

Омский Государственный Технический Университет

**ГИБРИДНАЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРНАЯ  
СИСТЕМА**

# Гибридная суперкомпьютерная система

---

## Цели и задачи

- ❑ Построение высокопроизводительной вычислительной системы на базе кластеров различных архитектур для решения широкого класса вычислительно-интенсивных задач
- ❑ Создание модели программирования, ориентированной на широкий класс задач и позволяющей использовать гибридные вычисления
- ❑ Создание дружественного интерфейса доступа и управления суперкомпьютерной системой
- ❑ Обеспечение доступности сервиса в сети Internet

# Гибридная суперкомпьютерная система

---

## Современные суперкомпьютеры, анализ подходов

### Кластеры на базе CPU

- Параллельность на уровне инструкций и данных (MIMD)
- Гибкая управляющая логика
- Эффективная работа с памятью (управление стэком , большой объем кэш-памяти)
- Наличие большого количества расширений для оптимизации конкретных задач
- Пиковая производительность в вычислениях – ниже чем у GPU (в расчете на потребляемую мощность и стоимость решения)

# Гибридная суперкомпьютерная система

---

## Современные суперкомпьютеры, анализ подходов

### Кластеры на базе GPU

- Параллельность на уровне данных (SIMD), расширение до MIMD ограничено
- Практически полное отсутствие быстрой памяти, много ограничений в используемой модели памяти
- Наличие сложной логики и большого количества переменных существенно ограничивает производительность
- Существенные затраты на синхронизацию данных между хостом и массивом GPU
- Пиковая производительность вычислений очень высока

# Гибридная суперкомпьютерная система

---

## Современные суперкомпьютеры, анализ подходов

### Проблемы используемых архитектур

1. Стоимость и энергопотребление решений, основанных на CPU, могут быть неоправданно высоки для достижения приемлемой производительности в сложных расчетах
2. Решения, использующие GPU, ограничены достаточно узким кругом прикладных задач
3. Ограничена возможность выполнения задач, требующих большого количества памяти для хранения промежуточных данных

# Гибридная суперкомпьютерная система

---

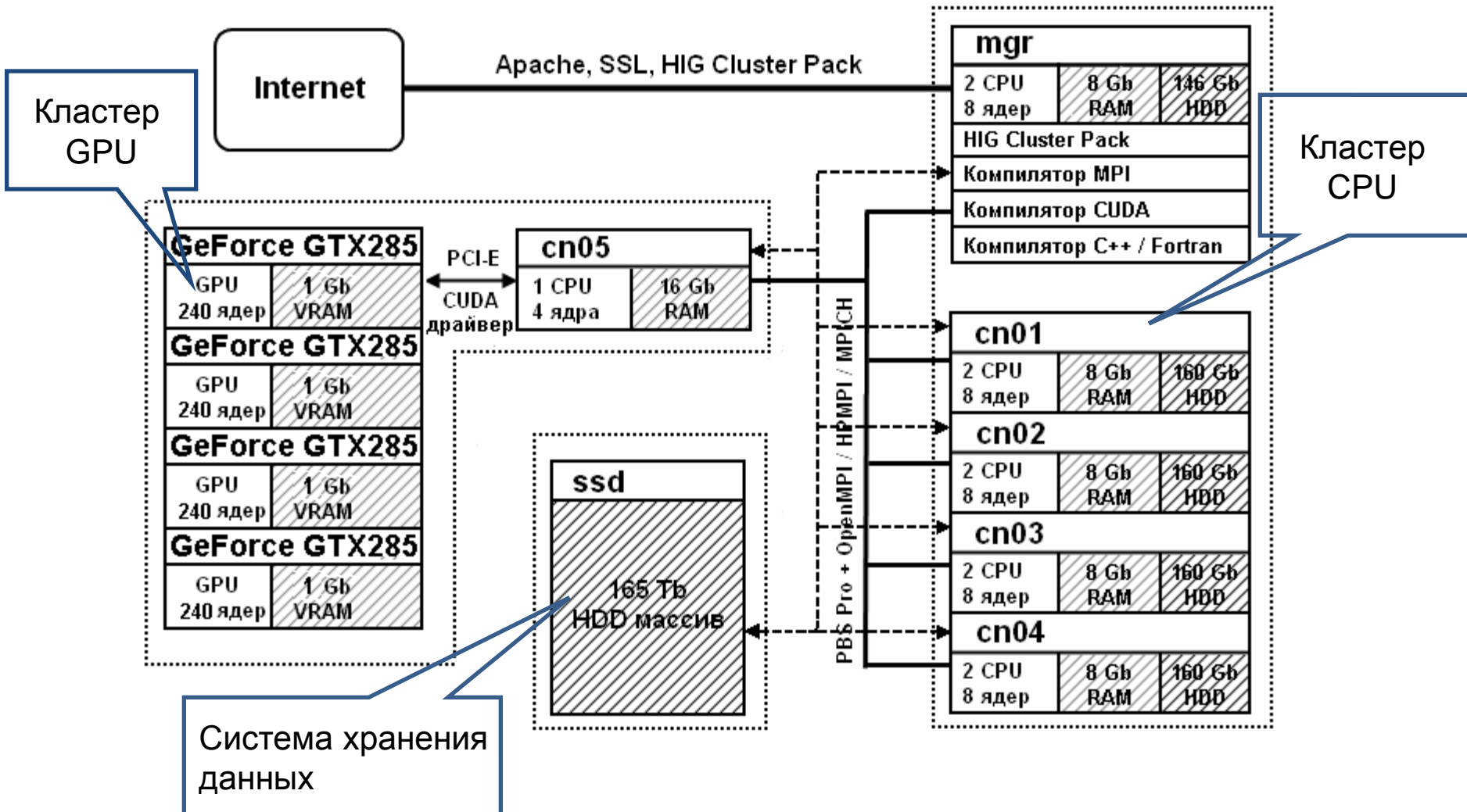
## Гибридный подход

Архитектура CPU + GPU + Система хранения данных (СХД)

- Сложная задача может быть разбита на этапы, каждый из которых может выполняться на своей подсистеме
- Для управления выполнением задачи используется один из узлов кластера CPU, связанный со всеми остальными компонентами системы
- Сервер GPU является одним из равноправных узлов архитектуры
- Промежуточные данные между этапами задачи могут храниться на СХД
- Элементы системы легко масштабируемы для достижения оптимальной производительности в конкретных задачах

# Гибридная суперкомпьютерная система

## Общая схема суперкомпьютерной системы



# Гибридная суперкомпьютерная система

## Аппаратное обеспечение



Кластер CPU на базе  
HP X5472 DL 160G5

- 5 вычислительных узлов
- 8 ядер CPU на узел
- Пиковая вычислительная мощность - 1 TFlop
- Общий объем памяти – 40 Gb
- Связь между узлами - 1000BaseT (1Gbit Ethernet)
- Масштабирование за счет добавления новых узлов



Кластер GPU на базе  
NVidia GeForce GTX285

- 4 процессора NVidia GeForce GTX285
- 960 вычислительных ядер
- Пиковая вычислительная мощность - 3 TFlops
- Управляющий сервер на базе 4-ядерного CPU
- Подключение к серверу – шина PCI-Express 2.0
- Масштабирование за счет увеличения числа ячеек



Система хранения данных  
Sun StorEdge 9980

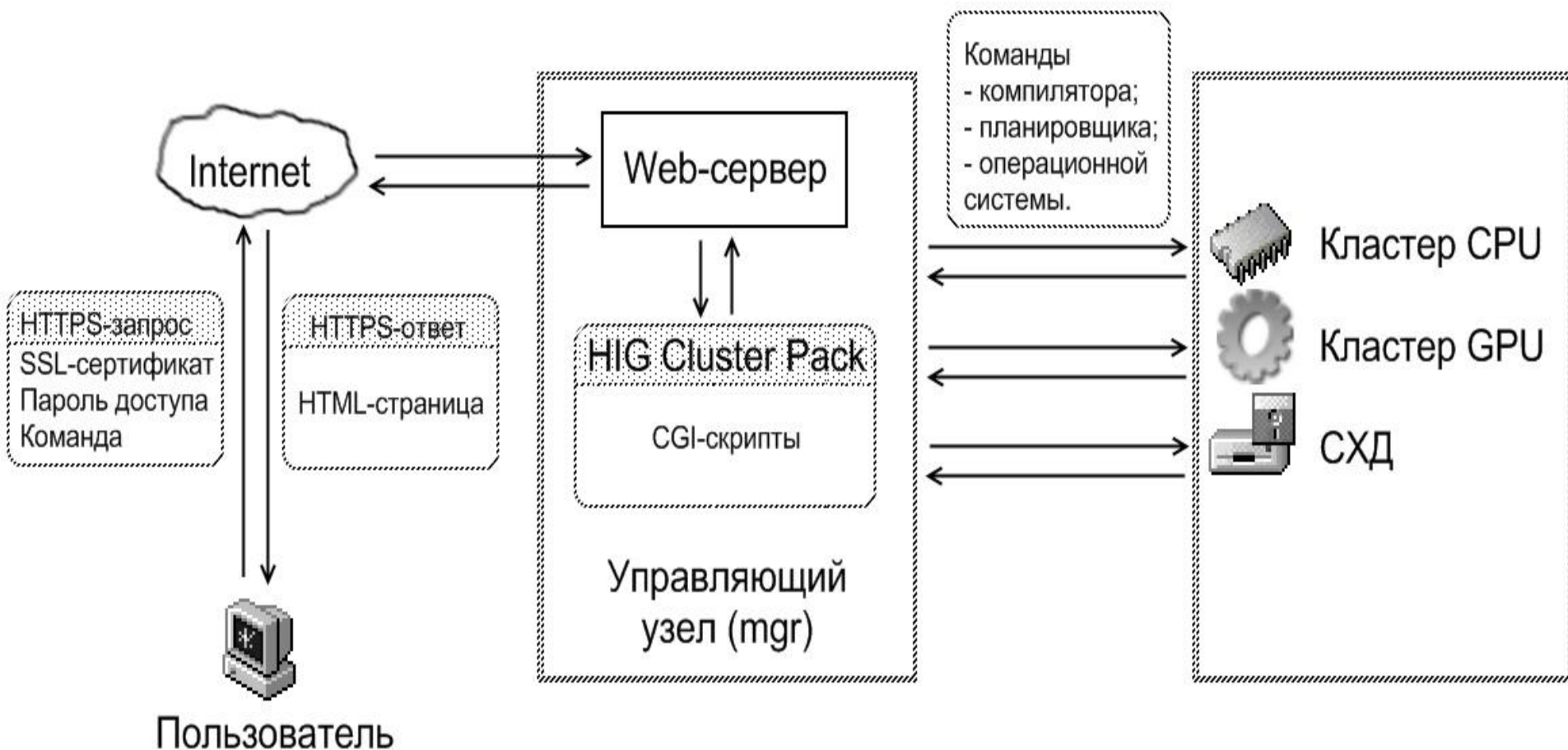
- Максимальное количество жестких дисков – 1024
- Максимальный объем дисковой подсистемы – 165 Tb
- Пропускная способность – 15 Гбит/с
- Масштабирование за счет увеличения количества дисков



# Гибридная суперкомпьютерная система

Программная система управления проектами.

Схема работы системы



# Гибридная суперкомпьютерная система

---

## Программная система управления проектами. Возможности системы

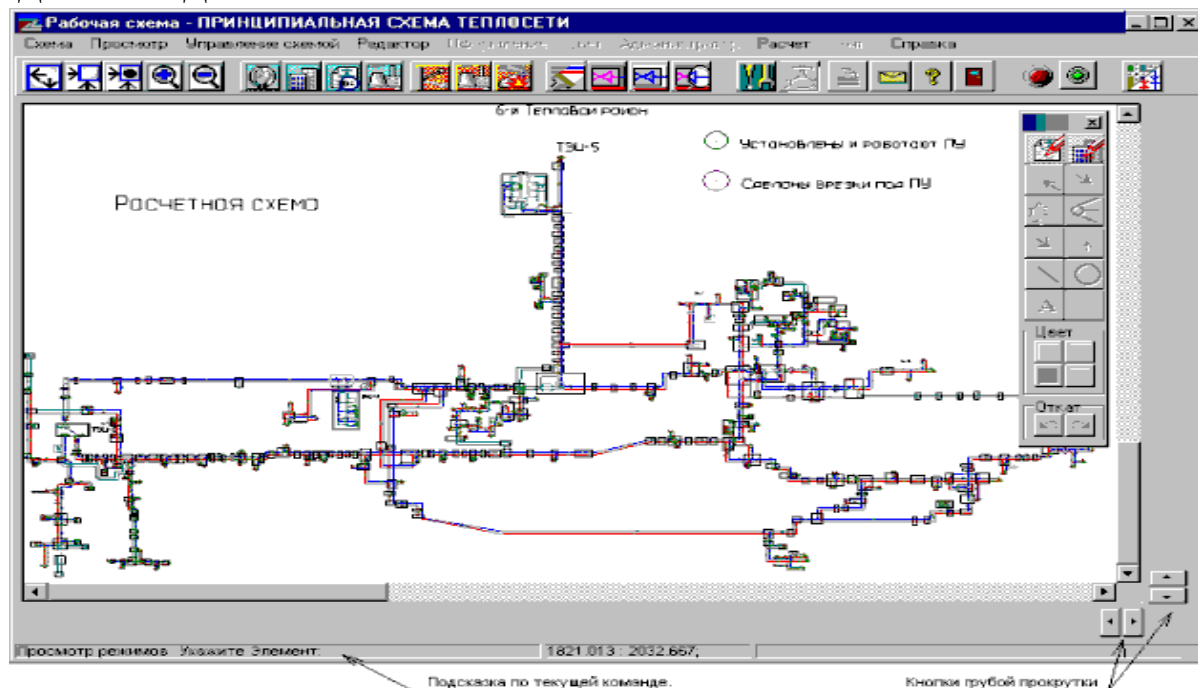
- ❑ Трехфакторная авторизация
  - SSL
  - Программа загрузки проекта
  - Операционная система
  
- ❑ Компиляция проектов, использующих все узлы системы  
C / C++ / FORTRAN + HPMPI / MPICH / OpenMPI + CUDA / OpenCL
  
- ❑ Замкнутая среда выполнения программ пользователя
  
- ❑ Удобный web-интерфейс пользователя
  
- ❑ Система полуавтоматической обработки заданий
  
- ❑ Автоматизация действий администратора

# Гибридная суперкомпьютерная система

## Пример задачи

Поиск оптимальных по цене технологических режимов работы больших гидросистем, тепловых сетей крупных городов и многоветочных нефтепроводов

Расчетная задача: определение расходов и давлений в заданной гидросистеме. Основная задача: решение систем нелинейных алгебраических уравнений. Сохранение наборов вариантов – требуется система хранения данных данных

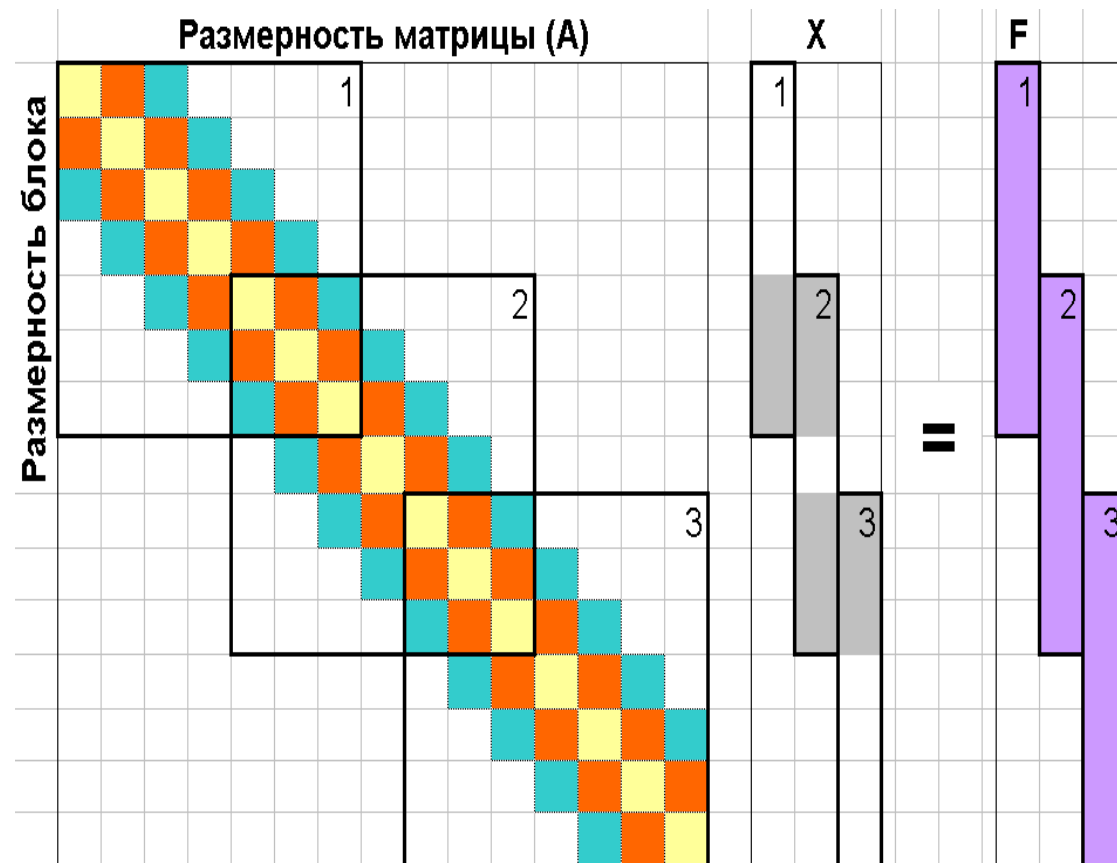


# Гибридная суперкомпьютерная система

## Пример задачи

Решение СЛАУ больших размерностей  $A(|X|)X=F$

- **Ш1.** Выделяются блоки матрицы  $A$  и векторов  $X$  и  $F$  размерностью 4096, и загружаются в память GPU
- **Ш2.** На GPU проводятся расчеты по схеме Якоби и возвращается часть вектора  $X$
- Процедура выполняется для всех блоков.
- **Ш3.** Полученные блоки объединяются в вектор приближения, который проверяется на близость к решению



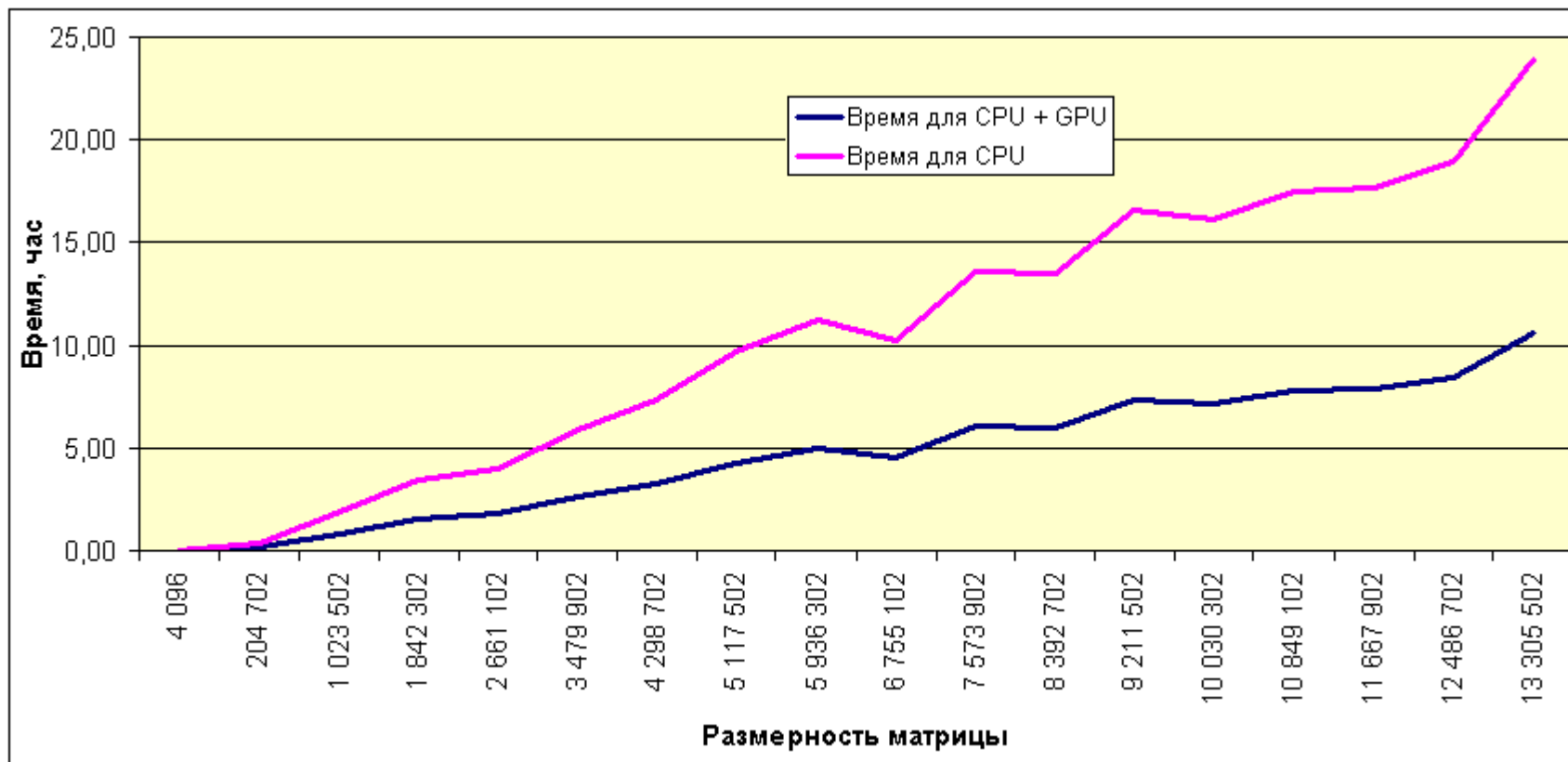
# Гибридная суперкомпьютерная система

Результаты. Время решения СЛАУ в зависимости от размерности.

Размерность матрицы	Число блоков	Число итераций	Время выполнения одного вызова GPU (итерация для 1го блока = Шаг 2) (сек)	Время выполнения одного вызова CPU (итерация для 1го блока = Шаг 2) (сек)	Время выполнения с использованием GPU (час)	Время выполнения с использованием CPU (час)
4 096	1	17	0,0197	0,6404	0,0028	0,0063
204 702	50	19	0,0197	0,6404	0,1720	0,3870
1 023 502	250	16	0,0197	0,6404	0,8602	1,9355
1 842 302	450	20	0,0197	0,6404	1,5484	3,4839
2 661 102	650	19	0,0197	0,6404	1,7893	4,0259
3 479 902	850	16	0,0197	0,6404	2,6323	5,9227
4 298 702	1050	19	0,0197	0,6404	3,2516	7,3161
5 117 502	1250	16	0,0197	0,6404	4,3011	9,6775
5 936 302	1450	17	0,0197	0,6404	4,9893	11,2259
6 755 102	1650	16	0,0197	0,6404	4,5420	10,2195
7 573 902	1850	17	0,0197	0,6404	6,0473	13,6064
8 392 702	2050	18	0,0197	0,6404	5,9957	13,4903
9 211 502	2250	17	0,0197	0,6404	7,3549	16,5485
10 030 302	2450	18	0,0197	0,6404	7,1656	16,1226
10 849 102	2650	19	0,0197	0,6404	7,7506	17,4389
11 667 902	2850	16	0,0197	0,6404	7,8452	17,6517
12 486 702	3050	20	0,0197	0,6404	8,3957	18,8903
13 305 502	3250	18	0,0197	0,6404	10,6237	23,9033

# Гибридная суперкомпьютерная система

Результаты. Время решения СЛАУ в зависимости от размерности.



При решении было задействовано 16 ядер CPU (45% мощности) + кластер GPU (100 %).

Для примера, теоретическое расчетное время решения СЛАУ методом Гаусса с выбором главного элемента размерности 10000 на 16 ПЛИСах по 160 МГц (Программируемых логических интегральных схемах) составляет 0,02 часа

# Гибридная суперкомпьютерная система

---

## Практическое применение и коммерциализация

- Серийное производство программно-аппаратных комплексов с гибридной архитектурой
- Оказание услуг по программированию и расчету конкретных задач оптимизирования производства и бизнес-процессов
- Использование системы, сочетающей в себе решения различных вендоров, в качестве относительно недорогого образовательного ресурса

# Гибридная суперкомпьютерная система

---

## План развития проекта

1. Закупка оборудования и программного обеспечения (управляющий сервер IBM и расширение дискового массива системы хранения данных) для разработки и тестирования прототипа гибридной системы
2. Разработка компилятора для создания кода , выполняемого параллельно на кластерах CPU и GPU
3. Разработка интерфейса оптимального взаимодействия с системой хранения данных
4. Разработка алгоритмов решения актуальных задач с использованием гибридной системы