

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета ВТ

(Подпись) **Фионова Л.Р.**
(Фамилия, инициалы)

« _____ » _____ 201_ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
С1.В.ДВ.04.01 СУПЕРКОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Направление подготовки 01.05.01 Фундаментальная математика и механика

Направленность (профиль подготовки) Вычислительная математика и вычислительная механика

Квалификация выпускника – специалист

Форма обучения очная

Пенза, 2019

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Суперкомпьютерное моделирование» являются приобретение обучающимися знаний и умений по разработке параллельных алгоритмов для решения задач вычислительной математики и математического моделирования.

Формируемые дисциплиной знания и умения готовят выпускника данной образовательной программы к выполнению следующих трудовых функций: А/01.5 «Осуществление проведения работ по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований», А/02.5 «Осуществление выполнения экспериментов и оформления результатов исследований и разработок», А/03.5 «Подготовка элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ» (профессиональный стандарт 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «4» марта 2014 г. № 121н).

2. Место дисциплины в структуре ОПОП специалитета

Дисциплина «Суперкомпьютерное моделирование» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» и является одной из дисциплин, формирующих профессиональные знания и навыки, характерные для специалитета по направлению подготовки 01.05.01 «Фундаментальная математика и механика» направленности (профиля подготовки) «Вычислительная математика и компьютерные науки».

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях следующих дисциплин:

- математические основы численных методов (в полном объеме);
- алгоритмические языки и программирование на ЭВМ (в полном объеме).

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

- Численные методы решения краевых задач и интегральных уравнений;
- производственная практика.

3. Результаты освоения дисциплины «Суперкомпьютерное моделирование»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Коды компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся должен:
------------------	--------------------------	---	--

ПК-3	Способен создавать и исследовать новые модели в математике, механике и естественных науках с учетом возможностей современных информационных технологий	ПК-3.1. Осуществляет самостоятельную разработку алгоритма реализующего задачи в математике и естественных науках с использованием параллелизма.	<p>Знать: основные принципы построения параллельных алгоритмов.</p> <p>Уметь: анализировать задачи, осуществлять их декомпозицию.</p>
ПК-4	Способен использовать современные методы разработки численных методов и реализации математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ, в том числе для многопроцессорных вычислительных систем	ПК-4.1. Осуществляет самостоятельную разработку программного кода на базе языков программирования реализующего задачи в математике и механике для многопроцессорных вычислительных систем.	<p>Знать: основные принципы построения параллельных программ.</p> <p>Уметь: анализировать задачи, создавать программный код для реализации алгоритма.</p>

4. Структура и содержание дисциплины «Суперкомпьютерное моделирование»

4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)							Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)	
				Контактная работа				Самостоятельная работа			Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	
				Всего	Лекция	Лабораторные занятия	Др. виды контакт. Работы	Всего	Подготовка к экзамену	Другие виды самостоятельной работы	Коллоквиум	Проверка лабораторных работ
1.	Раздел 1. Архитектура суперкомпьютерных вычислительных систем	8	1-4	9	3	6		10		10		2-4
2.	Раздел 2. Коммуникационная среда суперкомпьютерных вычислительных систем.	8	5-8	9	3	6		10		10		5-8
3.	Раздел 3. Классификация и основные понятия операционных систем супер-компьютерных вычислительных систем.	8	9-11	9	3	6		10		10		9-11
4.	Раздел 4. OpenMP (Open Multi-Processing).	8	12-14	9	3	6		10		10		12-14
5.	Раздел 5. MPI: The Message Passing Interface.	8	15-17	9	3	6		10		10		15-17
6.	Раздел 6. CUDA (Compute Unified Device Architecture)	8	18-22	6	2	4		5,05		5,05		18-22
7.	Раздел 1. Синтез алгоритмов для параллельных вычислительных систем	9	1-8									
8.	Тема 1.1. Общие вопросы синтеза алгоритмов для параллельных вычислительных систем.	9	1-4	18	6	12		6		6		2-4
9.	Тема 1.2. Оценка эффективности параллельных алгоритмов.	9	5-8	18	6	12		6		6		5-8
10.	Раздел 2. Параллельные методы и алгоритмы.	9	9-20									
11.	Тема 2.1. Параллельные методы и алгоритмы линейной алгебры.	9	9-11	18	6	12		6		6		9-11
12.	Тема 2.2. Методы минимизации для решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод сопряженных направлений	9	12-14	18	6	12		6		6		12-14
13.	Тема 2.3. Параллельные алгоритмы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений	9	15-17	18	6	12		6		6		15-17

4.2. Содержание дисциплины

1. Архитектура суперкомпьютерных вычислительных систем.

Классификация суперкомпьютерных вычислительных систем. Классификация вычислительных систем по типу строения памяти. Векторно-конвейерные системы и векторно-параллельные (SIMD-системы). Классификация SIMD-вычислительных систем. Многопроцессорные системы (MIMD-системы). Классификация MIMD-систем. Многопроцессорные системы (MIMD-системы). Вычислительные кластеры. Классификация вычислительных кластеров. Производительность параллельных вычислительных систем. Основные меры производительности параллельных вычислительных систем

2. Коммуникационная среда суперкомпьютерных вычислительных систем. Компоненты коммуникационной среды. Топологии коммуникационных сетей. Расстояние между процессорами и диаметр и коммуникационной сети. Типовые топологии коммуникационной сети.

3. Классификация и основные понятия операционных систем суперкомпьютерных вычислительных систем. Понятия процесса, контекста процесса, потока (нити). Необходимость синхронизации процессов. Варианты реализации обмена данными между процессами посредством передачи сообщений.

4. OpenMP (Open Multi-Processing). Основные конструкции (директивы). PARALLEL - порождение нитей. DO/SECTIONS - распределение работы; распределение итераций в циклах. Средства синхронизации. Классы переменных (PRIVATE, SHARED, REDUCTION, etc.). Runtime-поддержка. Процедуры, переменные среды. Привязки к C/C++.

5. MPI: The Message Passing Interface. Обмены типа точка-точка, коллективные обмены, контексты, группы и коммутаторы, топологии процессов

6. CUDA (Compute Unified Device Architecture) Введение в CUDA. Модель исполнения CUDA. Иерархия памяти. Глобальная, локальная и регистровая память. Иерархия памяти. Разделяемая память. Оптимизация CUDA программ. Стандарт директивного программирования OpenACC.

7. Общие вопросы синтеза алгоритмов для параллельных вычислительных систем.

8. Типы параллелизма и методы синтеза параллельных алгоритмов.

9. Зернистость алгоритма.

10. Параллелизм данных.

11. Функциональный параллелизм.

12. Геометрический параллелизм.

13. Оценка эффективности параллельных алгоритмов.

14. Эффективный параллельный алгоритм.

15. Ускорение параллельного алгоритма.

16. Эффективность параллельного алгоритма.

17. Закон Амдала.

18. Парадокс параллелизма.

19. Параллельные алгоритмы вычисления рекурсий.

20. Параллельные методы и алгоритмы линейной алгебры.

21. Базовые алгоритмы.

22. Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод исключения Гаусса.

23. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод Якоби.

24. Методы минимизации для решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод сопряженных направлений.

25. Параллельные алгоритмы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.

26. Задача Коши

27. Двухточечная краевая задача для уравнений второго порядка.

28. Параллельные алгоритмы решения краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных.

29. Нестационарная задача.
30. Стационарная краевая задача.

5. Образовательные технологии

Активные и интерактивные формы: лекции, лабораторные работы. В течение семестров студенты выполняют лабораторные работы, указанные преподавателем, готовят к защите отчеты о выполнении лабораторных работ.

Обучающиеся, из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечены электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья. Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учетом индивидуальных психофизических особенностей (устно, письменно на компьютере, в формате тестирования и т.д.) и позволяют оценить достижения ими запланированных в основной образовательной программе результатов обучения и уровня сформированности всех заявленных компетенций. На экзамен приглашается сопровождающий, который обеспечивает техническое сопровождение студенту. При необходимости студенту-инвалиду предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на зачете и экзамене.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

В семестре предусмотрены лабораторные работы. Лабораторные работы оцениваются по пятибалльной системе.

6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1-4, 8сем.	Архитектура суперкомпьютерных вычислительных систем.	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить архитектуру параллельных вычислительных систем.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	10
5-8, 8сем.	Коммуникационная среда суперкомпьютерных вычислительных систем.	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить коммуникационные среды суперкомпьютерных систем.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	10
9-11, 8сем.	Классификация и основные понятия операционных систем суперкомпьютерных вычислительных систем.	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить классификацию параллельных вычислительных систем.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон.	10

				дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	
12-14, 8сем.	OpenMP (Open Multi-Pro-cessing)	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить работу системы OpenMP.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	10
15-17, 8сем.	MPI: The Message PassingInterface.	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить работу системы MPI.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	10
18-22, 8сем.	CUDA (Compute UnifiedDevice Architecture).	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить работу CUDA	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	5,05
1-4, 9сем.	Общие вопросы синтеза алгоритмов для параллельных вычислительных систем	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить основные принципы синтеза параллельных алгоритмов.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	6
5-8, 9сем.	Оценка эффективности параллельных алгоритмов	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить принципы оценки эффективности параллельных алгоритмов.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	6
9-11, 9сем.	Параллельные методы и алгоритмы линейной алгебры.	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить параллельные алгоритмы линейной алгебры.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	6
12-14, 9сем.	Методы минимизации для решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод сопряженных направлений	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить методы параллельных решения линейных алгебраических уравнений.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	6

15-17, 9сем.	Параллельные алгоритмы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить параллельные алгоритмы интегрирования.	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	6
18-20, 9сем.	Параллельные алгоритмы решения краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных	Подготовка к аудиторным занятиям, лабораторным работам	Изучить параллельные алгоритмы решения краевых задач	Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с.	7,5
9 сем.		Подготовка к экзамену			36

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Студенты получают от преподавателя задание на повторение пройденного материала и самостоятельное изучение дополнительного материала по изучаемым темам лекционного курса. Преподаватель предлагает студентам литературу для самостоятельного изучения, а также выдает лабораторные задания.

Подготовка к лабораторным работам включает самостоятельное изучение необходимого теоретического материала, написание и отладку вычислительной программы, проведение вычислительных экспериментов (решение модельных и конкретных задач), подготовку отчета по лабораторной работе.

6.3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

Контроль освоения компетенций

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	проверка лабораторных работ, зачет	Раздел 1. Архитектура суперкомпьютерных вычислительных систем	ПК-3
2	проверка лабораторных работ, зачет	Раздел 2. Коммуникационная среда суперкомпьютерных вычислительных систем.	ПК-3
3	проверка лабораторных работ, зачет	Раздел 3. Классификация и основные понятия операционных систем супер-компьютерных вычислительных систем.	ПК-3
4	проверка лабораторных работ, зачет	Раздел 4. OpenMP (Open Multi-Processing).	ПК-3
5	проверка лабораторных работ, зачет	Раздел 5. MPI: The Message Passing Interface.	ПК-3
6	проверка лабораторных работ, зачет	Раздел 6. CUDA (Compute Unified Device Architecture)	ПК-3

7	проверка лабораторных работ, зачет	Общие вопросы синтеза алгоритмов для параллельных вычислительных систем	ПК-4
8	проверка лабораторных работ, зачет	Оценка эффективности параллельных алгоритмов	ПК-4
9	проверка лабораторных работ, зачет	Параллельные методы и алгоритмы линейной алгебры.	ПК-4
10	проверка лабораторных работ, зачет	Методы минимизации для решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод сопряженных направлений	ПК-4
11	проверка лабораторных работ, зачет	Параллельные алгоритмы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений	ПК-4
12	проверка лабораторных работ, зачет	Параллельные алгоритмы решения краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных	ПК-4

Примерные темы лабораторных работ (ЛР):

ЛР №1. OS Linux, вычислительные системы

ЛР №2. MPI инициализация параллельных вычислений

ЛР №3. Алгоритм умножения матрицы на вектор

ЛР №4. Алгоритм умножения матрицы на матрицу

ЛР №5. MPI-программа Hello World. Процессы в OS Linux

ЛР №6. MPI-функции точечного обмена

ЛР №7. Повышение производительности операции умножения матрицы на столбец

ЛР №8. Параллельная реализация численного решения уравнения теплопроводности

Материалы для проведения текущего контроля знаний и промежуточной аттестации составляют отдельный документ – Фонд оценочных средств по дисциплине «Суперкомпьютерное моделирование»

Демонстрационные варианты оценочных средств для каждого вида контроля доступны в ЭИОС (<http://moodle.pnzgu.ru>) в разделе Оценочные средства по дисциплине в курсе «Суперкомпьютерное моделирование».

7. Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение дисциплины «Суперкомпьютерное моделирование»

а) учебная литература:

1. Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 500 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/100527>. — Загл. с экрана.
2. Гергель, В.П. Технологии построения и использования кластерных систем [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : , 2016. — 548 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/100517>. — Загл. с экрана.

б) Интернет-ресурсы

1. <http://www.mccme.ru/free-books/> - Свободно распространяемые издания Московского Центра непрерывного математического образования.
2. <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm> - Электронная физико-математическая библиотека EqWorld
3. <http://www.mathnet.ru/> - Общероссийский математический портал Math-Net.Ru

4. <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека

в) Программное обеспечение

1. OS Linux.
2. Библиотека MPICH (<https://www.mpich.org>)

г) Другое материально-техническое обеспечение: компьютеры с доступом в сеть Internet для самостоятельной работы

Рабочая программа дисциплины С1.В.ДВ.04.01 «Суперкомпьютерное моделирование» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.05.01 «Фундаментальная математика и механика», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «10» января 2018 г. № 8, с учетом профессионального стандарта 40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденного приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от «4» марта 2014 г. № 121н.

Программу составили:

1. _____ Антонов А.В., доцент каф. МСМ
(Ф.И.О., должность, подпись)

2. _____
(Ф.И.О., должность, подпись)

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.

Программа одобрена на заседании кафедры МСМ

Протокол № _____ от «_____» _____ 20__ года

Зав. кафедрой _____ Смирнов Ю.Г.
(подпись, Ф.И.О.)

Программа одобрена методической комиссией факультета ВТ

Протокол № _____ от «_____» _____ 20__ года

Председатель методической комиссии
факультета ВТ _____ Глотова Т.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа дисциплины С1.В.ДВ.04.01 «Суперкомпьютерное моделирование» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 01.05.01 «Фундаментальная математика и механика», утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «10» января 2018 г. № 8.

Программу составили:

1. _____ Антонов А.В., доцент каф. МСМ _____
(Ф.И.О., должность, подпись)

2. _____
(Ф.И.О., должность, подпись)

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.

Программа одобрена на заседании кафедры МСМ

Протокол № _____ от « _____ » _____ 20__ года

Зав. кафедрой _____ Смирнов Ю.Г.
(подпись, Ф.И.О.)

Программа одобрена методической комиссией факультета ВТ

Протокол № _____ от « _____ » _____ 20__ года

Председатель методической комиссии
факультета ВТ _____ Глотова Т.В.
(подпись) (Ф.И.О.)

Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата)	Внесенные изменения	Подпись зав. кафедрой