



*Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова  
Факультет Вычислительной Математики и  
Кибернетики*



# ***Организация и проведение курса "Суперкомпьютерное моделирование и технологии"***

***Воеводин Владимир Валентинович,***

***Попова Нина Николаевна,***

***[popova@cs.msu.su](mailto:popova@cs.msu.su)***

***Антонов Александр Сергеевич***

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# ПЛАН



1. О факультете ВМК МГУ.
2. «Дорожная карта» суперкомпьютерного образования факультета ВМК МГУ.
3. Структура курса «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».
4. Тематика лекционных модулей курса.
5. Описание практических заданий.
6. Заключение.

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**

## О факультете ВМК

<https://cs.msu.ru>

1. Основан в 1970 г. выдающимся ученым академиком А.Н.Тихоновым (1906-1993)
2. Подготовке кадров в области фундаментальных исследований по прикладной математике, вычислительным технологиям и информатике.
3. Прием на первый курс – 350 человек в год.
4. Двухуровневая подготовка: бакалавры (4 года) и магистры (2 года) по направлениям «Прикладная математика и информатика» и «Фундаментальные информатика и информационные технологии».



**А.Н.Тихонов**  
(1906-1993)

Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года



## **Направления подготовки специалистов на факультете ВМК**

- Математические и компьютерные методы решения задач естествознания,**
- математические методы обработки информации и принятия решений,**
- системное программирование и компьютерные науки.**

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# ПЛАН



1. О факультете ВМК МГУ
2. «Дорожная карта» суперкомпьютерного образования факультета ВМК МГУ

---

Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года



# Суперкомпьютерное образование. Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ



- Младшие курсы (1-2 курсы) – отдельные модули в рамках основных лекционных курсов
- *Бакалавриат (3-4 курсы)*
  - Лекционный курс **“Суперкомпьютеры и параллельная обработка данных”** (250чел), 4 курс (блок общенаучной подготовки)
- Элективные курсы и курсы по выбору студентов (спецкурсы)  
*Специальные курсы: «Параллельные алгоритмы», «Параллельное программирование для высокопроизводительных вычислительных систем», «Программирование для графических процессоров», «Естественные модели параллельных вычислений»*

---

Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года



# Суперкомпьютерное образование. Факультет вычислительной математики и кибернетики МГУ



## *Магистратура*

- Лекционный курс **«Суперкомпьютерное моделирование и технологии»**
- Магистерские программы **«Суперкомпьютерные системы и приложения»**, **«Технологии параллельного программирования и высокопроизводительные вычисления»**.

---

Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года



# *Суперкомпьютерные системы, используемые в учебном процессе*

**-Суперкомпьютер «Ломоносов-1»**

**- 2048-процессорная система IBM Blue Gene/P (27.6)  
Tflops**

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# ПЛАН



1. О факультете ВМК МГУ
2. «Дорожная карта» суперкомпьютерного образования факультета ВМК МГУ
3. Структура курса «Суперкомпьютерное моделирование и технологии»

---

Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии»



- Междисциплинарный курс, 4 кредита
- Магистры 2 года обучения, **250 человек**
- Лекции + выполнение практических заданий
- Преподавательский корпус:
  - преподаватель, ведущий курс,
  - лекторы по отдельным модулям
  - преподаватели в группах, ведущие индивидуальную работу в группах (всего 23 группы)
- Экзамен с использованием системы тестирования **Сигма** (<https://sigma.parallel.ru>)

---

Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Лекционные модули (1)

- Проблемы, требующие суперкомпьютерного моделирования;
- Архитектурные особенности современных микропроцессоров, новые аппаратные технологии, используемые при построении высокопроизводительных вычислительных систем, программно-аппаратная организация суперкомпьютеров Ломоносов и IBM Blue Gene/P/Q.
- Теоретические основы параллельных вычислений: последовательная и параллельная сложность алгоритмов, информационный граф и ресурс параллелизма алгоритмов.

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Лекционные модули (2)

- Суперкомпьютерное моделирование турбулентных течений; суперкомпьютерное решение задач молекулярного моделирования; методы решения задач большой размерности с использованием тензорных вычислений; квантовый компьютер и квантовые алгоритмы.
- Эффективное использование технологий параллельного программирования для суперкомпьютерного моделирования; методы эффективной организации параллельных вычислений на графических ускорителях.

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**

# Примерная структура лекций



- Обзор применения суперкомпьютерных технологий в рассматриваемой области.
- Математическая модель рассматриваемых задач.
- Обзор вычислительных методов, применяемых для решения задач представляемой тематики.
- Обсуждение параметров математической модели и подходов для суперкомпьютерного численного моделирования решаемой задачи.
- Примеры конкретных задач, реализованных с использованием рассматриваемого подхода.
- Полученные результаты с использованием суперкомпьютерного моделирования, оценки эффективности и масштабируемости полученных решений.

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Практические задания



- **2 обязательных задания + 1 задание опциональное для получения оценки-автомата**
- **Первое задание :**  
**описание структуры и свойств параллельного алгоритма.**
- **Второе задание:**  
**суперкомпьютерная реализация численного решения уравнения в частных производных.**
- **Задание :** формулируется по тематике лекций

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 1.

Задание: **Исследование масштабируемости и эффективности реализаций алгоритмов на параллельных вычислительных системах**

**Требования к выполнению задания:**

- описание структуры согласно открытой энциклопедии свойств алгоритмов AlgoWiki (<http://AlgoWiki-Project.org/>)
- Разделы описания: 13 пунктов, 1-10 – свойства, 11,12 – существующие реализации
- практическая реализация алгоритма
- визуализация масштабируемости

### **Разделы описания**

- [1. \*\*Общее описание алгоритма\*\*](#)
- [2. \*\*Математическое описание алгоритма\*\*](#)
- [3. \*\*Вычислительное ядро алгоритма\*\*](#)
- [4. \*\*Макроструктура алгоритма\*\*](#)
- [5. \*\*Схема реализации последовательного алгоритма\*\*](#)
- [6. \*\*Последовательная сложность алгоритма\*\*](#)
- [7. \*\*Информационный граф\*\*](#)
- [8. \*\*Ресурс параллелизма алгоритма\*\*](#)
- [9. \*\*Входные и выходные данные алгоритма\*\*](#)
- [10. \*\*Свойства алгоритма\*\*](#)
- [11. \*\*Масштабируемость алгоритма\*\*](#)
- [12. \*\*Существующие реализации\*\*](#)
- [13. \*\*Литература\*\*](#)

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 1



### ***ЭТАПЫ выполнение задания:***

- выбирается алгоритм,
- выбирается параллельная вычислительная система,
- берется /разрабатывается параллельная программа, реализующая данный алгоритм,
- выполняется серия запусков программы на вычислительной системе для определения:
  - зависимости производительности от числа процессоров и размеров задачи,
  - нахождения числа процессоров и размеров задачи, при которых достигается максимальная производительность.

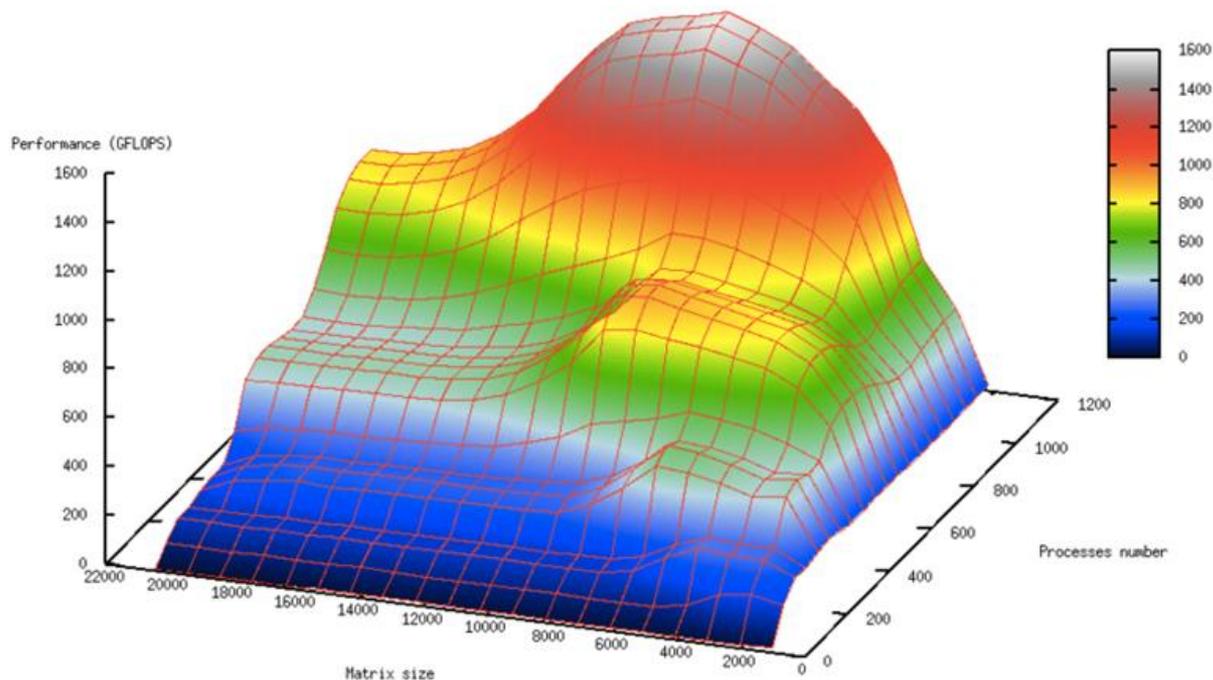


# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 1.



### Исследование масштабируемости



**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 1. Итоги.



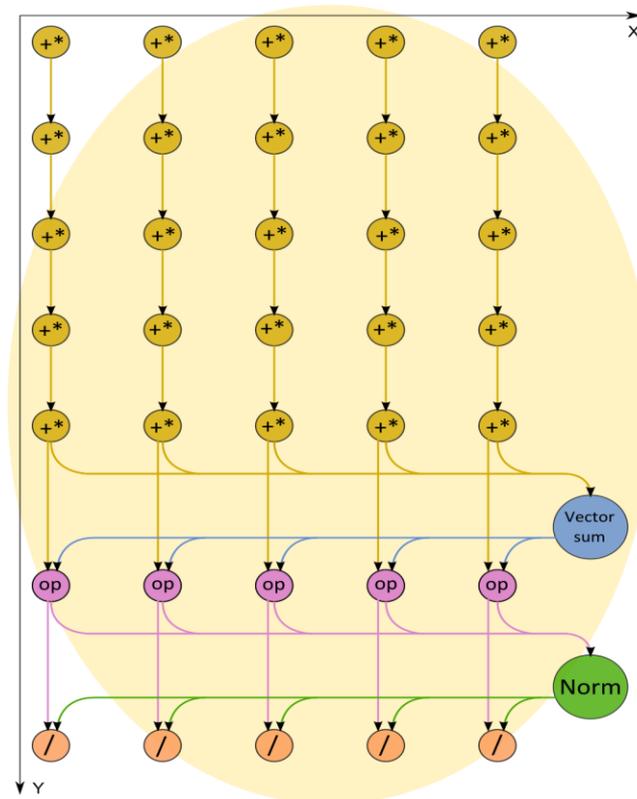
• 146 групп студентов, 246 студентов

Оценки:

- Отлично – 59
- Хорошо - 36
- Удовл. – 48
- Неуд . -- 3

• Средняя оценка – 4,03

• Пример одного из отчетов :  
информационный граф алгоритма Ланцоша  
нахождения собственных значений  
симметричной матрицы



Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 2.



- Исследование задачи решения трехмерного гиперболического уравнения в заданной области (в простом случае - прямоугольном параллелепипеде).

- Исследование решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона в прямоугольной области.

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 2.

- Математическая постановка задачи.
- Описание численного метода ее решения.
- Разработка параллельной программы с использованием параллельных технологий MPI и OpenMP, включая гибридный MPI+OpenMP вариант.
- Исследование масштабируемости разработанной параллельной программы.
- Исследование влияния мэппинга параллельной программы на архитектуру суперкомпьютера Blue Gene/P.
- Анализ и визуализация результатов расчетов.

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 2.



**Исследование задачи решения трехмерного гиперболического уравнения в заданной области (в простом случае - прямоугольном параллелепипеде).**

### **1. Математическая постановка задачи:**

В трехмерной замкнутой области  $\bar{\Omega} = [0 \leq x \leq L] \times [0 \leq y \leq L] \times [0 \leq z \leq L]$

для  $(0 < t \leq T)$  требуется найти решение  $u(x, y, z, t)$  уравнения в частных производных

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \Delta u$$

Начальные условия:

$$u|_{t=0} = \varphi(x, y, z),$$
$$\frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0,$$



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 2.



Граничные условия :

- однородные

$$u(0, y, z, t) = 0,$$

$$u(x, 0, z, t) = 0,$$

$$u(x, y, 0, t) = 0,$$

$$u(L, y, z, t) = 0,$$

$$u(x, L, z, t) = 0,$$

$$u(x, y, L, t) = 0,$$

-либо периодические:

$$u(0, y, z, t) = u(L, y, z, t),$$

$$u(x, 0, z, t) = u(x, L, z, t),$$

$$u(x, y, 0, t) = u(x, y, L, t),$$

$$u_x(0, y, z, t) = u_x(L, y, z, t),$$

$$u_y(x, 0, z, t) = u_y(x, L, z, t),$$

$$u_z(x, y, 0, t) = u_z(x, y, L, t).$$



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Задание 2.



Варианты задания определяются различными граничными условиями.

Таблица 1: Варианты заданий

<i>Вариант</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
1	1-го рода	1-го рода	1-го рода
2	1-го рода	1-го рода	периодические
3	1-го рода	периодические	1-го рода
4	1-го рода	периодические	периодические
5	периодические	1-го рода	1-го рода
6	периодические	1-го рода	периодические
7	периодические	периодические	1-го рода
8	периодические	периодические	периодические

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



## Контроль за выполнением заданий

- Установка контрольных сроков.
- Проставление оценки с учетом выполнения сроков и качества выполнения заданий.
- Еженедельная статистика о работе студентов на «Ломоносове» и VGP

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**



# Курс «Суперкомпьютерное моделирование и технологии».

## Контроль за выполнением заданий

USERNAME	TOTAL_JOBS	LAST_JOB	AVG_NODES
MAX_NODES	AVG_RUN	SUM_TIME	
PROC_TIME			
-----			
-----			
-----			
edu-cmc-stud16-627-02	1	607227	32
32	-		-
-			
edu-cmc-stud16-621-02	194	597440	278
1024	2518.34038754404145077		486039.694796
28067745.425216			
edu-cmc-stud16-618-15	157	605786	178
512	2772.78673068243243243		410372.436141
26093218.695840			
edu-cmc-stud16-624-17	796	601076	102
1024	648.45978715465268676		494774.817599
22199724.188064			
edu-cmc-stud16-624-04	159	590912	183
512	1485.67774496226415094		236222.761449
15046741.461024			

**«Суперкомпьютерные дни в России»**  
**Москва, 26 сентября 2017 года**



# Благодарности



В подготовке и проведении курса в 2016 году участвовали:

академики Б.Н. Четверушкин, Е.Е. Тыртышников;  
профессора В.М. Головизнин, Ю.И. Ожигов, А.М. Попов

ассистенты А.Ю. Мокин, Е.П. Сучков, аспирант С. Леоненков

преподаватели и аспиранты факультета ВМК, ведущие занятия в группах

администраторы суперкомпьютеров «Ломоносов» и Blue Gene/P С. Жуматий  
и С. Коробков

---

**Международная конференция  
«Суперкомпьютерные дни в России»  
Москва, 26 сентября 2017 года**