

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра физики сплошных сред**

академик РАН



УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ

А. Е. Бондарь

« 04 » 10 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ СПЛОШНЫХ СРЕД-2**

направление подготовки: **03.04.02 Физика, Курс 1, семестр 2**  
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

**Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:  
д.ф.-м.н., проф.

А. Л. Куперштох

Зав. КафФСС ФФ НГУ  
д.т.н., проф.

Е.И. Пальчиков

Руководитель программы.  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

## Содержание

Аннотация ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. ....	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	5
5. Перечень учебной литературы. ....	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	9

## Аннотация

к рабочей программе дисциплины курса «Численные методы в механике сплошных сред-2»

Направление: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа курса «Численные методы в механике сплошных сред-2» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки 03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика», а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой физики сплошных сред в качестве дисциплины по выбору. Дисциплина изучается студентами первого курса магистратуры физического факультета.

Цель курса – изучение магистрантами основных численных методов механики сплошной среды и примеров их использования для решения типичных линейных и нелинейных задач механики сплошной среды; основных приемов реализации численных методов для задач механики; основных перспективных направлений развития численных методов механики.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих общепрофессиональных компетенций:

**ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.**

**ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** основные алгоритмы численных методов, особенности и границы их применения для реальных задач, связанных с конечной точностью численных методов, возможной неустойчивостью метода и конечностью вычислительных ресурсов современного компьютера.
- **Уметь:** реализовывать основные алгоритмы численных методов в виде программ на языке программирования C++, проводить модельные расчеты многомерных течений газа и жидкости.
- **Владеть:** приемами априорного анализа и тестирования алгоритмов механики сплошной среды; методами решения задач в эйлеровой постановке и в лагранжевой постановке.

Курс рассчитан на один семестр (2-ой). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: решение задач из задания для самостоятельного решения

Промежуточная аттестация: экзамен

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 72 академических часа / 2 зачетных единицы.

## **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

Дисциплина «Численные методы в механике сплошных сред-2» имеет своей целью обучение магистрантов теоретическим основам современной теории детонации. Основной целью освоения дисциплины является знание базовых понятий, результатов и методов теории детонации — фундаментальной науки, лежащих в основе современных технологий. Студенты должны знать особенности детонационных процессов, их отличие от горения, знать структуру детонационной волны и характерные значения термодинамических параметров для различных взрывчатых веществ и другие разделы теории детонации.

Цели курса – сформировать у студентов определенную систему знаний, навыков и умений в постановке и решении задач, связанных с использованием специализированных знаний в области физики для освоения профильных физических дисциплин и способность проводить научные экспериментальные исследования в избранной области - в части освоения результатов и методов современной теории детонации.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося **профессиональных компетенций (ПК):**

**ПК-1** -способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта:

ПК 1.1 – знать основные алгоритмы численных методов, особенности и границы их применения для реальных задач, связанных с конечной точностью численных методов, возможной неустойчивостью метода и конечностью вычислительных ресурсов современного компьютера;

ПК 1.2 – уметь проводить модельные расчеты многомерных течений газа и жидкости;

ПК 1.3 – владеть методами решения задач в эйлеровой постановке и в лагранжевой постановке.

**ПК-2** - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности:

ПК 2.1 – знать основные численные пакеты, их достоинства и недостатки применительно к различным задачам механики сплошной среды;

ПК 2.2 – уметь реализовывать основные алгоритмы численных методов в виде программ на языке программирования C++ применительно к задачам механики сплошных сред;

ПК 2.3 – владеть приемами априорного анализа и тестирования алгоритмов механики сплошной среды.

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.**

Дисциплина «Численные методы в механике сплошных сред-2» является одной из дисциплин по выбору по направлению подготовки 03.04.02 Физика (профиль подготовки «Общая и фундаментальная физика»). Дисциплина «Численные методы в механике сплошных сред-2» развивает знания, умения и навыки, сформированные у обучающихся по результатам общей базовой подготовки в рамках программ бакалавриата, а также приобретенные в процессе освоения дисциплины «Численные методы в механике сплошных сред-1». Студенты, приступающие к изучению этой дисциплины, должны обладать предварительными знаниями основ общей физики, механики, термодинамики, физики сплошных сред, математического и функционального анализа, дифференциальных уравнений, векторного и тензорного анализа, основ программирования на C++.

**3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, самостоятельное выполнение месячных заданий.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина «Численные методы в механике сплошных сред-2» представляет собой полугодовой курс, читаемый в магистратуре физического факультета НГУ во втором семестре.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Расчет течений с межфазными границами	1	4	2		2			
2	Схемы для задач упругопластичности	2	4	2		2			
3	Молекулярная динамика. Основные схемы и область применения.	3-4	4	4					
4	Стохастические задачи.	5	4	2		2			
5	Дискретная динамика.	6-7	4	4					
6	Решеточные газы.	8-9	6	4		2			
7	Решеточные уравнения Больцмана.	10-11	6	4		2			
8	Численные расчеты в программе "Математика".	12-13	6	4		2			
9	Численные расчеты в программе GNU	14-15	6	4		2			
10	Численные расчеты в программе	16	6	2		4			
11.	Самостоятельная подготовка к экзамену		18				18		

12.	Экзамен		4					2	2
	<b>Всего</b>		<b>72</b>	<b>32</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

### Программа и основное содержание лекций (32 часа)

#### 1. Расчет течений с межфазными границами (2 часа).

Особенности методов расчета для теории мелкой воды. Метод произвольно подвижных координат. Методы маркеров и ячеек. Методы непрерывного маркера. Учет поверхностного натяжения. Метод Самарского для сквозного расчета межфазных границ.

#### 2. Схемы для задач упругопластичности (2 часа).

Явные и неявные лагранжевы схемы инкрементального метода конечных элементов. Расчет контактных границ. Особенности расчета тонкостенных и составных конструкций. Расчет процессов разрушения.

#### 3. Молекулярная динамика. Основные схемы и область применения. (4 часа).

Метод свободных точек Дьяченко. Методика «Медуза» Методы фиктивных областей и перекрывающихся сеток. Бессеточные методы Галеркина. Спектральные методы.

#### 4. Стохастические задачи (2 часа).

Методы фиктивных областей и перекрывающихся сеток. Методы генерации сеток. Методы отображений. Связь с теорией упругости. Барьерность. Методы триангуляций Делоне и Вороного. Построение сеток на поверхностях. Методы для адаптивных встраивающихся и адаптивных подвижных сеток.

#### 5. Дискретная динамика (4 часа).

Обобщение метода конечных элементов. Метод дискретных элементов. Метод отдельных элементов. Обобщенный метод дискретного элемента. Дискретный деформационный анализ. Метод конечных дискретных элементов

#### 6. Решеточные газы (4 часа).

Модели решетчатого газа (LGCA). Схема столкновений. Ограничения моделей решетчатого газа. Модель решетчатого газа Больцмана.

#### 7. Решеточные уравнения Больцмана (4 часа).

Дискретное кинетическое уравнение Больцмана. Модель Бхатнагара — Гросса — Крука. Ограничения метода. Предел скорости. Неустойчивость на границе подвижных тел.

#### 8. Численные расчеты в программе «Математика» (4 часа).

Команды пакета «Математика». Примеры: Задача Дирихле для уравнения Пуассона. Уравнение колебания струны с закрепленными концами. Уравнение теплопроводности.

#### 9. Численные расчеты в программе GNU Octave (4 часа).

Язык Octave. Octave Forge - менеджер пакетов-расширений для системы Octave. Интеграция с C++. Параллельные вычисления. Совместимость с MATLAB.

#### 10. Численные расчеты в программе OpenFOAM (2 часа).

Структура файлов пакета. Подготовка исходных данных. Типы граничных условий. Блочные сетки и неструктурированные сетки. Решатель Fluent. Модели турбулентности (Reynolds-Averaged Stresses, Large Eddy Simulation). Контроль качества сетки. Контроль сходимости решения.

### Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Решение заданий	18
Подготовка к экзамену	18

#### 5. Перечень учебной литературы.

##### 5.1. Основная литература

1. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. 2 изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1978. — 687 с.: ил.

##### 5.2. Дополнительная литература

1. Аладьев В.З., Шишаков М.Л. Введение в среду пакета МАТНЕМАТИСА 2.2. М., ИИД «Филинь», 1997.

#### 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Не используются

#### 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

##### 7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются

##### 7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

#### 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используются аудитории, оборудованные всем необходимым для чтения лекций (доска, экран, компьютер, мультимедийный проектор), в том

числе стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения выборочных опросов и проверки заданий, самостоятельно решаемых обучающимися.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

**Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Современная гидродинамика жидкости».**

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК 1.1 ПК 2.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 1.2 ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.3 ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

**Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения**

**Задания для самостоятельного решения**

При выполнении заданий требуется составить работающую программу, позволяющую сравнивать результаты различных численных методов.

**ЗАДАНИЕ №1**

1. Двумерная электростатика. Решение методом установления.
2. Одномерная акустика. Сравнение явной и неявной схемы.
3. Акустика – схема Годунова и метод характеристик.
4. Газодинамика – схема Лакса-Вендроффа.
5. Газодинамика – искусственная вязкость (схема Рихтмайера-Мортона).

### **Список вопросов, выносимых на экзамен**

*На проверку сформированности компетенции ПК-1:*

1. Особенности методов расчета для теории мелкой воды.
2. Метод произвольно подвижных координат.
3. Методы маркеров и ячеек.
4. Методы непрерывного маркера.
5. Учет поверхностного натяжения в многофазных задачах.
6. Метод Самарского для сквозного расчета межфазных границ.
7. Принцип аддитивности, границы его применимости.
8. Модели решетчатого газа (LGCA).
9. Схема столкновений.
10. Модель решетчатого газа Больцмана.

*На проверку сформированности компетенции ПК-2:*

1. Явные и неявные лагранжевы схемы инкрементального метода конечных элементов.
2. Расчет контактных границ.
3. Особенности расчета тонкостенных и составных конструкций методами граничных элементов.
4. Алгоритм решения уравнения теплопроводности в пакете «Математика».
5. Влияние малосжимаемой добавки в односкоростной модели детонации.
6. Модели турбулентности в пакете OpenFOAM.
7. Контроль качества сетки в пакете OpenFOAM.
8. Контроль сходимости решения в пакете OpenFOAM.

#### **Пример экзаменационного билета**

1. Особенности методов расчета для теории мелкой воды.
2. Контроль качества сетки в пакете OpenFOAM.

**Форма экзаменационного билета представлена на рисунке**

<p style="text-align: center;"><b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)</i></p> <p style="text-align: center;"><b>Физический факультет</b></p>
---

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № \_\_\_\_\_

1. ....
2. ....

Составитель \_\_\_\_\_ /Ф.И.О. преподавателя/  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации фонда оценочных средств  
по дисциплине «Численные методы в механике сплошных сред-2»  
по направлению подготовки 03.04.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного