовательном алгоритме выполняется больше операций, чем в параллельном



$$\frac{n(n-1)}{2} \sim \frac{n^2}{2}$$

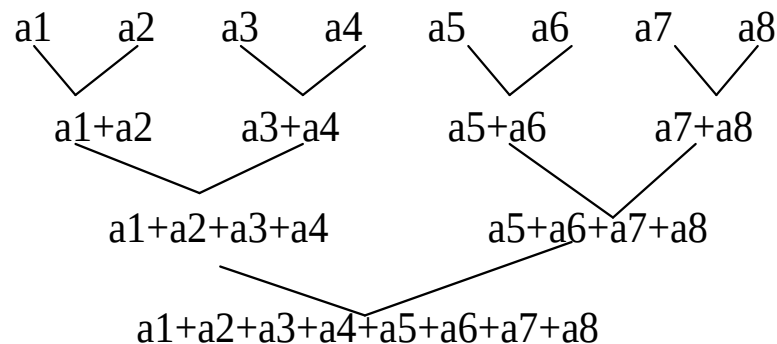


$$\frac{\left(\frac{n}{2}\right)^2}{2} + n \sim \frac{1}{4} \frac{n^2}{2}$$

Метод сдваивания

$$T_{p=n/2}(n) = \tau_c \log_2 n$$

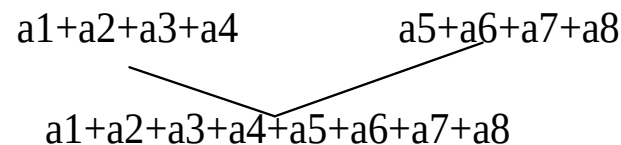
$$S_{p=n/2}(n) = \frac{(n-1)}{\log_2 n} \quad E_{p=n/2}(n) \approx \frac{1}{\log_2 n}$$



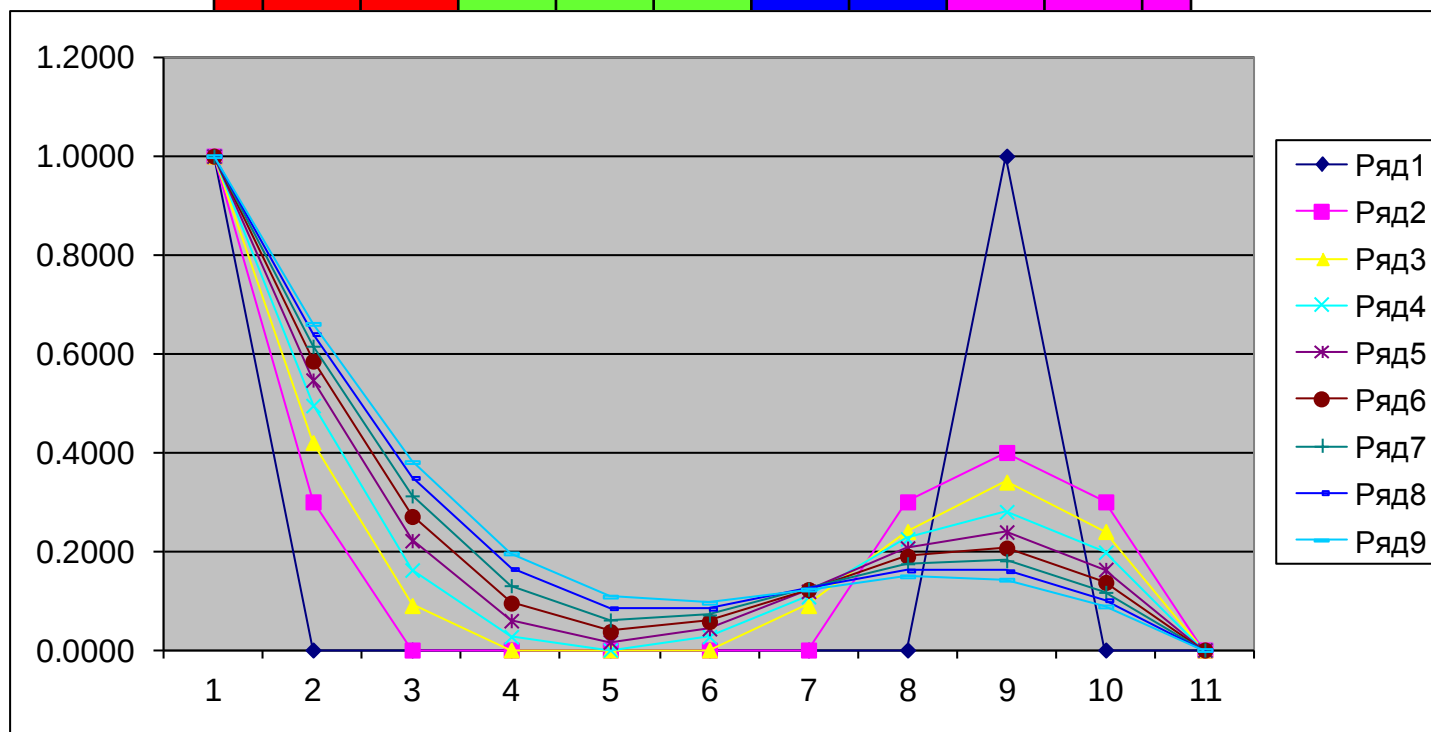
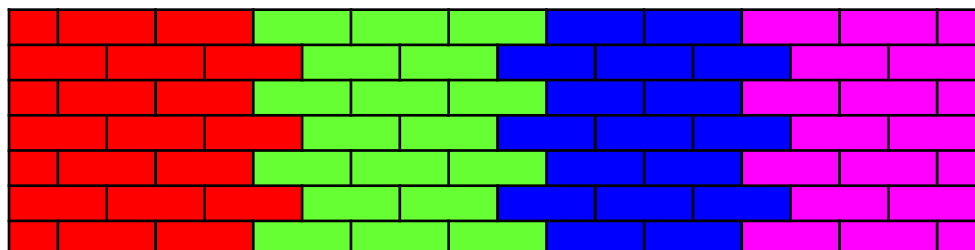
Модифицированный метод сдваивания

$$T_{p=\frac{n}{\log_2 n}}(n) \approx 2\tau_c \log_2 n$$

$$S_{p=\frac{n}{\log_2 n}}(n) \approx \frac{(n-1)}{2\log_2 n} \quad E_{p=\frac{n}{\log_2 n}}(n) \approx \frac{1}{2}$$

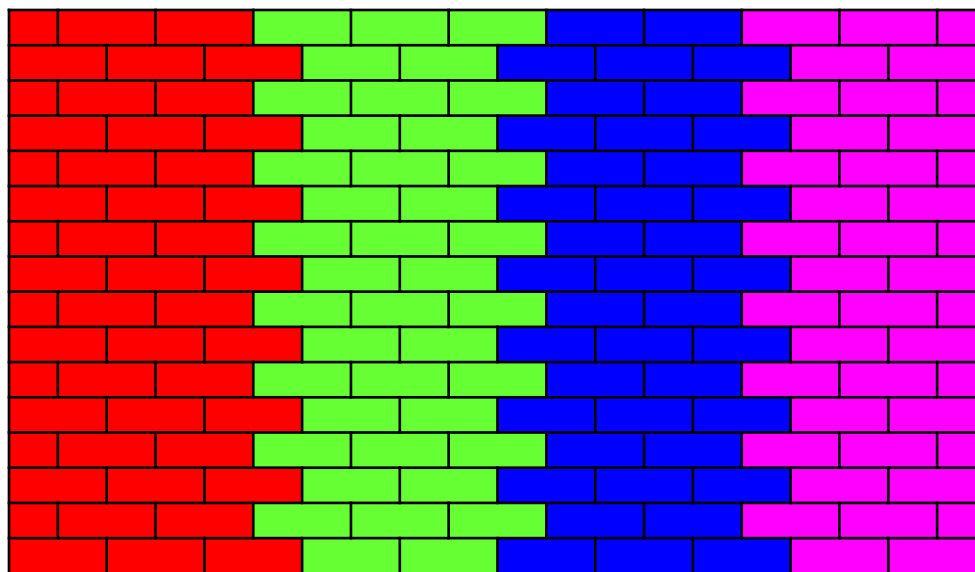


Метод геометрического параллелизма



Нагрев стержня

Метод геометрического параллелизма



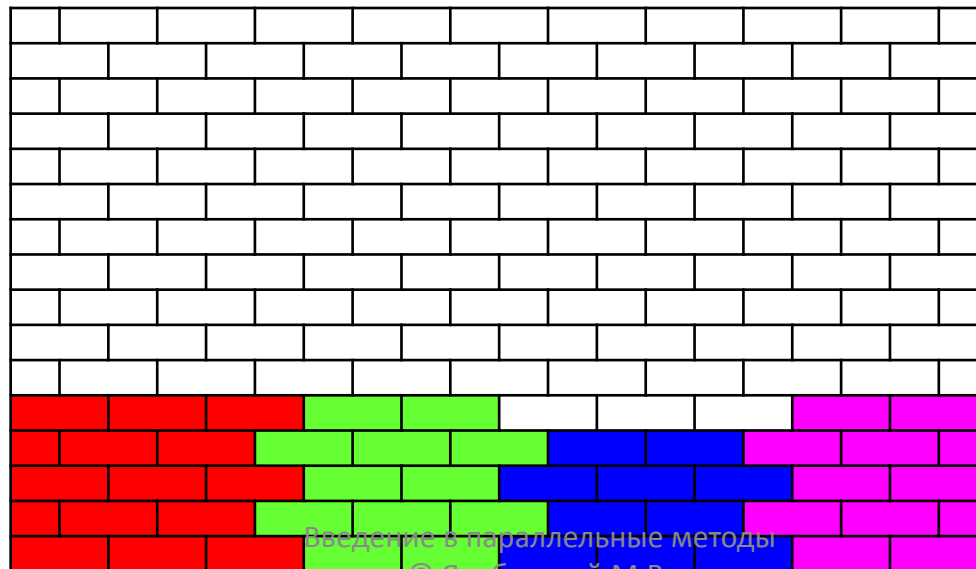
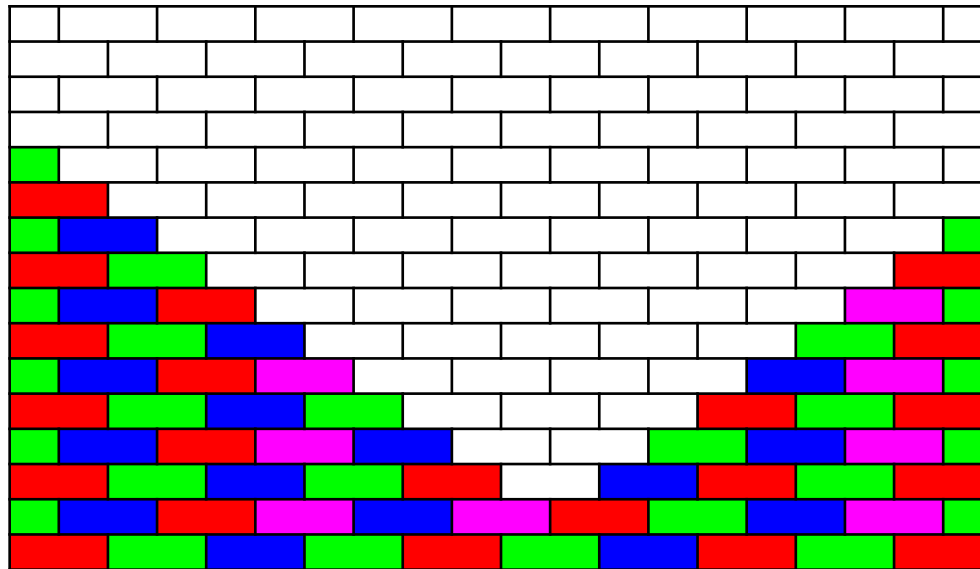
$$T_1(kn) = \tau_c kn$$

$$T_p(kn) = \tau_c \frac{kn}{p} + 4k\tau_s$$

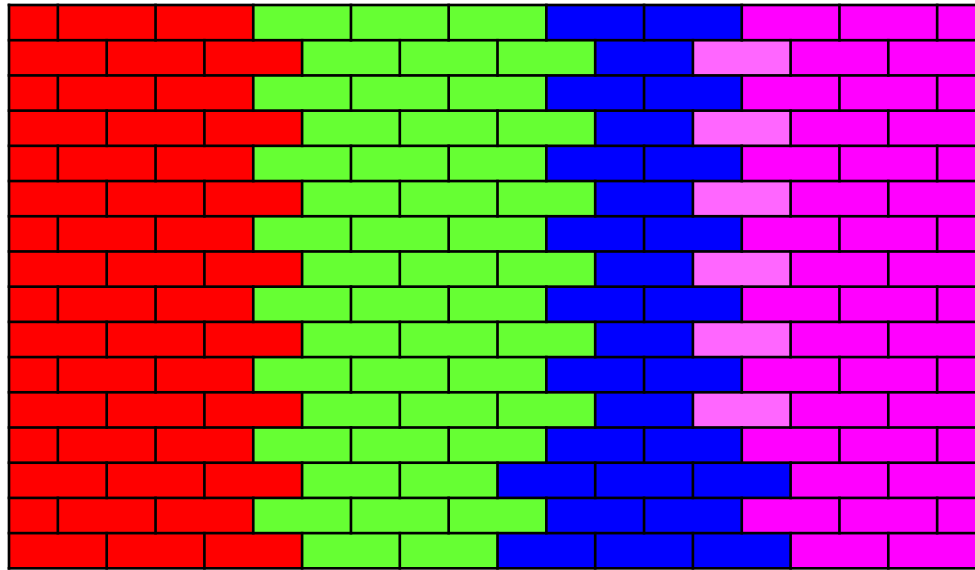
$$S_p(kn) = p \frac{1}{1 + 4 \frac{p}{n} \frac{\tau_s}{\tau_c}}$$

$$E_p(kn) = \frac{1}{1 + 4 \frac{p}{n} \frac{\tau_s}{\tau_c}}$$

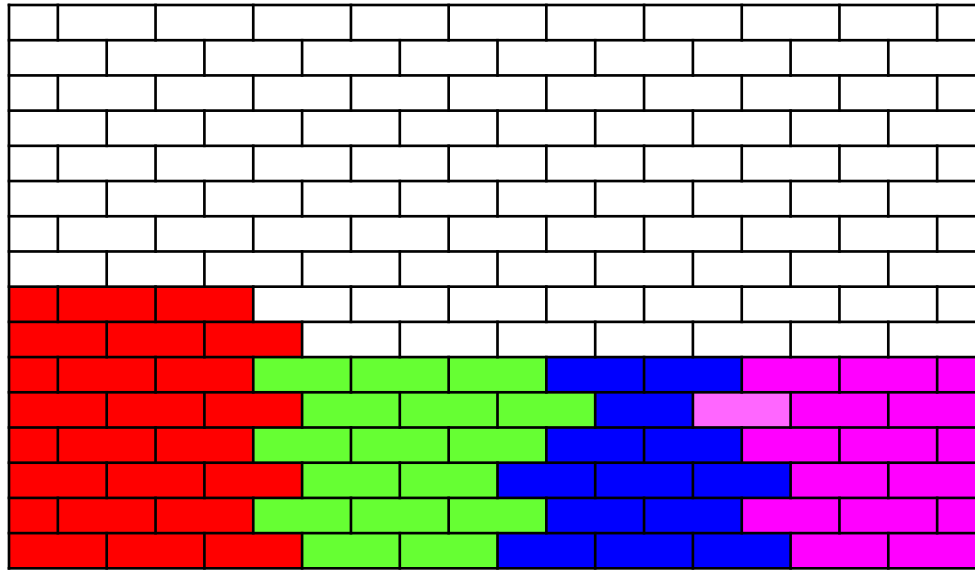
Метод геометрического параллелизма



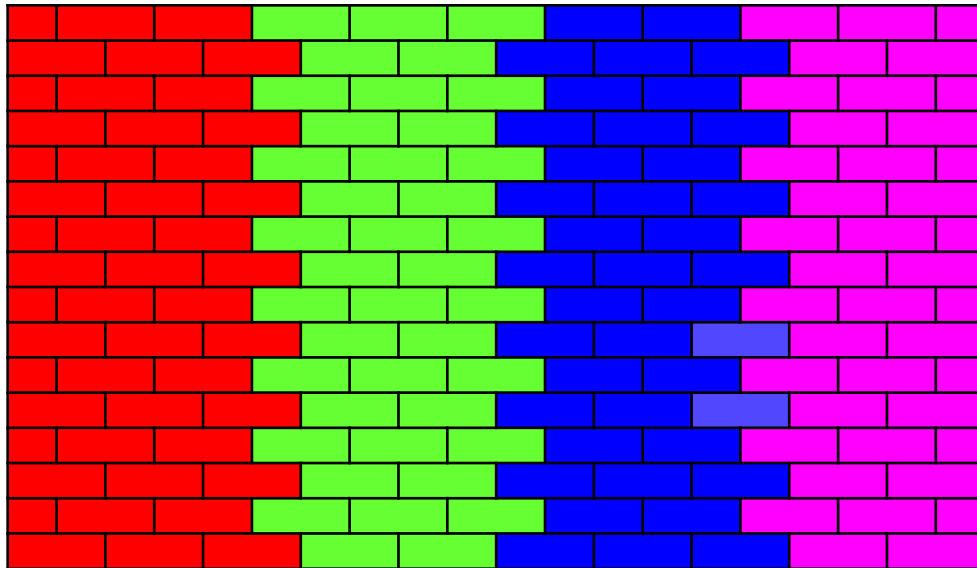
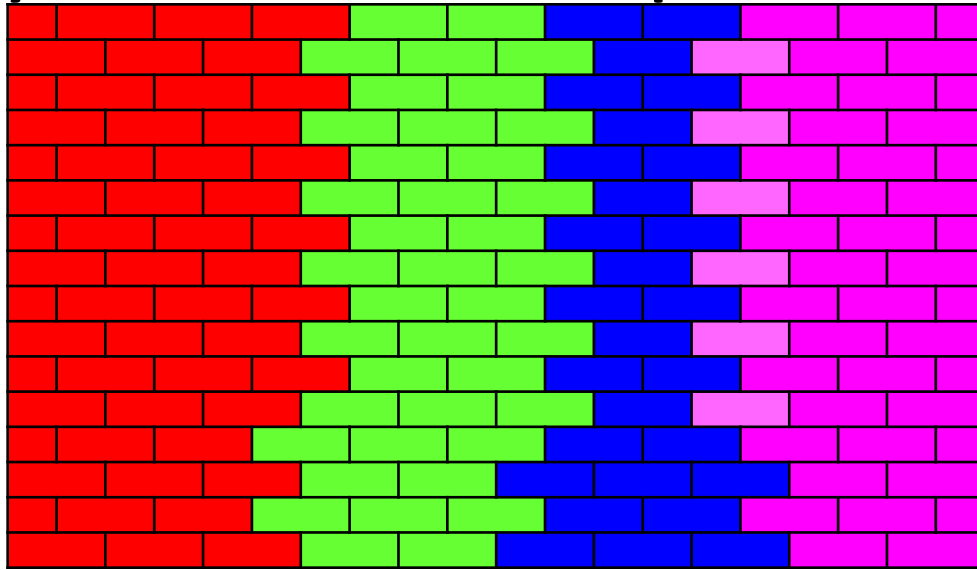
Диффузная балансировка загрузки



Диффузная балансировка загрузки



Диффузная балансировка загрузки



Метод коллективного решения

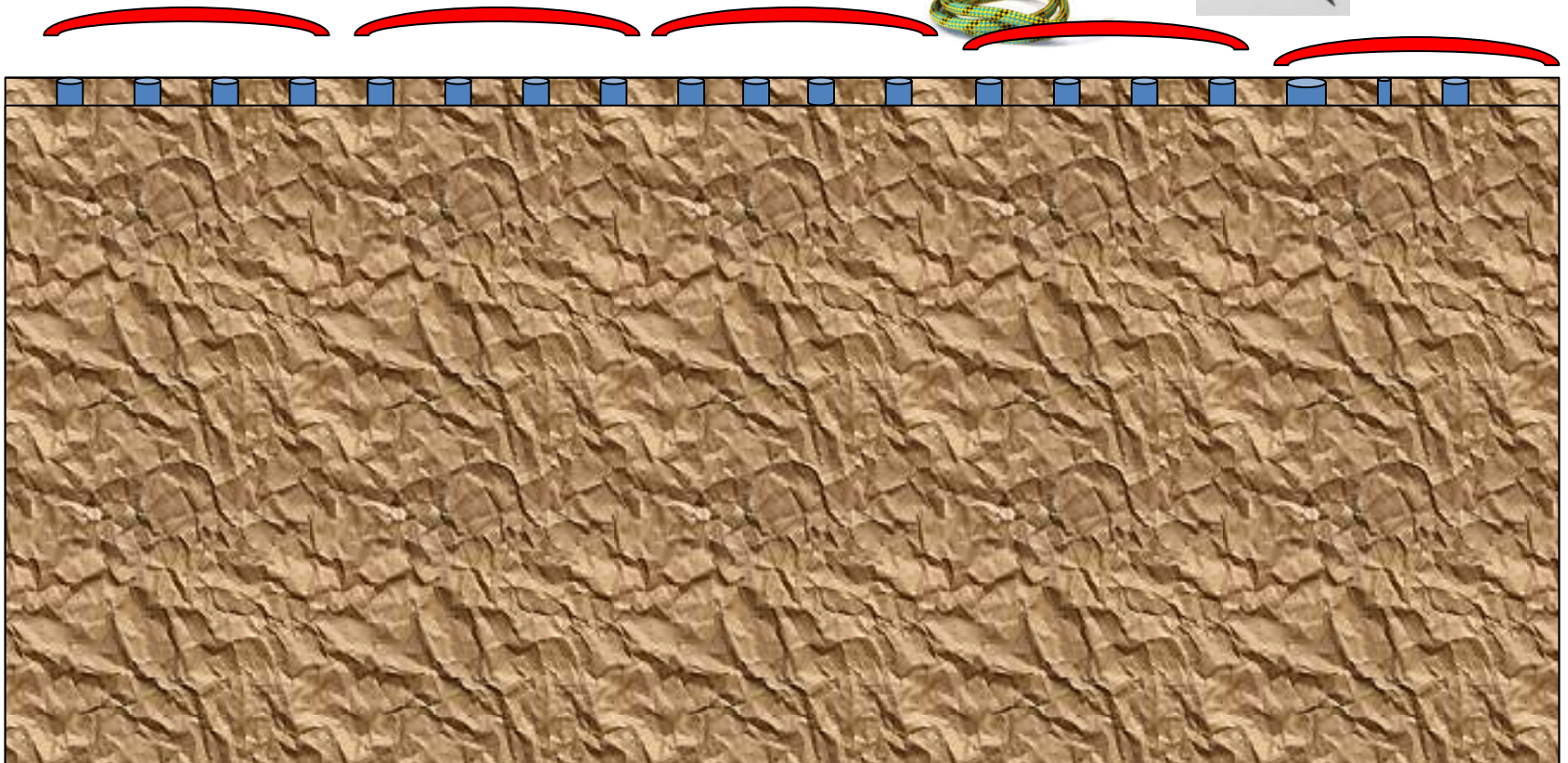
Решение множества независимых друг от друга заданий, в таких прикладных областях как:

- Табулирование функций
- Решение задач методами Монте-Карло
- Численное интегрирование гладких многомерных функций
- ...

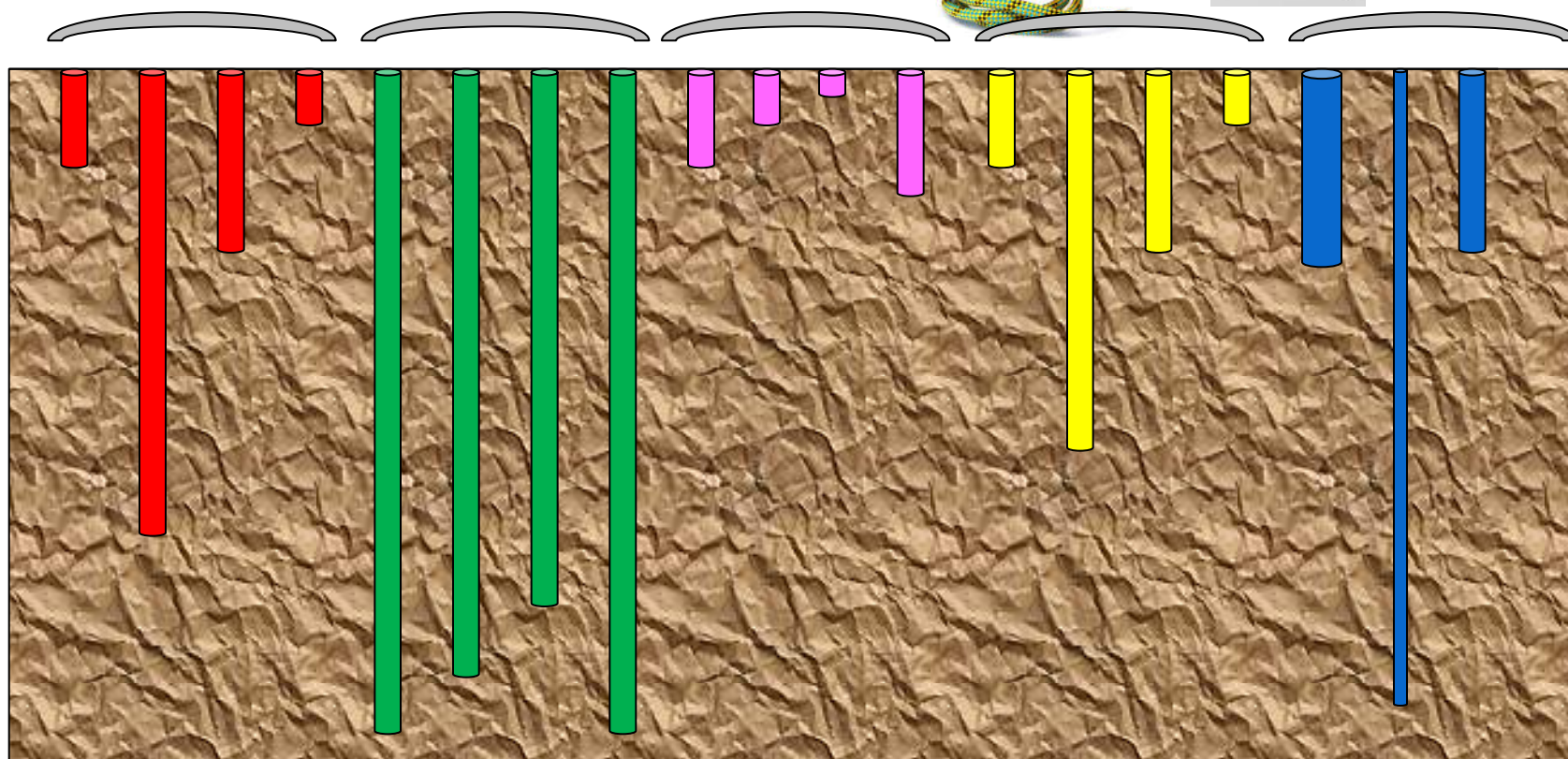
Найти самую глубокую скважину



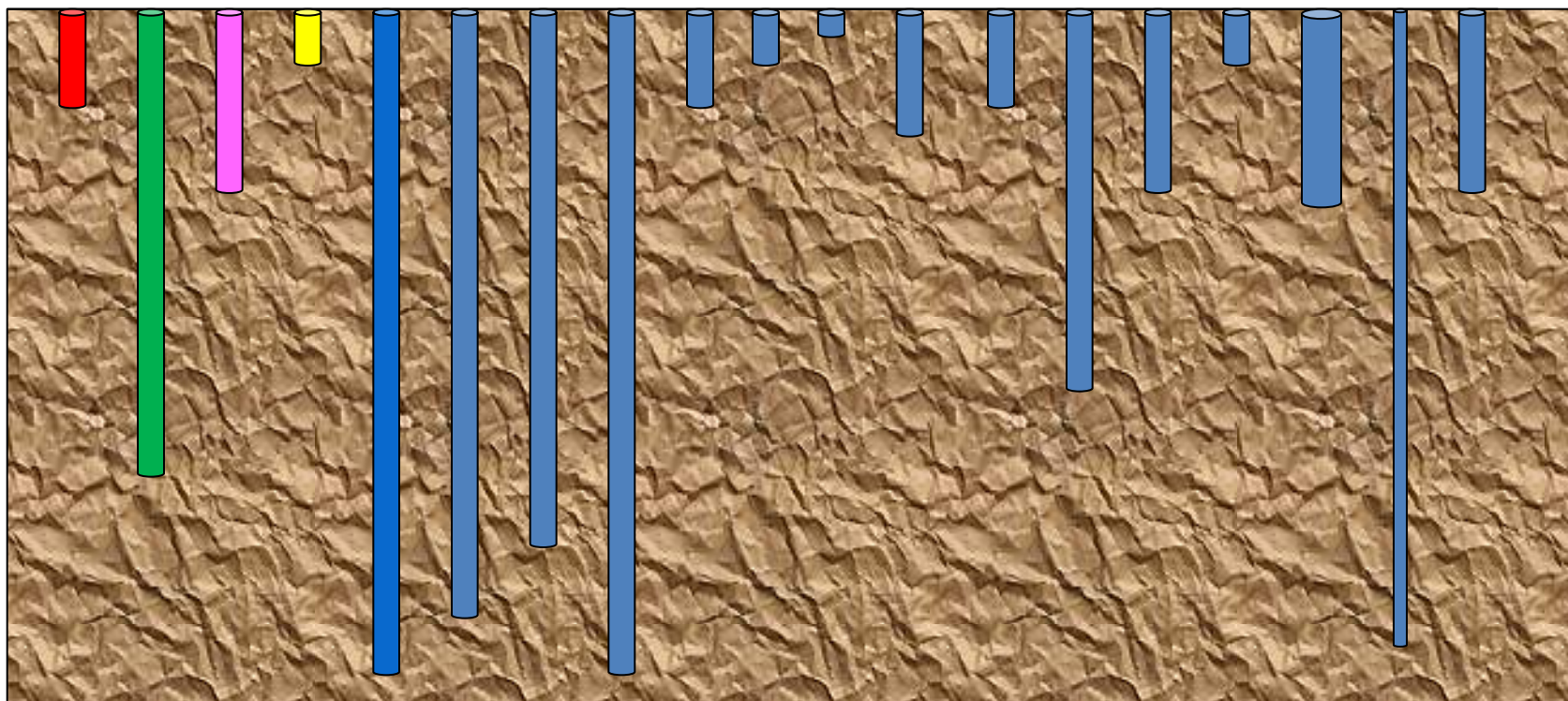
Найти самую глубокую скважину



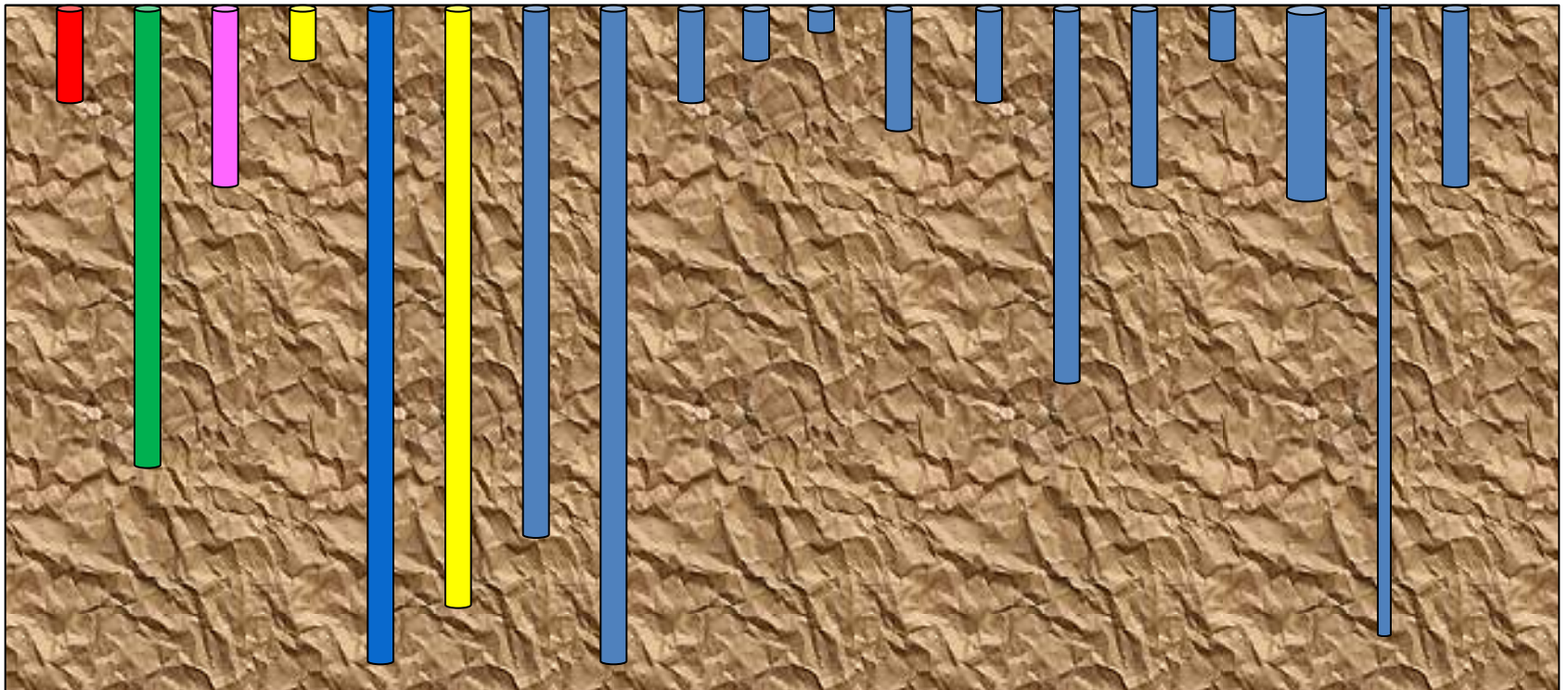
Найти самую глубокую скважину



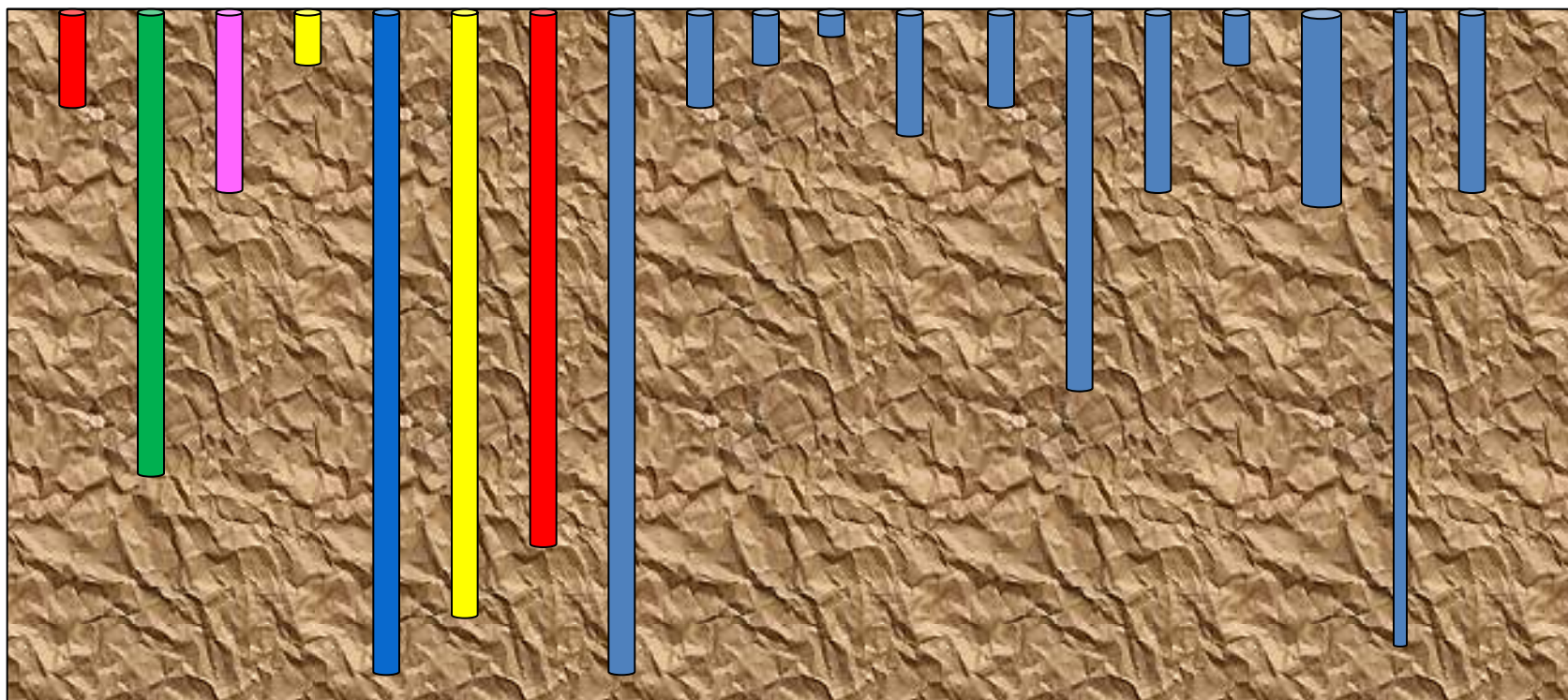
Найти самую глубокую скважину



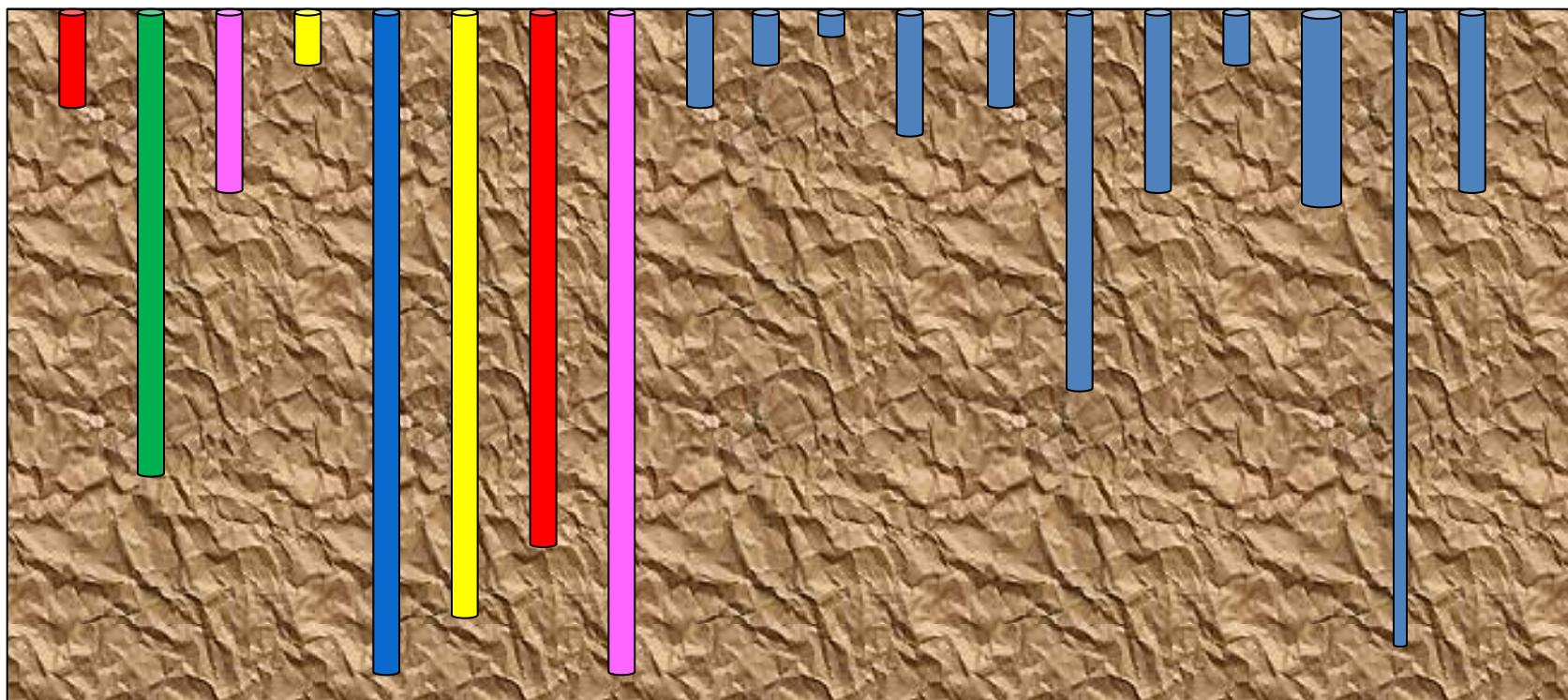
Найти самую глубокую скважину



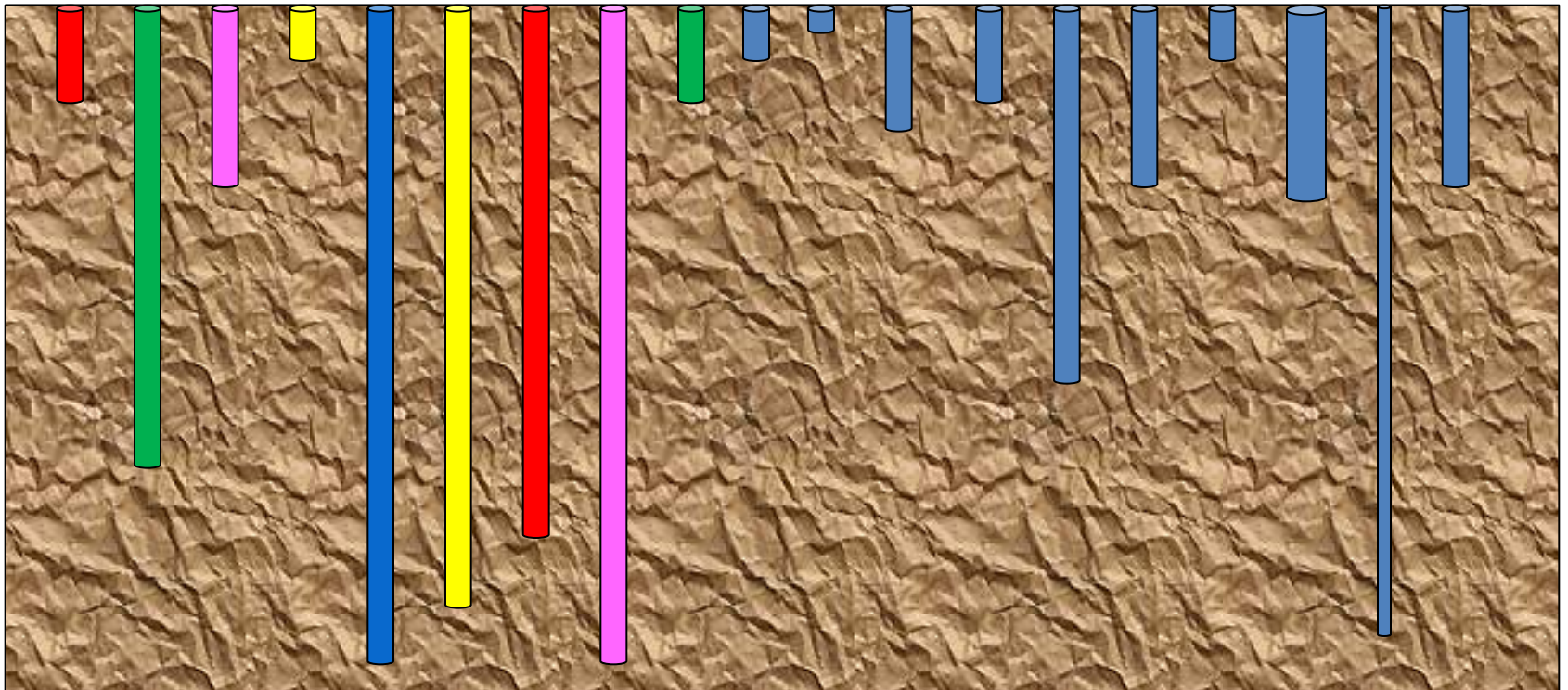
Найти самую глубокую скважину



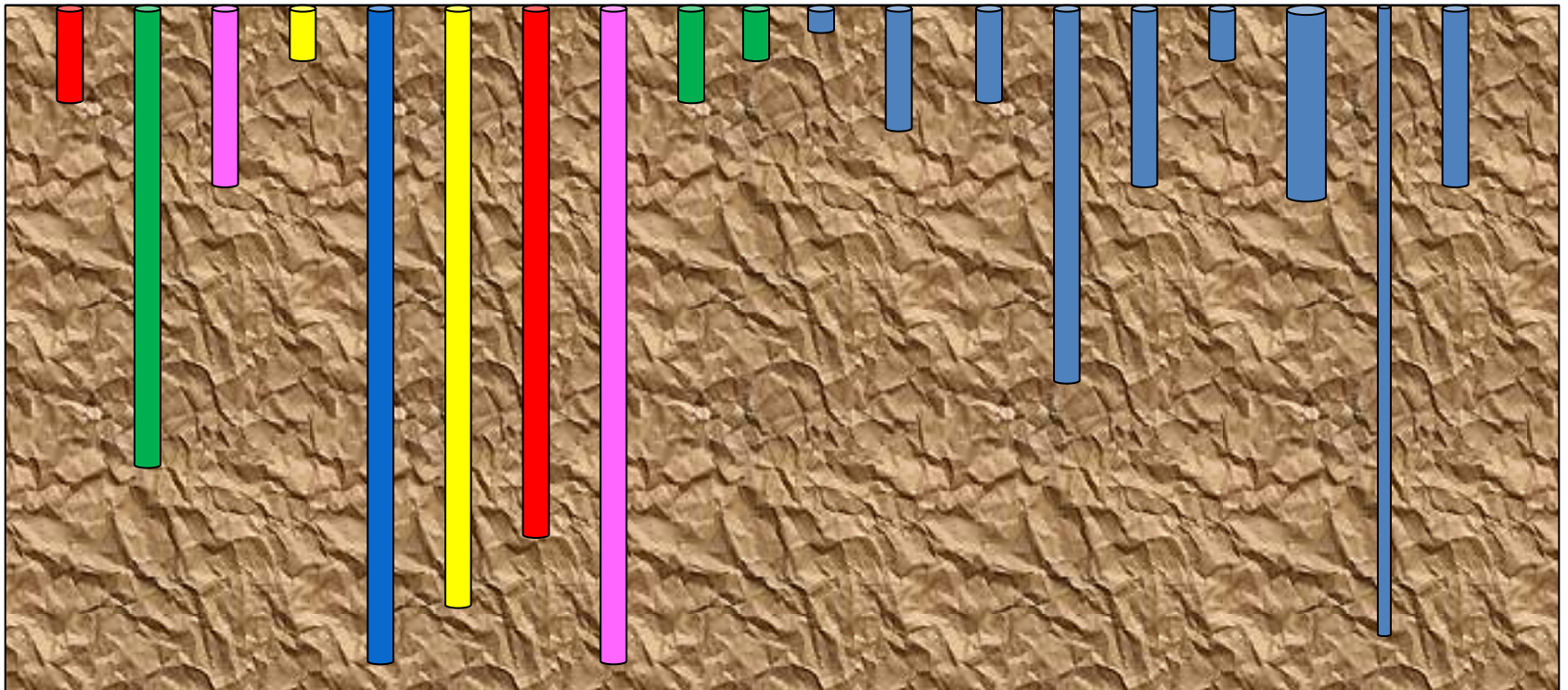
Найти самую глубокую скважину



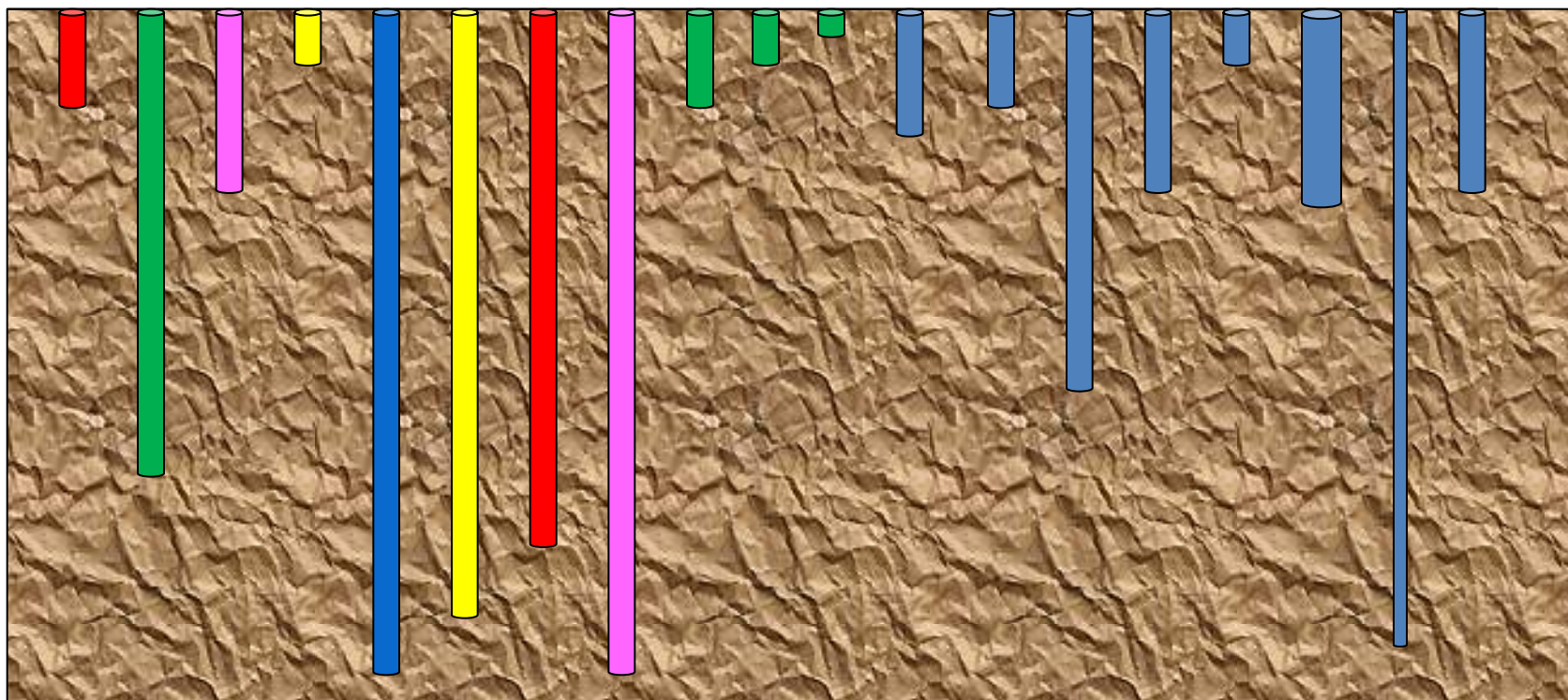
Найти самую глубокую скважину



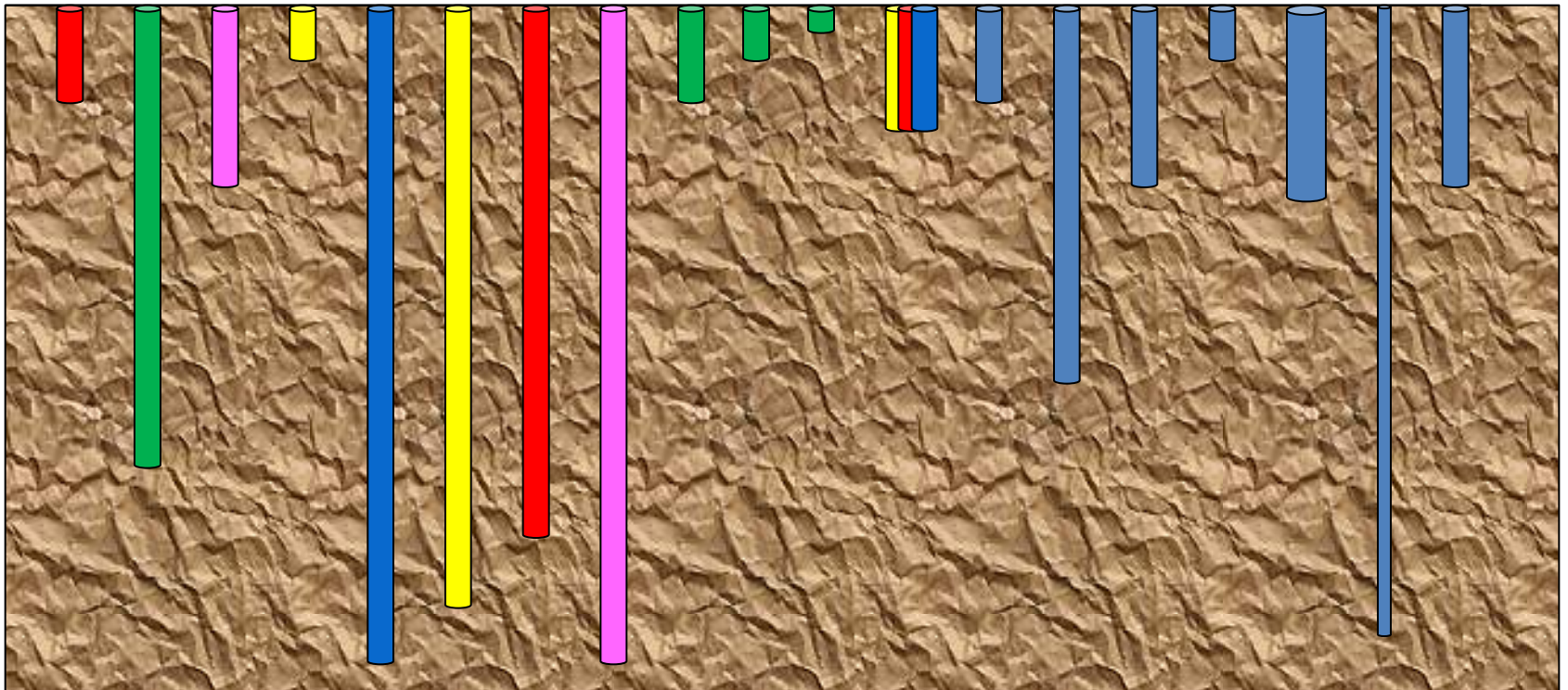
Найти самую глубокую скважину



Найти самую глубокую скважину

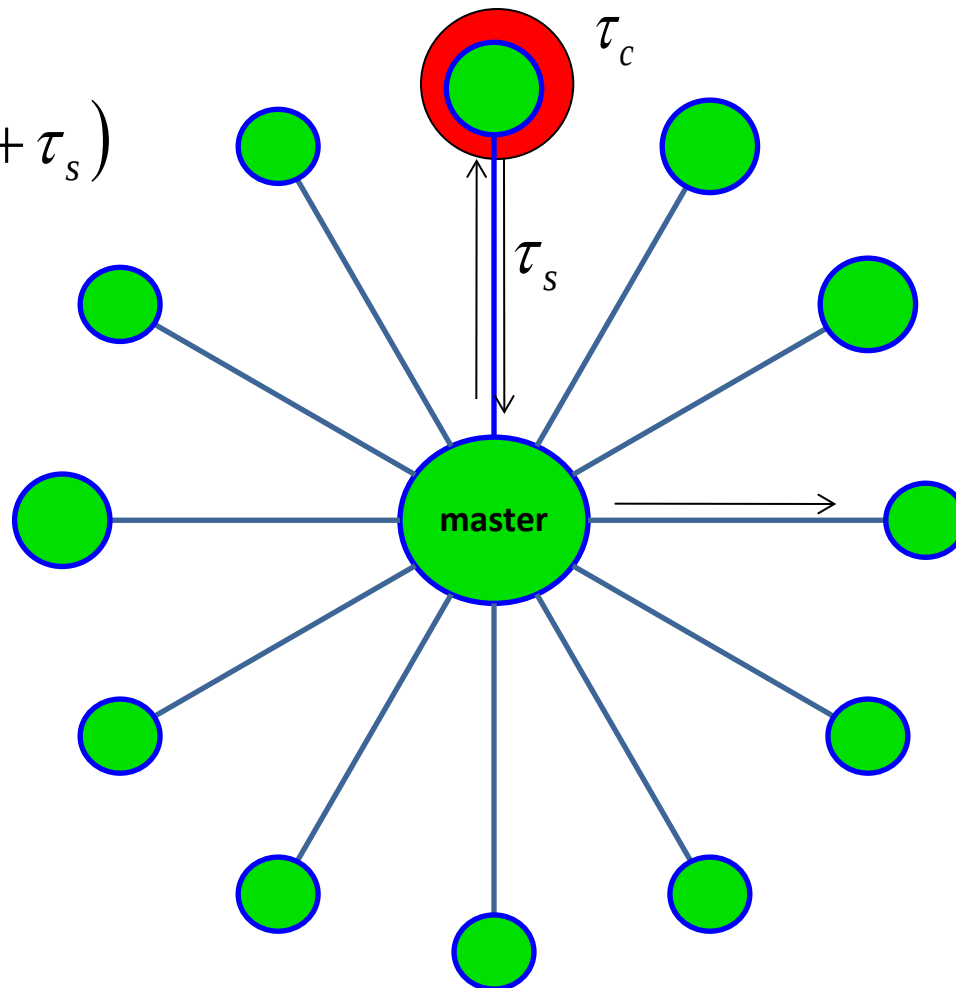


Найти самую глубокую скважину



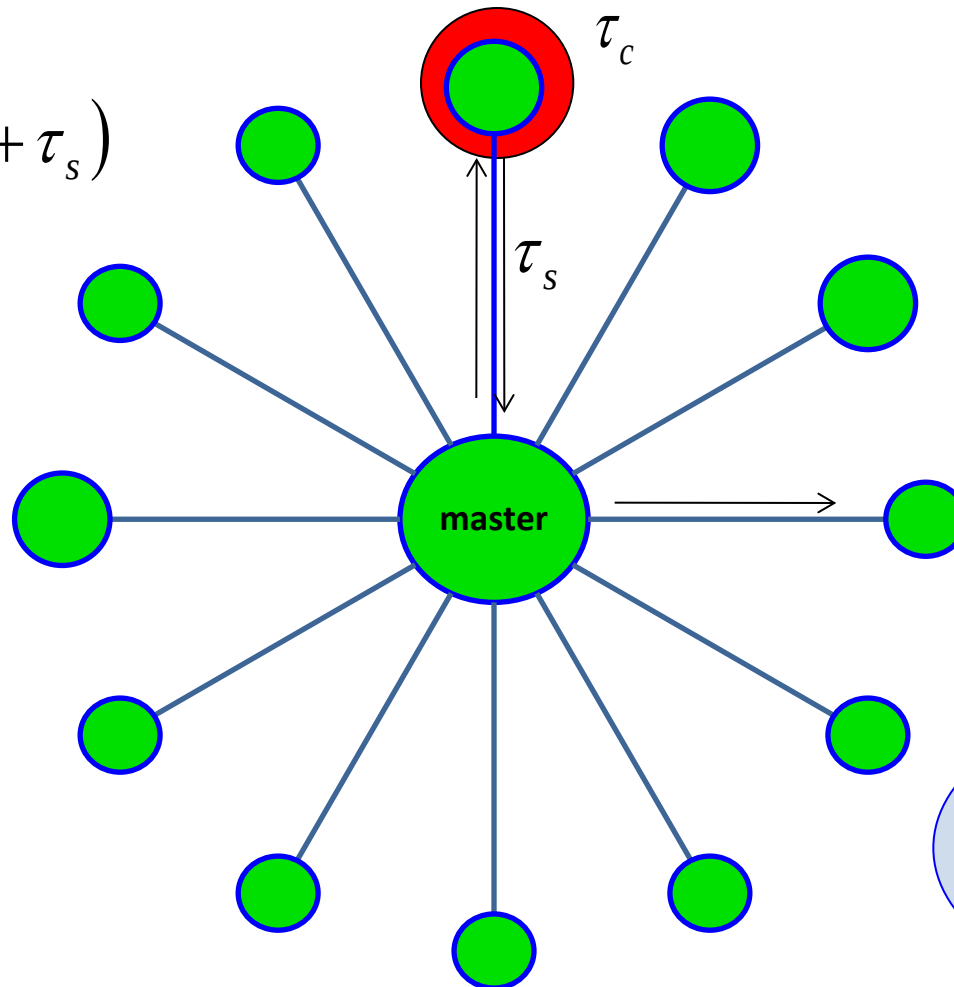
Метод коллективного решения

$$T_p = \frac{N}{p} (\tau_c + \tau_s)$$



Метод коллективного решения

$$T_p = \frac{N}{p} (\tau_c + \tau_s)$$



$$p_{\max} = \frac{\tau_c}{\tau_s}$$

Метод коллективного решения (укладка паркета)

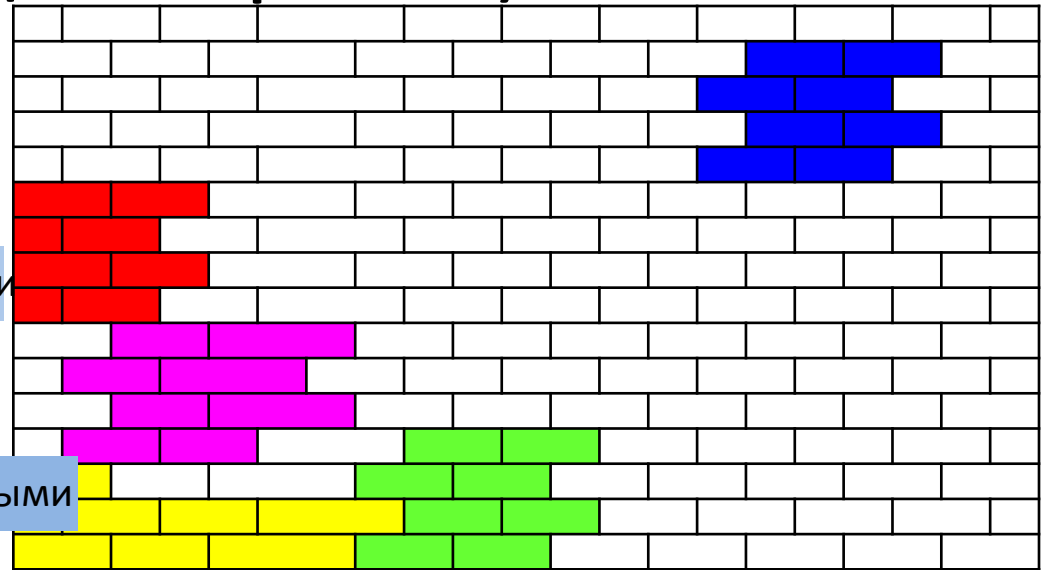
$$T_1(kn) = \tau_c kn$$

$$T_p(kn) = \frac{kn}{rp} (r\tau_c + \tau_s)$$

Число порций

Обработка порции

Обмен данными



$$S_{p=\frac{r\tau_c}{\tau_s}}(kn) = \left(\frac{r\tau_c}{\tau_s} \right)^2 \frac{1}{1 + \frac{r\tau_c}{\tau_s}} = p_{\max} \frac{1}{1 + \frac{1}{p_{\max}}}$$

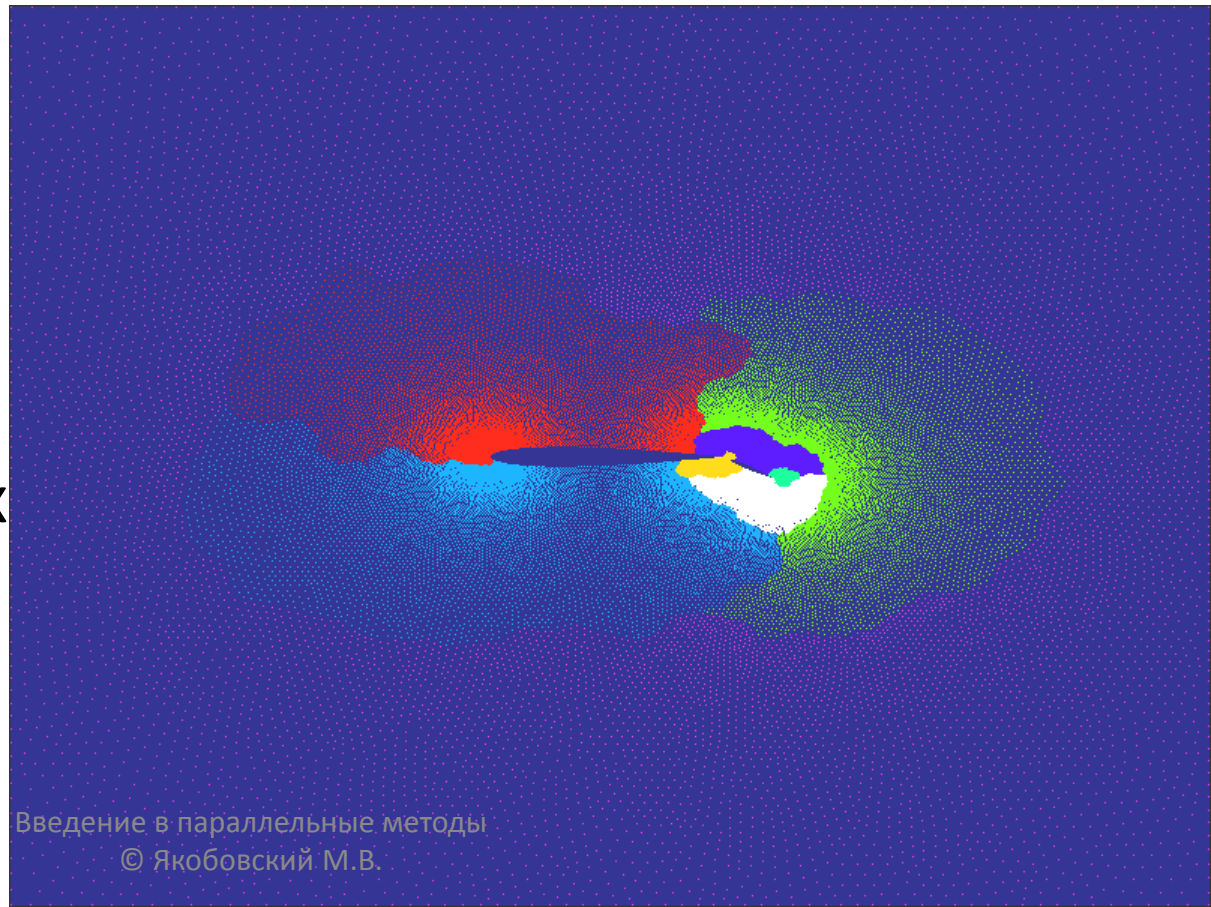
$$p_{\max} = \frac{r\tau_c}{\tau_s}$$

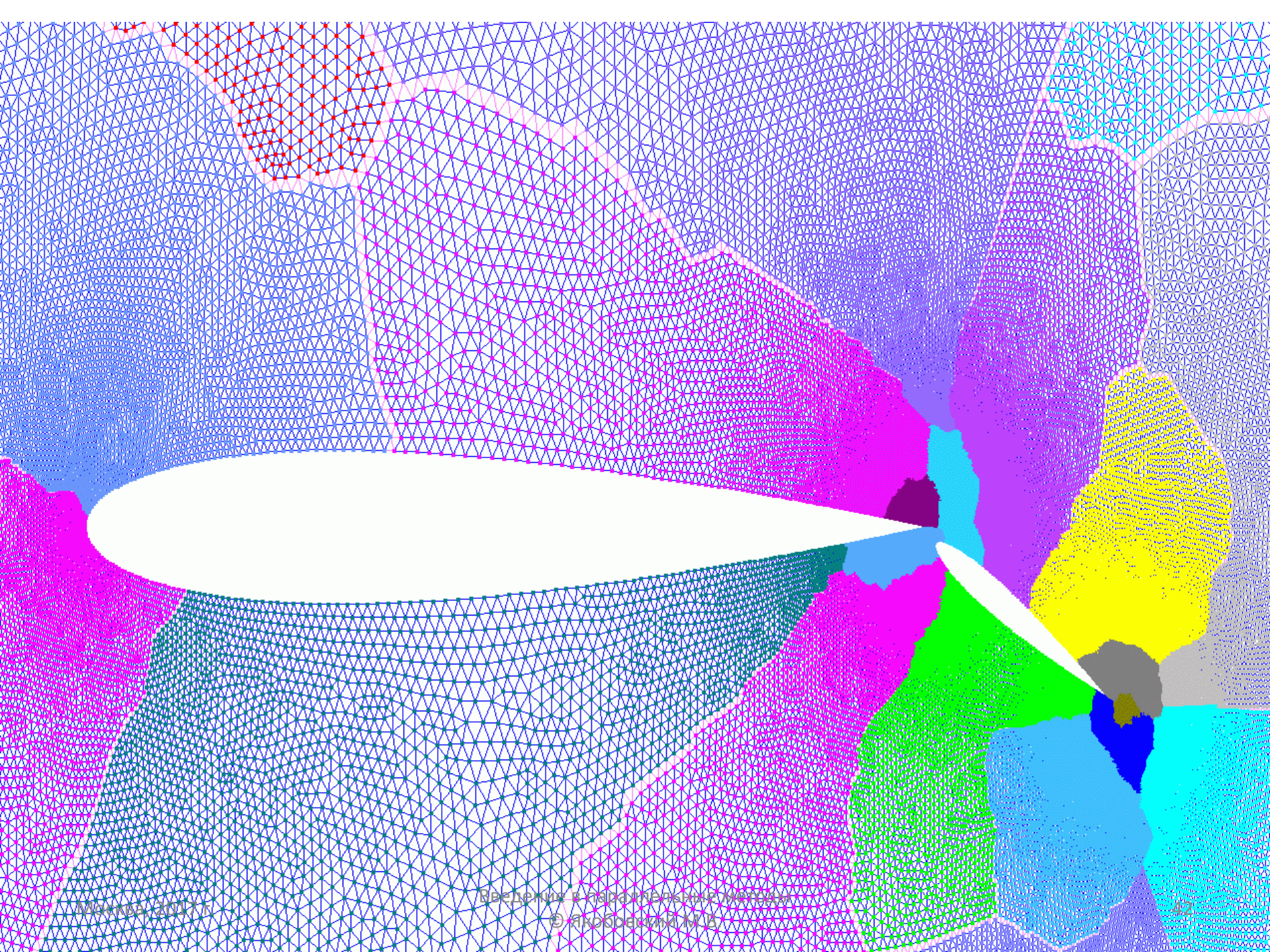
$$E_{p=\frac{r\tau_c}{\tau_s}}(kn) = \frac{1}{1 + \frac{\tau_s}{r\tau_c}}$$

r – размер порции

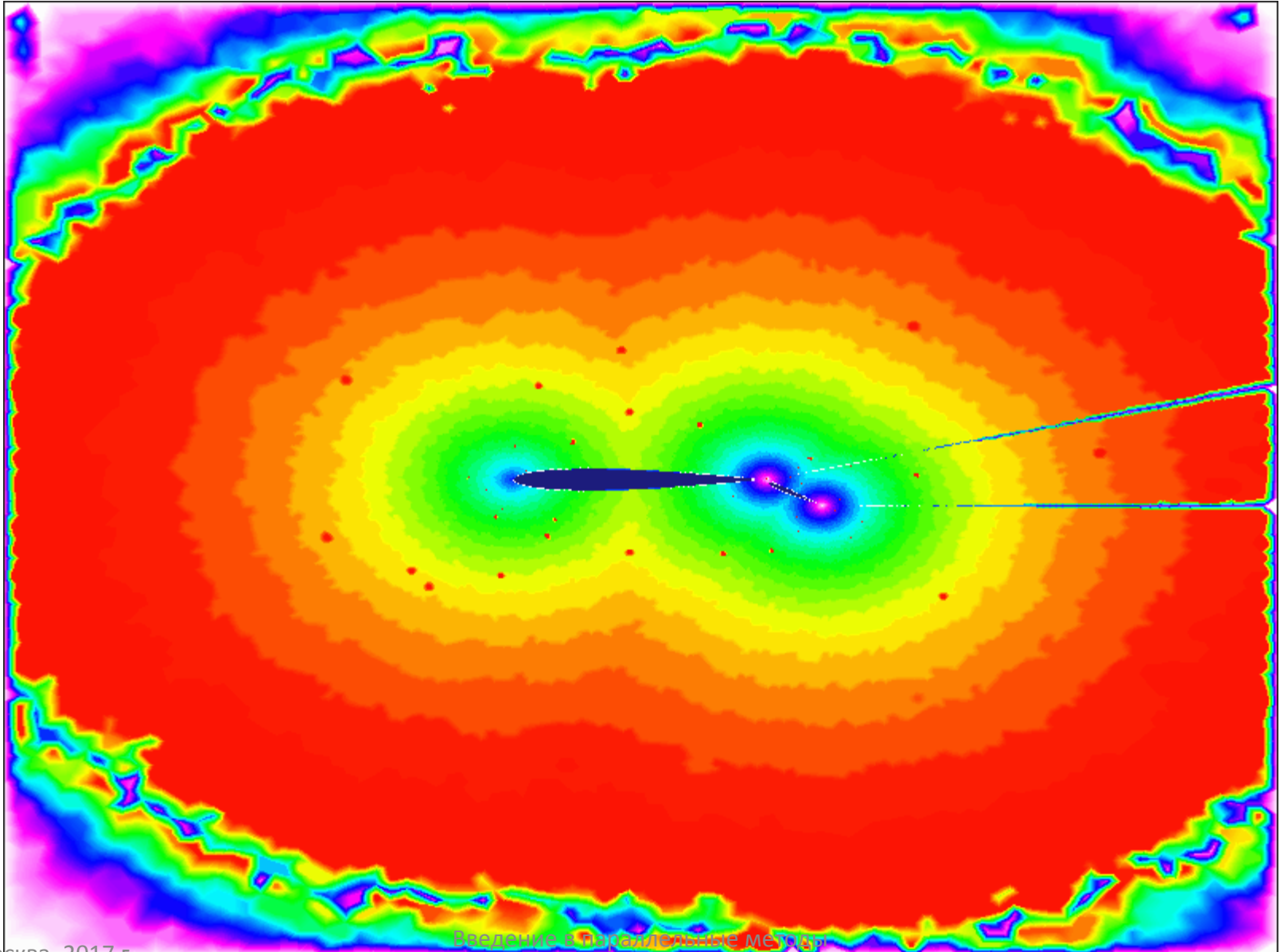
Статическая балансировка загрузки

- Критерии декомпозиции
- Инкрементный алгоритм декомпозиции
- Иерархическая обработка больших сеток

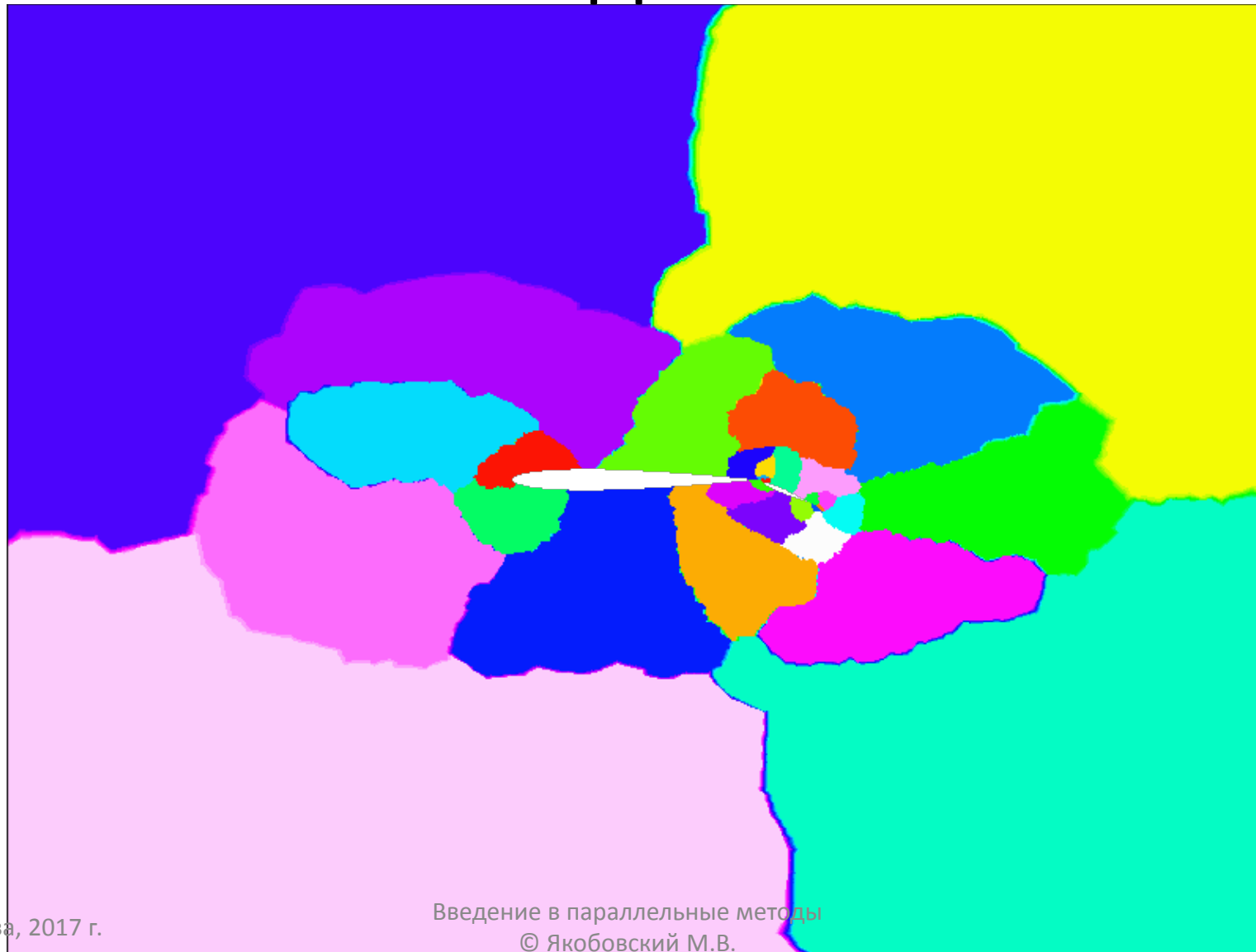




Простое разбиение на 32 домена

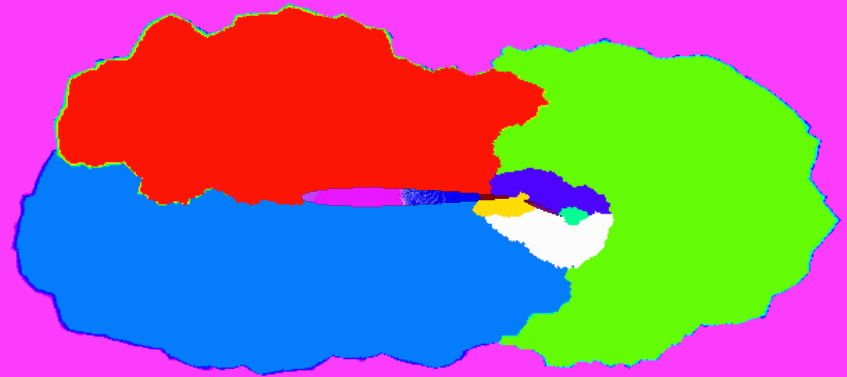


Рациональное разбиение на 32 домена



Критерии декомпозиции графов

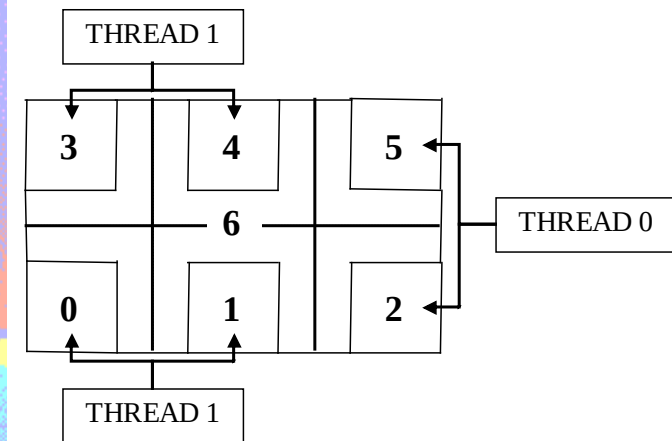
- Равномерное распределение суммарного веса узлов/рёбер
- Минимизация максимального веса исходящих из домена ребер
- Минимизация суммарного веса разрезанных ребер
- Минимизация максимальной степени доменов
- Обеспечение связности доменов
- Обеспечение связности множества внутренних узлов доменов



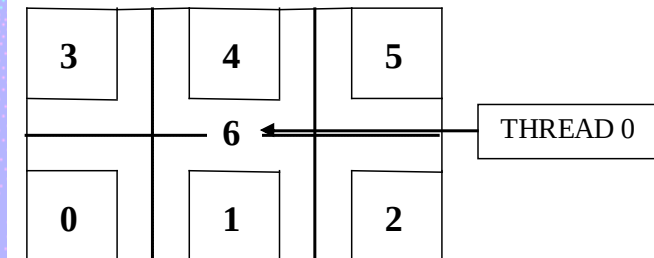
Критерии декомпозиции графов

- Равномерное распределение суммарного веса узлов/рёбер
- Минимизация максимального веса исходящих из домена ребер
- Минимизация суммарного веса разрезанных ребер
- Минимизация максимальной степени доменов
- Обеспечение связности доменов
- Обеспечение связности множества внутренних узлов доменов

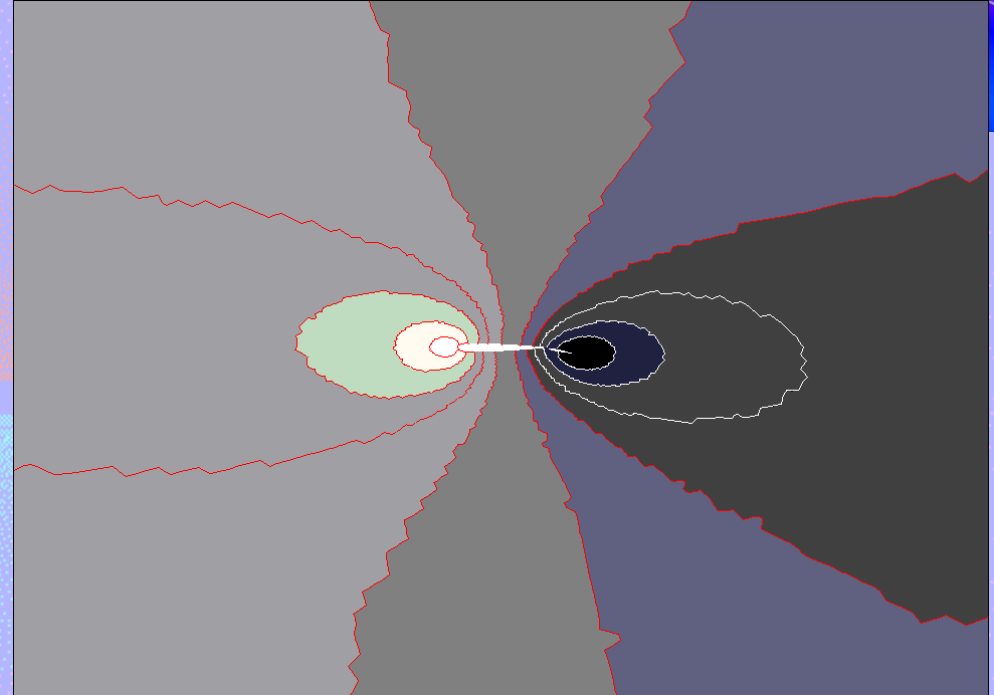
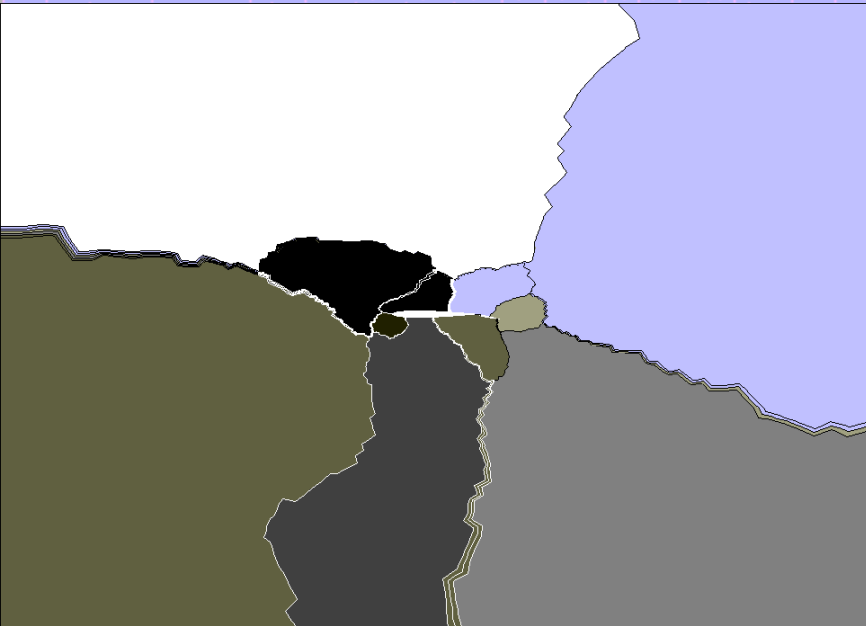
ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ



Критерии декомпозиции графов



степени доменов

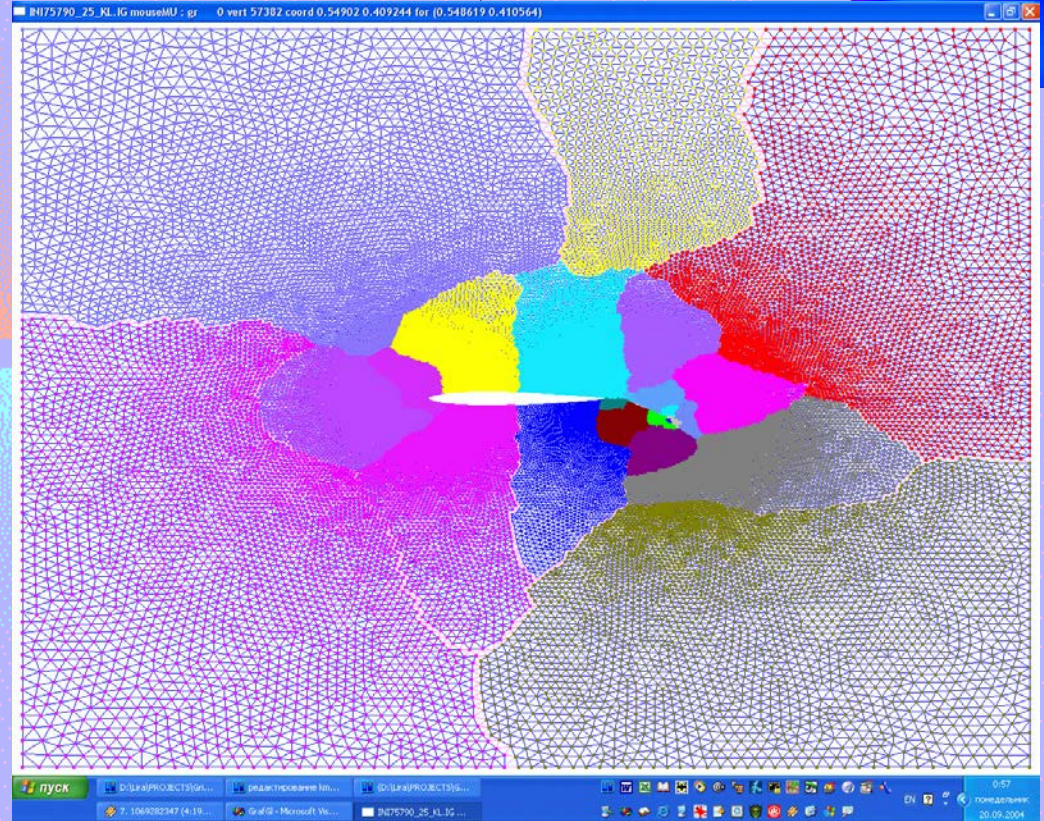
- Обеспечение связности доменов
- Обеспечение связности множества внутренних узлов доменов

А.Н. Андрианов, А.В. Жохова, Б.Н. Четверушкин

Процессоров	11	31	47	63
New_sort	13.59	5.59	4.38	4.16
METIS	13.61	11.00	11.10	10.56

Критерии декомпозиции графов

- Равномерное распределение суммарного веса узлов/рёбер
- Минимизация максимального веса исходящих из домена ребер
- Минимизация суммарного веса разрезанных ребер
- Минимизация максимальной степени доменов
- Обеспечение связности доменов
- Обеспечение связности множества внутренних узлов доменов



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 необходимы логически простые, но эффективные алгоритмы

Литература...

- *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. / Пер. с англ. И.В. Соловьева и Г.Н. Поварова; Под ред. Г.Н. Поварова. – 2-е издание. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с. <http://grachev62.narod.ru/cybern/contents.htm>
- 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>
- *Якобовский М.В.* [Введение в параллельные методы решения задач](#): Учебное пособие / Предисл.: В. А. Садовничий. – М.: [Издательство Московского университета](#), 2013. – 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

Литература

Ресурсы Internet

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

Якобовский М.В.

чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф.

зам. директора по научной работе

Института прикладной математики им. М.В.Келдыша
Российской академии наук

Проф. кафедры суперкомпьютеров и квантовой информатики

Проф. кафедры вычислительных методов

ВМК МГУ им. М.В.Ломоносова

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

<http://lira.imamod.ru>