

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала МГУ в городе Сарове

 /В.В. Воеводин/

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Суперкомпьютерное моделирование и технологии»

Уровень высшего образования – магистратура

Направление подготовки (специальность)

01.04.02 «Прикладная математика и информатика»

Профили подготовки:

«Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных»

«Вычислительные методы и методика моделирования»

Форма обучения:

очная

Саров, 2021 г.

Программа разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» Утвержден приказом МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366

Год (годы) приема на обучение 2021

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Суперкомпьютерное моделирование и технологии

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в магистратуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 01.04.02 «Прикладная математика и информатика». Профили подготовки «Вычислительные методы и методика моделирования», «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных».

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в базовую часть магистерских образовательных программ «Вычислительные методы и методика моделирования», «Суперкомпьютерные технологии математического моделирования и обработки данных», модуль «Программное обеспечение современных вычислительных комплексов», изучается в 3-м семестре.

5 АННОТАЦИЯ

Высокопроизводительные вычисления (High Performance Computing – HPC) приобретают все большее значение для развития науки, промышленности, здравоохранения, безопасности. Интеграция HPC в математическое моделирование, численные методы, методы обработки результатов наблюдений большого объема создала основу для решения многих сложных проблем, неразрешимых в недалеком прошлом, способствовала появлению новых технологий в науке и технике. Достижение рекордных уровней в производительности суперкомпьютеров диктует необходимость разработки новых математических моделей, численных методов и алгоритмов, инструментальных систем и средств параллельного программирования. Все более важное значение суперкомпьютерные подходы приобретают для решения задач, связанных с обработкой больших данных. Приложения для больших данных становятся все более ресурсоемкими, поддерживая описательные и прогнозные алгоритмы, активно используя подходы машинного обучения. Суперкомпьютерные подходы, ориентирован-

ные на производительность, могут способствовать продвижению более высокого уровня производительности приложений для обработки больших данных. В то же время, аналитика больших данных может быть полноценной мягкой программной компонентой экосистемы высокопроизводительных вычислений для обработки массивных результатов крупных научных исследований или для обеспечения численных моделей сложными данными, полученными другими научными инструментами.

Целью курса является изучение основ суперкомпьютерного моделирования и освоение на практике технологий, необходимых для реализации ресурсоемких задач математического моделирования и обработки данных большого объема на суперкомпьютерных системах. В курсе рассматриваются вопросы современного состояния развития суперкомпьютерных технологий, включая суперкомпьютерные аппаратно-программные платформы, математические модели решаемых на суперкомпьютерных задач и алгоритмов их решения, параллельные технологии реализации таких задач на суперкомпьютерах. Неотъемлемой частью курса является выполнение студентами практических заданий на суперкомпьютерах МГУ и высокопроизводительных вычислительных системах ряда научных организаций. Особенностью курса является широкое участие в его проведении специалистов из различных научных областей, связанных с применением суперкомпьютерных технологий. Этот подход позволяет обеспечить квалифицированный междисциплинарный подход, являющийся основой суперкомпьютерного моделирования.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
<p>Способность формулировать научно обоснованные гипотезы, создавать теоретические модели явлений и процессов, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности (УК-1).</p> <p>Способен разрабатывать и реализовывать проекты, предусматривая и учитывая проблемные ситуации и риски на всех этапах выполнения проекта (УК-3).</p> <p>Способен формулировать и решать актуальные задачи в области фундаментальной и прикладной математики (ОПК-1).</p> <p>Способен совершенствовать и реализовывать новые математические и компьютерные методы решения прикладных задач (ОПК-2).</p>	<p>З1 Знать:</p> <p>Потенциальные возможности и особенности применения современных суперкомпьютерных технологий в процессе математического моделирования и проведения вычислительных экспериментов, базовые основы технологий параллельного программирования</p> <p>У1 Уметь</p> <p>реализовывать базовые вычислительные модели с применением суперкомпьютерных технологий</p> <p>В1 Владеть</p> <p>навыками использования базовых технологий параллельного программирования для реализации задач математического моделирования и обработки больших данных на многопроцессорных вычисли-</p>

Способен создавать и анализировать математические модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные математические результаты (ОПК-3).	тельных системах и суперкомпьютерах.
---	--------------------------------------

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа.

72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 36 часов занятий лекционного типа, 36 часов научно-практических занятий.

72 часа составляет самостоятельная работа учащегося.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям и краевым задачам, параллельному программированию, архитектурам и программному обеспечению вычислительных систем.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Проведение курса осуществляется с поддержкой сайта курса (для общедоступных материалов) и специальных файловых архивов (для материалов, не предназначенных для общего доступа). Лекционная часть курса проводится с использованием презентаций лекций. Всем студентам предоставляется удаленный доступ на суперкомпьютерные системы МГУ. В процессе обучения используются технологии параллельного программирования, поддерживаемые библиотеками MPICH, OpenMPI, Intel MPI, CUDA. Обеспечивается доступ к компиляторам, поддерживающим технологии многопоточного программирования и программирования графических процессоров (OpenMP, CUDA). Экзамен по курсу проводится с использованием системы дистанционного контроля знаний Sigma.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		из них					из них			
Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего		
<p>Тема 1. Тенденции развития архитектур и программного обеспечения современных высокопроизводительных систем.</p> <p>Архитектурные особенности и тенденции развития современных микропроцессоров.</p> <p>Современные суперкомпьютерные системы. Архитектуры коммуникационных систем суперкомпьютеров.</p>	12	4	-	2	-	2	8	4	-	4

<p>Архитектурная поддержка высокопроизводительных вычислений и обработки больших данных.</p> <p>Архитектурные особенности суперкомпьютеров Ломоносов-2, Blue Gene/P.</p> <p>Настройка эффективности параллельных приложений с учетом особенностей архитектур суперкомпьютеров.</p>										
<p>Тема 2. Теоретические основы вычислительных моделей и параллельных алгоритмов. Технологии параллельного программирования.</p> <p>Структура алгоритмов. Последовательная и параллельная сложность алгоритмов, информационный граф и ресурс параллелизма алгоритмов.</p> <p>Параллельная обработка больших графов.</p> <p>Принципы построения суперкомпьютерных приложения с использованием технологий MPI и OpenMP.</p>	22	8	-	-	4	12	10	-	10	

<p>Тема 3. Технология CUDA высокопроизводительных вычислений на кластерах с графическими ускорителями.</p> <p>Архитектурные особенности графических процессоров, направленные на массивно-параллельные вычисления.</p> <p>Особенности работы с памятью графического процессора.</p> <p>Методы эффективной организации параллельных вычислений на графических процессорах.</p>	24	8		-	-	6	14	10	-	10
<p>Тема 4. Суперкомпьютерное моделирование для решения актуальных вычислительно-сложных задач.</p> <p>Суперкомпьютеры и вычислительная гидродинамика.</p> <p>Суперкомпьютерное моде-</p>	56	12	-	6	-	10	28	28	-	28

<p>лирование турбулентных течений.</p> <p>Особенности суперкомпьютерного моделирования течения несжимаемой жидкости.</p> <p>Суперкомпьютерные технологии расчета аэродинамических и акустических характеристик летательных аппаратов.</p> <p>Использование суперкомпьютерных технологий для решения задач биоинформатики.</p> <p>Суперкомпьютерные технологии для медицины</p> <p>.</p>											
Промежуточная аттестация – практические контрольные задания + индивидуальные собеседования	30	-	-	4	-	6	10	20	-	20	
Итого	144						72	72			

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к практическим заданиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература

- 1) Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. [Параллельные вычисления](#). - СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 608 с.
- 2) Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: Учеб. пособие. - М.: Издательство Московского университета, 2012.-344 с.-(Серия "Суперкомпьютерное образование"). ISBN 978-5-211-06343
- 3) *Якобовский М.В.* Введение в параллельные методы решения задач: Учебное пособие . – М.: Издательство Московского университета, 2012. – 328 с.
- 4) *Попова Н.Н., Колганов А.С., Снытников А.В., Математическое моделирование и программная модель CUDA, издательство ООО "МАКС Пресс" (Москва), ISBN ISBN 978-5-317-05911-8, 176 с., 2018 г.*

Дополнительная учебно-методическая литература

- 1) Головизнин В.М., Зайцев М.А., Карабасов С.А., Короткин И.А.
Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов./М.: Издательство Московского университета, 2013, 472 с.
- 2) [Д. Сандерс](#), [Э. Кэндрот](#) Технология CUDA в примерах. Введение в программирование графических процессоров. 2015, 232 с.
- 3) А. В. Боресков и др. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: Учебное пособие.- Издательство Московского университета, 2012, 336 стр.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <http://AlgoWiki-Project.org>
- 2) <http://parallel.ru>
- 3) <https://faculty.mcombs.utexas.edu/deepayan.chakrabarti/mywww/papers/siam04.pdf>
- 4) http://www.boost.org/doc/libs/1_65_0/libs/graph/doc/index.html

Лицензионное программное обеспечение, в том числе отечественного производства
При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Compute Node for Power, LE, Self-support 4 шт. №5540331
2. Программный продукт Red Hat Enterprise Linux Server for HPC Head Node for Power, LE, Standard 1 шт. №5540332
3. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 11 SP4 for x86_64 16 шт.
4. Операционная система Red Hat Enterprise Linux Server 5.0 for x86_64 14шт.
5. Операционная система SUSE Linux Enterprise Server 10 SP3 for ppc64 7 шт.
6. Операционная система Ubuntu 18.04.
7. Программное обеспечение для виртуализации Oracle VM VirtualBox
8. Операционная система ALTLinuxMATEStarterkit 9 лицензияGPL
9. Программный продукт JetBrains IntelliJ IDEA Community Edition Free Educational Licenses
10. Программный продукт JetBrains PyCharm Community Edition Free Educational Licenses
11. Программный продукт JetBrains CLion Community Edition Free Educational Licenses
12. Программный продукт UPPAAL (<http://www.uppaal.org/>) академическая лицензия
13. Программный продукт Java 8 (64-bit) Oracle Corporation
14. Программный продукт Java SE Development Kit 8(64-bit) Oracle Corporation
15. Программный продукт NetBeans IDE 8.2 NetBeans.org
16. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
17. Программный продукт CodeBlocks The Code::Blocks Team
18. Программный продукт Free Pascal 3.0.0 Free Pascal Team
19. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation
20. Программный продукт R for Windows 3.2.2 R Core Team
21. Программный продукт Haskell Platform 7.10.3 Haskell.org
22. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия
23. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
24. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия

25. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
26. Программный продукт Microsoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS [Русский (Россия)] академическая лицензия

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

В процессе обучения используются технологии параллельного программирования MPI, OpenMP, CUDA.

Материально-техническая база

Для преподавания дисциплины требуется лекционная аудитория, оборудованная персональным компьютером и проектором для воспроизведения презентаций лекций, маркерной или меловой доской. У студентов должны быть ноутбуки с возможностью выхода в Интернет. В случае отсутствия ноутбука у студента должен быть обеспечен доступ в компьютерный класс, оборудованный доступом в Интернет. На суперкомпьютерах должно быть установлено программное обеспечение, необходимое для выполнения заданий: компиляторы, поддерживающие обработку директив OpenMP, библиотеки, обеспечивающие выполнение MPI-программ. Администраторами суперкомпьютеров должно быть обеспечено заведение аккаунтов для студентов и выделено квота для хранения данных на дисках (не менее 20 GB).

Для проведения экзаменов должны быть обеспечены компьютерные классы, оборудованные компьютерами с возможностью выхода в Интернет.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

к.ф.- м.н., доцент Попова Нина Николаевна (popova@cs.msu.su)

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Суперкомпьютерное моделирование и технологии»

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – выполнения 2-ух контрольных заданий, проверяющих приобретенные учащимся умения и навыки, и индивидуального собеседования, проверяющего качество выполненных заданий.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
31 Знать: Потенциальные возможности и особенности применения современных суперкомпьютерных технологий в процессе математического моделирования и проведения вычислительных экспериментов, базовые основы технологий	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о потенциальных возможностях и особенностях применения современных суперкомпьютерных технологий в процессе математического моделирования и проведения вычислительных экспериментов, базовые основы технологий параллельного программирования научных вычислений. Отсутствие положительных оценок за практические задания.	В целом сформированные, но неполные знания потенциальных возможностях и особенностях применения современных суперкомпьютерных технологий в процессе математического моделирования и проведения вычислительных экспериментов, базовые основы технологий параллельного программирования научных вычислений. Положительные оценки за практиче-	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы в знаниях потенциальных возможностей и особенностей применения современных суперкомпьютерных технологий в процессе математического моделирования и проведения вычислительных экспериментов, базовые основы технологий параллельного программирования научных вычислений. Хорошие и от-	Сформированные систематические знания потенциальных возможностях и особенностях применения современных суперкомпьютерных технологий в процессе математического моделирования и проведения вычислительных экспериментов, базовые основы технологий параллельного программирования научных вычислений. Отличные	Система тестирования знаний Сигма (sigma.parallel.ru) b индивидуальное собеседование

параллельного программирования			ские задания.	личные оценки за практические задания.	оценки за практические задания.	
У1 Уметь реализовывать базовые вычислительные модели с применением суперкомпьютерных технологий	Отсутствие умений реализовывать базовые вычислительные модели с применением суперкомпьютерных технологий	Фрагментарные умения реализовывать базовые вычислительные модели с применением суперкомпьютерных технологий	В целом сформированное, но не систематическое умение реализовывать базовые вычислительные модели с применением суперкомпьютерных технологий	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение реализовывать базовые вычислительные модели с применением суперкомпьютерных технологий	Сформированное систематическое умение реализовывать базовые вычислительные модели с применением суперкомпьютерных технологий	практические контрольные задания
В1 Владеть навыками использования базовых технологий параллельного программирования для реализации задач математического моделирования и обработки больших данных на многопроцессорных вычислительных	Отсутствие навыков использования базовых технологий параллельного программирования для реализации задач математического моделирования и обработки больших данных на много-	Фрагментарное владение использованием базовых технологий параллельного программирования для реализации задач математического моделирования и обработки больших данных на многопроцессорных вычислительных системах и суперкомпьютерах	В целом сформированное, но не систематическое владение навыками использования базовых технологий параллельного программирования для реализации задач математического моделирования и обработки больших данных на многопроцессорных вычислительных системах и суперкомпьютерах	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками использования базовых технологий параллельного программирования для реализации задач математического моделирования и обработки больших данных на многопроцессорных вычислительных системах и суперкомпьютерах	Сформированное систематическое владение навыками использования базовых технологий параллельного программирования для реализации задач математического моделирования и обработки больших данных на многопроцессорных вычислительных системах и суперкомпьютерах	практическое контрольное задание

системах и суперкомпьютерах	процессорных вычислительных системах и суперкомпьютерах					
-----------------------------	---	--	--	--	--	--

Фонды оценочных средств

Примерные практические контрольные задания для текущего контроля успеваемости.

Формулировка задания

Постановка задачи

Необходимо выполнить исследование информационной структуры заданного фрагмента программы, представленной в виде последовательной реализации на языке Си. Далее информационную структуру фрагмента нужно описать на специальном языке Algolang. Описание языка Algolang с примерами использования можно найти [здесь](#).

Далее с использованием [системы Algoload\(link is external\)](#) необходимо построить информационный граф этого фрагмента программы, получить его изображение с расположением вершин в естественной системе координат, связанной с пространством итераций исследуемого фрагмента. Значения внешних параметров нужно подобрать самостоятельно, чтобы наглядно отобразить характерные особенности информационного графа. Краткую инструкцию по использованию системы Algoload можно найти [здесь](#). Инструкцию по использованию системы визуализации информационного графа Algoview можно найти [здесь](#).

Для исходного фрагмента программы с использованием построенного графа требуется определить его базовые свойства (часть выдаётся системой Algoview, часть нужно определить самостоятельно):

- Число вершин в информационном графе фрагмента (последовательная сложность).
- Длина критического пути в информационном графе (параллельная сложность).
- Ширина ярусно-параллельной формы (в тексте дайте пояснения, для какой именно ЯПФ приведено значение ширины).
- Максимальная глубина вложенности циклов.
- Число различных типов дуг (тип дуг определяется направляющим вектором и длиной).
- Наличие длинных дуг (т.е. дуг, длина которых зависит от внешних параметров).

- Количество областей регулярности в информационном графе. Область регулярности — это множество вершин графа, из которого исходят дуги одного типа (из одной области регулярности могут исходить дуги разных типов).

Оформление отчёта по заданию

Отчёт по заданию должен быть выслан преподавателю (в письме обязательно укажите номер варианта!) и должен содержать ФИО и номер группы студента, номер варианта, исходный код фрагмента, код на языке Algolang, рисунки со скриншотами с изображениями информационного графа, позволяющими определить его структуру, описания базовых свойств, исходный код с размеченными параллельными циклами.

Пример оформления отчёта

- [Пример 1.](#)

Список вопросов для индивидуального собеседования на промежуточной аттестации

- 1) Стратегии развития современных высокопроизводительных технологий.
- 2) Архитектура суперкомпьютера Ломоносов.
- 3) Программная поддержка этапов подготовки и выполнения параллельных программ на суперкомпьютере Ломоносов.
- 4) Программно-аппаратная архитектура суперкомпьютера Blue Gene/P и высокопроизводительного кластера Polus.
- 5) Последовательная и параллельная сложность алгоритмов, информационный граф и ресурс параллелизма алгоритмов.
- 6) Организация параллельных вычислений с использованием технологии передачи сообщений MPI.
- 7) Методы реализации параллельных вычислений на примере решения сеточных задач.
- 8) Использование суперкомпьютеров для решения задач молекулярного моделирования.
- 9) Архитектурные особенности графических процессоров, направленные на массивно-параллельные вычисления. Особенности работы с памятью графического процессора.
- 10) Методы эффективной организации параллельных вычислений на графических процессорах.
- 11) Принцип работы алгоритма моделирования сжимаемых турбулентных течений.
- 12) Многоуровневое распараллеливание CFD алгоритма и гетерогенные вычисления.
- 13) Способы снижения ресурсоемкости суперкомпьютерного моделирования задач газовой динамики. Технология выполнения суперкомпьютерного расчета задачи газовой динамики.
- 14) Суперкомпьютерное моделирование турбулентного течения несжимаемой жидкости.
- 15) Параллельная обработка больших графов.
- 16) Суперкомпьютерные методы решения задач биоинформатики.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Практические контрольные задания для промежуточной аттестации являются довольно объемными, поэтому в качестве промежуточного контроля выполнения задания фиксируются контрольные сроки сдачи заданий. Выполнение каждого практического задания оценивается по 5-балльной системе. Сдача задания в установленный срок с полным отчетом оценивается в 5 баллов. За каждый просроченный день начисляются штрафные баллы. Неудовлетворительная оценка выставляется в случае непредставления отчета по заданию до конца семестра.

Студенты, не представившие отчеты по заданиям, получают задачу на экзаменах.