

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Тарунин Евгений Леонидович**
Гаврилов Константин Алексеевич
Циберкин Кирилл Борисович
Демин Виталий Анатольевич

Рабочая программа дисциплины
ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В ГИДРОДИНАМИКЕ
Код УМК 61997

Утверждено
Протокол №6
от «04» июня 2021 г.

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Численные методы в гидродинамике

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Численные методы в гидродинамике** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.03.02 Физика (направленность : Фундаментальная физика)

ОПК.4 Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

Индикаторы

ОПК.4.1 Формулирует задачи, исходя, из поставленной цели и выбирает способы их решения

ПК.2 Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта

Индикаторы

ПК.2.1 Осуществляет проведение литературного обзора в выбранном направлении исследования

ПК.2.2 Осуществляет проведение теоретического (экспериментального) исследования в рамках поставленной задачи, обработку и анализ полученных результатов

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	11
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	42
Проведение лекционных занятий	14
Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку	28
Самостоятельная работа (ак.час.)	66
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (11 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Численные методы в гидродинамике. Первый семестр

Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных

Конечно-разностные аппроксимации производных. Устойчивость и сходимость разностных схем. Методы анализа устойчивости и сходимости. Методы решения конечно-разностных уравнений. Скалярная прогонка. Свойства разностных схем. Тесты. Решение уравнений с переменными коэффициентами и нелинейных уравнений. Граничные условия. Итерационные методы.

Методы решения задач гидродинамики вязкой жидкости

Численный эксперимент. Методы решения уравнений Навье-Стокса. Двухполевой метод. Граничные условия для вихря и функции тока. Сходимость двухполевого метода. Тестовые задачи. Метод последовательности сеток. Определение порога гидродинамической устойчивости методом сеток. Решение задачи о фазовом переходе со свободной конвекцией (задачи Стефана).

Программные пакеты вычислительной гидродинамики

Современные программные пакеты и комплексы решения задач вычислительной гидродинамики. Метод конечных элементов, метод конечных объёмов. Обзор профессиональных программных пакетов ANSYS Fluent, ANSYS CFX, OpenFOAM и др.

Примеры задач свободной конвекции в замкнутых объёмах

Точные решения задач. Конвекция в прямоугольной полости при подогреве сбоку. Надкритические режимы течения. Устойчивость течений.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов/В. М. Головизнин [и др.].-Москва:Московский университет,2013, ISBN 978-5-211-06426-3.-4661.-Библиогр. в конце глав
2. Тарунин Е. Л. Вычислительный эксперимент в задачах свободной конвекции:учеб. пособие/Е. Л. Тарунин.-Иркутск:Изд-во Иркут. ун-та,1990, ISBN 5-7430-0150-2.-223.-Библиогр.: с. 219-224
3. Емельянов, В. Н. Численные методы: введение в теорию разностных схем : учебное пособие для академического бакалавриата / В. Н. Емельянов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 188 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-06617-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/438073>

Дополнительная:

1. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов: В 10 т. Т. 6. Гидродинамика/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц.-Москва:Наука,1986.-736
2. Ландик Л. В.,Сергеев О. Б. Разностные методы для решения задач механики жидкости и газа:учебное пособие/Л. В. Ландик, О. Б. Сергеев.-Пермь,2012, ISBN 978-5-7944-1914-6.-1.
<http://www.campus.psu.ru/library/node/32606>
3. Русаков С. В.,Вьюжанина Е. В.,Федоровцева Е. Н. Методы теории возмущений:учебно-методическое пособие по спецкурсу/С. В. Русаков, Е. В. Вьюжанина, Е. Н. Федоровцева ; ред. С. В. Русаков.- Пермь,2003, ISBN 5-7944-0357-8.-96.-Библиогр.: с. 95

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

library.psu.ru/node/738 Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

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

Образовательный процесс по дисциплине **Численные методы в гидродинамике** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».
- Электронные мультимедийные учебники и учебные пособия по вычислительной математике и моделированию;
- Свободный компилятор gfortran языка FORTRAN;
- Графический пакет GNUplot;
- Пакет аналитических вычислений Maxima;
- Пакет численного моделирования Octave;

Дополнительный перечень используемых информационных технологий и программного обеспечения определяется читающими курс преподавателями

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (student.psu.ru).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения лабораторных работ - компьютерный класс, оснащенный презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и компьютерной техникой с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой

(проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - компьютерный класс, оснащенный презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и компьютерной техникой с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Численные методы в гидродинамике**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ОПК.4

Способен проводить экспериментальные и теоретические научные исследования объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.4.1 Формулирует задачи, исходя, из поставленной цели и выбирает способы их решения</p>	<p>Знать современные программные пакеты и комплексы решения задач вычислительной гидродинамики. Уметь формулировать и адаптировать задачи для программных пакетов. Владеть профессиональными программными пакетами (OpenFOAM).</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает современные программные пакеты и комплексы решения задач вычислительной гидродинамики. Не умеет формулировать и адаптировать задачи для программных пакетов. Не владеет профессиональными программными пакетами (OpenFOAM).</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания современных программных пакетов и комплексов решения задач вычислительной гидродинамики. Демонстрирует частично сформированное умение формулировать и адаптировать задачи для программных пакетов. Имеет представление о профессиональных программных пакетах (OpenFOAM).</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных программных пакетов и комплексов решения задач вычислительной гидродинамики. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения формулировать и адаптировать задачи для программных пакетов. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет профессиональными программными пакетами (OpenFOAM).</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания современных программных пакетов и комплексов решения задач вычислительной гидродинамики. Сформированное умение формулировать и адаптировать задачи для программных пакетов. Успешное и систематическое применение навыков</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p align="center">Отлично</p> владения профессиональными программными пакетами (OpenFOAM).

ПК.2

Способен проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.2.1 Осуществляет проведение литературного обзора в выбранном направлении исследования</p>	<p>Знать базовые методы решения конечно-разностных уравнений. Уметь использовать конечно-разностные аппроксимации производных. Владеть навыками поиска и реализации методов решения профессиональных задач с использованием современных информационных технологий.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает базовые методы решения конечно-разностных уравнений. Не умеет использовать конечно-разностные аппроксимации производных. Не владеет навыками поиска и реализации методов решения профессиональных задач с использованием современных информационных технологий.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания базовых методов решения конечно-разностных уравнений. Частично сформированное умение производить расчёты конечно-разностных аппроксимаций производных. Демонстрирует частично сформированное умение решения профессиональных задач.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания базовых методов решения конечно-разностных уравнений. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить расчёты конечно-разностными методами. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками решения профессиональных задач.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания базовых методов решения конечно-разностных уравнений. Сформированное</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>умение производить расчёты конечно-разностных аппроксимаций производных. Успешное и систематическое применение навыков решения профессиональных задач.</p>
<p>ПК.2.2 Осуществляет проведение теоретического (экспериментального) исследования в рамках поставленной задачи, обработку и анализ полученных результатов</p>	<p>Знать методику постановки и проведения численного эксперимента. Уметь определять пороги гидродинамической устойчивости при выполнении расчётов методом сеток. Владеть двухполюсным методом решения уравнений Навье-Стокса</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные принципы постановки и проведения численного эксперимента. Не умеет определять порог гидродинамической устойчивости методом сеток. Не владеет двухполюсным методом решения уравнения Навье-Стокса.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания принципов постановки и проведения численного эксперимента. Демонстрирует частично сформированное умение производить анализ устойчивости методом сеток. Имеет представление о двухполюсном методе решения уравнения Навье-Стокса.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания принципов постановки и проведения численного эксперимента. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения производить анализ устойчивости методом сеток. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет двухполюсным методом решения уравнения Навье-Стокса.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания принципов постановки и проведения численного эксперимента. Сформированное умение производить анализ устойчивости методом сеток. Успешное и систематическое применение навыков решения уравнения Навье-Стокса двухполюсным методом.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных Входное тестирование	Навыки программирования. Работа с циклами. Задание массивов. Работа с файлами.
ПК.2.1 Осуществляет проведение литературного обзора в выбранном направлении исследования	Методы решения задач гидродинамики вязкой жидкости Письменное контрольное мероприятие	Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных. Методы решения задач гидродинамики вязкой жидкости
ОПК.4.1 Формулирует задачи, исходя, из поставленной цели и выбирает способы их решения	Программные пакеты вычислительной гидродинамики Письменное контрольное мероприятие	Альтернативные методы численного моделирования. Программные пакеты вычислительной гидродинамики
ПК.2.2 Осуществляет проведение теоретического (экспериментального) исследования в рамках поставленной задачи, обработку и анализ полученных результатов	Примеры задач свободной конвекции в замкнутых объемах Итоговое контрольное мероприятие	Примеры задач свободной конвекции в замкнутых объемах

Спецификация мероприятий текущего контроля

Конечно-разностные методы решения уравнений в частных производных

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Навыки алгоритмизации задачи.	4
Создание, запись и чтение из файлов.	3
Создание циклов с условием и параметром.	3

Методы решения задач гидродинамики вязкой жидкости

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Численный эксперимент. Методы решения уравнений Навье-Стокса. Двухполевой метод.	9
Методы анализа устойчивости и сходимости разностных схем	8
Методы решения конечно-разностных уравнений. Скалярная прогонка.	7
Граничные условия для вихря и функции тока. Сходимость двухполевого метода. Тестовые задачи.	6

Программные пакеты вычислительной гидродинамики

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Современные программные пакеты и комплексы решения задач вычислительной гидродинамики.	9
Обзор профессиональных программных пакетов ANSYS Fluent, ANSYS CFX.	8
Обзор профессиональных программных пакетов OpenFOAM и др.	7
Метод конечных элементов, метод конечных объёмов.	6

Примеры задач свободной конвекции в замкнутых объёмах

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставяемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Конвекция в прямоугольной полости при подогреве сбоку.	10
Надкритические режимы течения.	9
Устойчивость течений.	8
Течение в полости с подвижной верхней границей	7

Точные решения задач.	6