

Федеральное агентство научных организаций

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
**Пермский федеральный исследовательский центр**  
Уральского отделения  
Российской академии наук

Принято на заседании  
Объединенного ученого совета  
ПФИЦ УрО РАН  
Протокол № 6/18  
«28» сентября 2018 г.



Утверждаю  
Директор ПФИЦ УрО РАН  
Чл. корр. РАН А.А. Барях  
«28» сентября 2018 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Параллельные вычисления в механике сплошных сред»**  
(наименование дисциплины по учебному плану)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Направление 01.06.01 «Математика и механика»  
(код и наименование)

Профиль программы аспирантуры 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела

Квалификация выпускника: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения: Очная

Курс: 1 Семестр(ы): 1, 2

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 3 ЗЕ  
Часов по рабочему учебному плану: 108 ч

**Виды контроля:**

Экзамен: - **нет** Зачёт: **2** Курсовой проект: - **нет** Курсовая работа: - **нет**

**Рабочая программа дисциплины Параллельные вычисления в механике сплошных сред разработана на основании:**

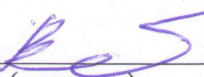
- федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «30» июля 2014 г. номер приказа «866» по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации)»;
- компетентностной модели выпускника ООП по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), программы аспирантуры «Механика деформируемого твёрдого тела», утверждённой «28» сентября 2018 г.;
- базового учебного плана очной формы обучения по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика (уровень подготовки кадров высшей квалификации), программы аспирантуры «Механика деформируемого твёрдого тела», утверждённой «28» сентября 2018 г.

**Рабочая программа согласована с рабочей программой дисциплины**

1. Соотношения на поверхностях разрыва
2. Физика вязкоупругих магнитных материалов

участвующей в формировании компетенций совместно с данной дисциплиной.

Разработчик к.ф.-м.н., доцент  
(учёная степень, звание)

  
(подпись)

Вертгейм И.И.  
(инициалы, фамилия)

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор  
(учёная степень, звание)

  
(подпись)

Роговой А.А.  
(инициалы, фамилия)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цель учебной дисциплины

Дисциплина «Параллельные вычисления в механике сплошных сред» является частью подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации. Курс предназначен для ознакомления аспирантов с программированием на параллельных вычислительных системах, формирования базовых представлений об особенностях разработки параллельных вариантов численных алгоритмов, их структуре и способах их разработки и обеспечения эффективности в применении к задачам механики сплошных сред, физики и техники. Курс является междисциплинарным, опирается на базовые понятия и концепции программирования и численных методов механики сплошных сред.

В результате изучения дисциплины аспирант формирует части следующих компетенций:

– ПК-2 (способность получать численные и аналитические решения краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях).

– ПК-3 (способность анализировать и формулировать связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения).

Аспирант должен

#### знать

- физические и математические основы численных методов;
- основные виды инженерного анализа;
- технологии высокопроизводительных вычислений с применением кластерных систем и суперкомпьютеров;
- общие принципы решения исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

#### уметь

- ставить задачу и проводить численные и аналитические исследования краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях;
- применять теоретические знания по методам сбора, хранения, обработки и передачи информации

#### владеть

- методами самостоятельного анализа краевых задач для различных классов уравнений;
- практическими навыками и знаниями использования современных исследовательских и проектных технологий.

### 1.2. Задачами учебной дисциплины являются изучение:

- параллельных вычислительных систем (ПВС), их развитие, современное состояние и способы классификации;
- основных теоретических понятий и принципов, на которых базируются функционирование современных ПВС и разработка параллельных вычислительных алгоритмов;
- методов и средств достижения высоких эффективности и качества параллельных алгоритмов для различных типов задач механики сплошных сред и других областей физики; и формирование умений и навыков:
  - программирования с учетом особенностей разработки параллельных алгоритмов для задач механики сплошных сред и других областей физики;
  - оценки эффективности и качества параллельных вычислительных алгоритмов и способов их повышения.

### 1.3. Предметами освоения дисциплины являются:

- представления об основных типах современных параллельных вычислительных систем (ПВС), способах их классификации; теоретических понятиях и принципах, на которых основано функционирование ПВСа.

- методы разработки эффективных параллельных вычислительных алгоритмов задач механики сплошных сред и способы оценки их качества;
- знание принципов и овладение методикой программирования с использованием основных функций библиотек параллельных функций MPI, Open MP, Cuda, специализированных библиотек параллельных программ для научных вычислений.

#### 1.4. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Параллельные вычисления в механике сплошных сред» Б1.В.ДВ2.1 входит в Блок 1 и относится к циклу дисциплин по выбору вариативной части Модуля 1 образовательной программы по направлению подготовки: 01.06.01 – «Математика и механика», направленность 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

#### Связь с предшествующими дисциплинами

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний по высшей математике, уравнениям математической физики, вариационному исчислению, общей физике в объеме программы высшего профессионального образования.

#### Связь с последующими дисциплинами

Знания и навыки, полученные аспирантом при изучении данного курса, необходимы при работе над диссертацией и при её написании по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

## 2. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-2, ПК-3.

### 2.1. Дисциплинарная карта компетенции ПК-2

<b>Код ПК-2</b>	<b>Формулировка компетенции</b> Способность получать численные и аналитические решения краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях
<b>Код ПК-2. Б1.В.ДВ2.1</b>	<b>Формулировка дисциплинарной части компетенции</b> Способность приобретать знания современных методов анализа вычислительных алгоритмов, на их основе выявлять возможности их распараллеливания и оценивать достигаемые при этом эффективность и ускорение в расчетах задач механики сплошных сред.

#### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>В результате освоения компетенции аспирант:</b> <b>Знает:</b> - методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики деформируемого твёрдого тела (3 ПК-2);	Лекции, самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, консультации научного руководителя, ведение текущей научно-	Вопросы для текущего и промежуточного контроля.

	исследовательской работы	
<b>Умеет:</b> - ставить задачу и проводить численные и аналитические исследования краевых задач для прогноза поведения деформируемых твердых тел различной природы при разнообразных воздействиях (У1 ПК-2); - применять теоретические знания по методам сбора, хранения, обработки и передачи информации (У2 ПК-2).	Лекции, самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, консультации научного руководителя, ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов в части публикаций и участия в конференциях

## 2.2. Дисциплинарная карта компетенции ПК-3

<b>Код ПК-3</b>	<b>Формулировка компетенции</b> Способность анализировать и формулировать связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения
<b>Код ПК-3. Б1.В.ДВ2.1</b>	<b>Формулировка дисциплинарной части компетенции</b> Способность применять существующие библиотеки и пакеты вычислительного моделирования с использованием распараллеливания для решения конкретных задач механики сплошных сред

### Требования к компонентному составу части компетенции

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
<b>В результате освоения компетенции аспирант:</b> <b>Знает:</b> - методологию, конкретные методы и приемы анализа связи между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения (З ПК-3);	Лекции, самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, консультации научного руководителя, ведение текущей научно-исследовательской работы	Вопросы для текущего и промежуточного контроля.
<b>Умеет:</b> - ставить и решать задачу о связи между изменением структуры материала и особенностями процесса деформирования и разрушения (У ПК-3);	Лекции, самостоятельная работа аспирантов, подготовка отчета, ведение текущей научно-исследовательской работы	Выполнение индивидуального плана аспирантов в части публикаций и участия в конференциях

### 3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Объём и виды учебной работы

№ п.п.	Виды учебной работы	Трудоёмкость, ч		
		по семестрам		всего
1	2	3		4
		1й	2й	
1	<b>Аудиторная работа</b>	<b>14</b>	-	<b>14</b>
	- лекции (Л)	14	-	14
	- практические занятия (ПЗ)	2	-	2
2	<b>Контроль самостоятельной работы (КСР)</b>	-	-	-
3	<b>Самостоятельная работа (СР)</b>	<b>36</b>	<b>52</b>	<b>90</b>
	- изучение теоретического материала	36	52	90
4	<b>Итоговая аттестация по дисциплине: Зачёт</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>
5	<b>Трудоёмкость дисциплины, всего: в часах (ч) в зачётных единицах (ЗЕ)</b>	<b>54 1,5</b>	<b>54 1,5</b>	<b>108 3</b>

### 4. Содержание учебной дисциплины

#### 4.1 Модульный тематический план

Тематический план по модулям учебной дисциплины

Но- мер учеб- ного мо- дуля	Номер раз- дела дисци- плины	Номер темы дисци- плины	Количество часов (очная форма обучения)							Трудоём- кость, ч / ЗЕ	
			аудиторная работа					итого- вая ат- теста- ция	само- стоя- тель- ная ра- бота		
			всего	Л	ПЗ	ЛР	КСР				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	1	Введение	1	1	-	-	-	-	-	-	1
		1	2	2	-	-	-	-	-	4	6
		2	-	-	-	-	-	-	-	7	7
		3	3	3	-	-	-	-	-	9	12
		4	-	-	-	-	-	-	-	11	11
		5	3	3	-	-	-	-	-	12	15
		6	3	3	-	-	-	-	-	10	13
		7	2	-	2	-	-	-	-	8	10
		8	-	-	-	-	-	-	-	11	11
		9	2	2	-	-	-	-	-	16	18
		<b>Итого по модулю:</b>	<b>16</b>	<b>14</b>	<b>2</b>	-	-	-	<b>88</b>	<b>104</b>	
<b>Итоговая аттестация</b>			-	-	-	-	-	<b>4</b>	-	<b>4</b>	
<b>Всего:</b>			<b>16</b>	<b>14</b>	<b>2</b>			<b>4</b>	<b>88</b>	<b>108/3</b>	

#### 4.2 Содержание разделов и тем учебной дисциплины

**Введение.**

Л – 1 ч.

Организация учебного процесса. Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины.



**Раздел 1.**

Л – 14 ч., СР – 88 ч.

**Тема 1.**

Исторический обзор основных идей и методов, способы классификации параллельных вычислительных систем. Методы разработки и способы представления параллельных вычислительных алгоритмов. Алгоритмические проблемы параллелизма. Характеристики и показатели качества параллельных вычислительных алгоритмов. Законы Амдала.

**Тема 2.**

Модификация языков программирования для параллельных вычислений. Системы параллельных вычислений.

**Тема 3.**

Основные цели и задачи разработки, функции и компоненты библиотеки MPI. Программирование на основе MPI. Точечные взаимодействия, прием и передача сообщений. Коллективный обмен данными и распределенные операции в MPI. Группы и топологии процессов в MPI. Разработка программ на MPI.

**Тема 4.**

Системы параллельного программирования, отличные от MPI: PVM, OpenMP, CUDA.

**Тема 5.**

Кластеры ПК и рабочих станций как перспективный вид ПВС. Особенности реализации и программирования MPI и других систем параллельного программирования для различных платформ. Знакомство и работа с базовым ПО кластера «ИМСС УрО РАН» и средой программирования на основе MPI. Способы автоматического распараллеливания программ на основе анализа структуры алгоритма. Библиотеки параллельных программ на основе MPI.

**Тема 6.**

Библиотеки параллельных программ и средства автоматического распараллеливания на основе MPI и других систем («НОРМА», OpenMP, CUDA, и др.).

**Тема 7.**

Практическое занятие: разработка программ на MPI для кластера ИМСС УрО РАН и освоение технологии параллельного программирования на сравнительно несложных задачах, требующих реализации отдельных алгоритмов из области линейной алгебры, вычисления сумм рядов, определенных интегралов и т.д.

**Тема 8.**

Обработка полученных при выполнении практического задания результатов, определение параметров эффективности и качества параллельного алгоритма.

**Тема 9.**

Особенности и способы построения параллельных алгоритмов для задач линейной алгебры, конечно-разностных и спектральных методов решения задач механики сплошных сред.

**4.3 Перечень тем практических занятий**

ПЗ – 2ч.

Практические занятия по дисциплине предназначены для закрепления знаний, полученных в лекционном курсе, и приобретению навыков использования этих знаний для решения практических задач. В ходе занятий предполагается развитие практических навыков построения вычислительных алгоритмов и программирования для ПВС. Методология параллельного программирования иллюстрируется на сравнительно несложных задачах, требующих реализации отдельных алгоритмов из области линейной алгебры, вычисления сумм рядов, определенных интегралов и т.д.

**4.4 Перечень тем лабораторных работ**

Лабораторные работы не предусмотрены.

#### 4.5 Содержание самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в чтении рекомендуемой литературы и в применении усвоенного аппарата при работе над диссертацией, в подготовке и выступлении с рефератами по вопросам разработки параллельных программ для реальных проблем механики сплошных сред и других областей физики.

#### 4.6. Участие в научных мероприятиях различного уровня

№ п/п	Полное название мероприятия
1	Научный семинар Лаборатории кинетики анизотропных жидкостей, научный семинар «ИМСС УрО РАН»
2	Зимняя школа по механике сплошных сред, г. Пермь, «ИМСС УрО РАН» (каждые два года)
3	Всероссийская конференция молодых ученых «Математическое моделирование в естественных науках», г. Пермь, ПНИПУ (ежегодная)
4	Всероссийская конференция молодых ученых «Неравновесные процессы в сплошных средах», г. Пермь, ПГНИУ (ежегодная)
5	Участие в международных конференциях различного уровня
5	Участие в проектах РФФ, РФФИ (индивидуально)

### 5. Методические указания по изучению дисциплины

#### Аспирантам

Изучение учебной дисциплины должно проводиться систематически. Написание конспекта лекций должно вестись кратко, схематично, последовательно с фиксированием основных положений, выводов, формулировок, обобщений. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела. К выполнению практических заданий приступать после самостоятельной работы по изучению теоретических вопросов.

При самостоятельной научно-исследовательской работе проводить знакомство с основной и дополнительной литературой, включая справочные издания, зарубежные источники, конспект и т.д.; составлять аннотации к прочитанным литературным источникам; писать разделы глав научно-исследовательской работы; проводить самоконтроль освоения программного материала.

Необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента.

#### Преподавателям

Преподавателю необходимо систематически контролировать результаты самостоятельной работы и учитывать их при аттестации студента. При проведении аттестации студентов важно помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на которых основаны контроль и оценка знаний. Проверка, контроль и оценка знаний студента требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно для преподавателя и студента.



## 6. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. В ходе аудиторной работы формируется фундамент теоретических основ, дается физическое толкование процессов. Преподаватель ведет диалог с аспирантами, задает вопросы, нацеленные на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список тем рефератов, подготовка к которым стимулирует ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Проведение практических занятий основывается на методе обучения, при котором аспиранты взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом преобладает активность аспирантов в процессе обучения, преподаватель же направляет деятельность аспирантов на достижение целей занятия.

## 7. Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации и текущего контроля представлен в виде приложения к рабочей программе дисциплины.

## 8. Управление и контроль освоения компетенций

### 8.1 Текущий контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Текущий и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса;

### 8.2 Рубежный и промежуточный контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

Рубежный и промежуточный контроль освоения дисциплинарных частей компетенций проводится в форме:

- устного опроса.

### 8.3 Итоговый контроль освоения заданных дисциплинарных частей компетенций

#### 1) Зачёт

Условия проставления зачёта по дисциплине:

- зачёт по дисциплине выставляется по итогам проведённого аттестационного испытания по билетам, тестирования и контроля самостоятельной работы.

#### 2) Экзамен

Не предусмотрен.

### 8.4 Виды текущего, рубежного и итогового контроля освоения элементов и частей компетенций

Контролируемые результаты освоения дисциплины	Вид контроля			
	ТК	ПК	ЛР	Зачёт
<b>В результате освоения компетенции аспирант:</b> <b>Знает:</b>				
- методологию, конкретные методы и приемы решения краевых задач, встречающихся при исследовании проблем механики жидкости и газа, современное состояние развития программного обеспечения для моделирования течений жидкости и газа (3 ПК-2);	+			+
<b>Умеет:</b>				

- ставить задачу и проводить численные и аналитические исследования краевых задач для прогноза поведения жидкости, газа и плазмы при разнообразных воздействиях, в том числе с возможностью распараллеливания на современные вычислительных системах (У1 ПК-2)				+
- применять теоретические знания по методам сбора, хранения, обработки и передачи информации (У2 ПК-2)				+

ТК – текущий контроль в форме устного опроса по темам (контроль знаний по теме);

ПК – промежуточный контроль в форме устного опроса по модулю (контроль знаний по теме);

ЛР – выполнение лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка умений и навыков).

## 9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Перечень основной и дополнительной учебной литературы

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1	2	3
<b>1 Основная литература</b>		
1	Воеводин В.В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. СПб, «БХВ-Петербург», 2002, 608 с.	2
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебные и научные издания</b>		
1	Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. М.: Мир, 1979 <a href="http://snilit.tspu.ru/uploads/files/default/computer_algorithms.pdf">http://snilit.tspu.ru/uploads/files/default/computer_algorithms.pdf</a>	1
<b>2.2 Периодические издания</b>		
1	Журнал «Вычислительная механика сплошных сред» <a href="http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm">http://www2.icmm.ru/journal/cont.htm</a>	
2	Журнал «Известия РАН. Механика твердого тела», <a href="http://mtt.ipmnet.ru/ru">http://mtt.ipmnet.ru/ru</a>	
3	Журнал «Известия РАН. Механика жидкости и газа» <a href="http://mzg.ipmnet.ru/ru">http://mzg.ipmnet.ru/ru</a>	
4	Вестник ПНИПУ. «Механика» журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, с 2012 г. <a href="http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/">http://vestnik.pstu.ru/mechanics/about/inf/</a>	
5	Вестник ПГНИУ. «Физика» журнал / Пермский государственный национальный исследовательский университет; Под ред. В. А. Дёмина. - Пермь: Изд-во ПГНИУ, с 2016 г. <a href="http://press.psu.ru/index.php/phys/index">http://press.psu.ru/index.php/phys/index</a>	
<b>2.3 Нормативно-технические издания</b>		
<b>2.4 Официальные издания</b>		
<b>2.5 Электронные информационно-образовательные ресурсы</b>		
1	Электронная библиотека диссертаций РГБ	

	<a href="http://diss.rsl.ru">http://diss.rsl.ru</a>	
2	Научная электронная библиотека РИНЦ (Elibrary) <a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	
3	Научная электронная библиотека ScienceDirect <a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>	
4	Научная электронная библиотека SpringerLink <a href="https://link.springer.com/">https://link.springer.com/</a>	
5	Научная электронная библиотека Elsevier <a href="https://www.elsevier.com">https://www.elsevier.com</a>	
6	Полнотекстовая мультидисциплинарная база данных диссертаций ProQuest Dissertations & Theses Global <a href="http://proquest.com/pqdtglobal/dissertations">http://proquest.com/pqdtglobal/dissertations</a>	
7	Университетская информационная система Россия <a href="https://uisrussia.msu.ru/">https://uisrussia.msu.ru/</a>	
8	Университетские библиотеки г. Перми <a href="http://biblioclub.ru/">http://biblioclub.ru/</a> <a href="http://pspu.ru/university/biblioteka/jelektronnye-resursy-biblioteki">http://pspu.ru/university/biblioteka/jelektronnye-resursy-biblioteki</a> <a href="https://perm.hse.ru/library/">https://perm.hse.ru/library/</a> <a href="http://biblioteki.perm.ru/main/index.html?id=34">http://biblioteki.perm.ru/main/index.html?id=34</a>	
9	Наукометрическая и реферативная база данных Scopus <a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>	
10	Электронная база данных Web of Science <a href="http://apps.webofknowledge.com">http://apps.webofknowledge.com</a>	
11	Национальная электронная библиотека <a href="https://нэб.рф/">https://нэб.рф/</a>	

### 10. Материально-техническое обеспечение, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Специальные помещения и помещения для самостоятельной работы

№ п.п.	Помещения		
	Название	Принадлежность (кафедра)	Номер аудитории
1	2	3	4
1.	Лекционная мультимедийная аудитория	БОН	ауд.203
2.	Лекционная мультимедийная аудитория	«ИМСС УрО РАН», корп. Б	ауд.233

