

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

«Утверждаю»

Декан факультета ВМК МГУ
имени М.В. Ломоносова

_____ академик _____ Е.И. Моисеев



«__» _____ 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Вариационные принципы неравновесной термодинамики и дискретные модели сплошной среды»

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – 09.06.01 «информатика и вычислительная техника»

Направленность (профиль) – «Математическое моделирование, численные методы, комплексы программ» (05.13.18)

2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Вариационные принципы неравновесной термодинамики и дискретные модели сплошной среды.

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 02.06.01 «компьютерные и информационные науки», Направленность (профиль) «Математическое моделирование, численные методы, комплексы программ» (05.13.18)

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к специальным дисциплинам вариативной части образовательной программы.

5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

| Формируемые компетенции | Планируемые результаты обучения |
|--|--|
| Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1) | У2 (УК-1) УМЕТЬ: при решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи. В2(УК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях |

| | |
|---|--|
| <p>Владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности</p> <p>(ОПК-1)</p> | <p>З1 (ОПК-1) ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики.</p> <p>У1 (ОПК-1) УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики</p> <p>В1 (ОПК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики</p> |
| <p>Владение современными методами построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также методами разработки и реализации алгоритмов их решения на основе фундаментальных знаний в области математики и информатики</p> <p>(ПК-1)</p> | <p>З1 (ПК-1) ЗНАТЬ: Современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> <p>У1 (ПК-1) УМЕТЬ: Применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> <p>В1 (ПК-1) ВЛАДЕТЬ: навыками выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>Способность к реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, ориентированных на современную вычислительную технику (ПК-4)</p> | <p>31 (ПК-4)ЗНАТЬ: современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенности современных вычислительных комплексов</p> <p>У1(ПК-4) УМЕТЬ: применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов</p> <p>В1 (ПК-4) ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов</p> |
|---|--|

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов.

38 часов составляет контактная работа с преподавателем – 32 часа занятий лекционного типа, 0 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов индивидуальных консультаций, 2 часа мероприятий текущего контроля успеваемости, 2 часа групповых консультаций, 2 часа мероприятий промежуточной аттестации.

70 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям, численным методам в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата и магистратуры по укрупненным группам на-

правлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки».

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используется программное обеспечение для подготовки слайдов лекций MS PowerPoint

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В курсе рассматриваются математические модели, основанные на различных вариационных формулировках и варианты их использования при построении дискретных моделей сплошной среды в вычислительной гидродинамике.

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе | | | | | | | | |
|--|--------------|---|---------------------------|------------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------------|------------------------------|--------------|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, 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. Элементы статистической физики. Основная задача статистической физики. Уравнение Лиувилля. Микроканоническое и каноническое распределения. Равновесное распределение кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале. Распределение Максвелла. Термодинамическая теория возмущений. Вариационный принцип Боголюбова.</p> | 10 | 6 | - | - | - | - | 6 | 4 | - | 4 |
|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | | | |
|---|----|---|---|---|---|---|---|----|---|----|
| <p>Тема 2. Равновесная термодинамика. Термодинамические потенциалы.</p> <p>Термодинамическое равновесие с молекулярной точки зрения. Исходные положения термодинамики. Гомогенные и гетерогенные системы. Фазы и компоненты. Равновесные и неравновесные процессы. Внутренняя энергия системы. Теплота и работа. Термические и калорические уравнения состояния. Уравнение первого начала термодинамики. Теплоемкости и теплоты изотермического изменения внешних параметров. Основные термодинамические процессы и их уравнения. Связь модулей упругости с теплоемкостями. Принцип адиабатической недостижимости и второе начало термодинамики для равновесных процессов. Энтропия. Основное уравнение термодинамики равновесных процессов. Вычисление энтропии и парадокс Гиббса. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Основное неравенство термодинамики. Метод циклов и метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости. Принцип Ле Шателье – Брауна.</p> | 18 | 6 | - | - | - | - | 6 | 12 | - | 12 |
|---|----|---|---|---|---|---|---|----|---|----|

| | | | | | | | | | | |
|--|----|----|---|---|---|---|----|----|---|----|
| <p>Тема 3. Неравновесная термодинамика. Вариационные принципы. Сохранение энергии и уравнения баланса внутренней энергии. Уравнения баланса энтропии и производство энтропии. Линейные кинематические конститутивные уравнения и соотношения взаимности. Принцип наименьшего рассеяния энергии. Локальная и интегральная формы принципа. Принцип минимального производства энтропии. Связь между принципами Онсагера и Пригожина. Интегральный принцип термодинамики. Вывод уравнения Фурье. Соотношение между интегральным принципом и принципом Гамильтона. Вариационный принцип Био в теплопроводности. Обобщенные координаты. Уравнения Лагранжа и принцип минимальной диссипации. Тепловой потенциал нелинейных систем и вариационный принцип Био. Унифицированные уравнения для системы «твердое тело - жидкость» при наличии конвекции.</p> | 21 | 10 | - | - | - | 1 | 11 | 10 | - | 10 |
|--|----|----|---|---|---|---|----|----|---|----|

| | | | | | | | | | | | |
|--|-----|----|---|---|---|---|----|----|---|----|--|
| Тема 4. Вариационно – разностные схемы для неравновесных процессов. Система уравнений теплопроводности. Тепловые смещения. Аппроксимация функционала Био на косоугольных расчетных сетках. Безусловная устойчивость метода переменных направления для вариационно – разностных схем на тепловых смещениях. Система уравнений теплопроводности. Слабая формулировка закона Фурье. Функционал Фаворского А.П. Поточные вариационно - разностные схемы для системы уравнений теплопроводности. Аппроксимация функционала Фаворского А.П. Достаточные условия устойчивости поточных вариационно - разностных схем. | 23 | 10 | - | 2 | - | 1 | 13 | 5 | 5 | 10 | |
| Подитог | 72 | 32 | | | | | 36 | | | 36 | |
| Устный экзамен | | 2 | | | | | | 34 | | | |
| Итого | | | | | | | | | | | |
| | 108 | 38 | | | | | | 70 | | | |

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к текущему контролю и промежуточной аттестации.

Литература для самостоятельной работы студентов в соответствии с тематическим планом.

Тема 1 «Вариационные принципы для механических систем с конечным числом степеней свободы»

1. Айзерман М.А. Классическая механика. –М.: Наука. 1980. 367 с.
2. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
3. Полак Л.С. Вариационные принципы механики.-М.: Физматгиз, 1960. – 600 с.
4. Ланцош К. Вариационные принципы механики. –М.: Мир, 1965.-408 с.
5. Парс Л.А. Аналитическая динамика. –М.: Наука, 1971. -636 с.
6. Герц Г. Принципы механики, изложенные в новой связи. –М.:АН СССР, 1959,-386с.

Тема 2 «Уравнения механики сплошной среды в лагранжевых, эйлеровых и смешанных эйлерово – лагранжевых (СЭЛ) переменных»

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.,Л.:Гос. Изд. Техничко-теоретической литературы. 1950, 676 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособие: В 10 т., 3-е изд., перераб. М.: Наука, 1986.
3. Т. IV. Гидродинамика.
4. Серрин Дж. Математические основы классической механики жидкости. –М.: ИЛ, 1963.-225 с.

Тема 3 «Вариационные принципы в механике сплошной среды»

1. Бердичевский В.А. Вариационные принципы механики сплошной среды. –М.: Наука, 1983. 448 с.
2. Вариационные принципы механики: Сб. статей/ Под ред. Л.С.Полака. -М.; Физматгиз, 1959. – 932с.
3. Михлин С.Г. Вариационные принципы в математической физике. –М.: Наука, 1970. – 512 с.
4. Селиджер Р.Л., Уиттем Г.Б. Вариационные принципы в механике сплошной среды. В сб. переводов «Механика». – М.:Мир, 1969, 5, 117, с. 99-123
5. Кильчевский Н.А., Кильчевская Г.А., Ткаченко Н.Е. Аналитическая механика континуальных систем. – Киев.: Наукова Думка, 1979, 168 с.

Тема 4 «Вариационно – разностные уравнения механики сплошной среды»

1. Головизнин В.М., Самарский А.А., Фаворский А.П. Вариационный подход к построению конечно-разностных математических моделей в гидродинамике. Доклады Академии наук, издательство Наука (М.), 1977 том 235, № 6, с. 1285-1288
2. Головизнин В.М., Самарский А.А., Фаворский А.П. Об использовании принципа наименьшего действия для построения дискретных математических моделей в магнитной гидродинамике. Докл. АН СССР, 1979 том 246, № 5.
3. Головизнин В.М. Об одном способе введения искусственной диссипации в вариационно-разностные схемы магнитной гидродинамики. Журнал вычислительной математики и математической физики, издательство Наука (М.), 1982 том 22, № 1, с. 144-150.
4. Головизнин В.М., Коптелова Н.А., и др. Метод динамических потенциалов для численного моделирования нестационарных задач гидродинамики со свободными границами. Дифференциальные уравнения, издательство Наука (М.), 1983 том 19, № 5, с. 870-878.
5. Головизнин В.М., Коршунов В.К., и др. Двумерные разностные схемы магнитной гидродинамики на треугольных лагранжевых сетках. Журнал вычислительной математики и математической физики, издательство Наука (М.), 1982 том 22, № 4
6. Головизнин В.М., Самарская Е.А. Локально-баротропные разностные схемы газовой динамики. в журнале Дифференциальные уравнения, издательство Наука (М.), 1981 том 17, № 7, с. 1227-1240
7. Головизнин В.М., Канюкова В.Д., Самарская Е.А. Сверхневные разностные схемы газовой динамики. в журнале Дифференциальные уравнения, издательство Наука (М.), 1983 том 19, № 7, с. 1122-1131

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная литература

1. Айзерман М.А. Классическая механика. –М.: Наука. 1980. 367 с.
2. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969. – 424 с.
3. Селиджер Р.Л., Уиттем Г.Б. Вариационные принципы в механике сплошной среды. В сб. переводов «Механика». –М.:Мир, 1969, 5, 117, с. 99-123
4. Головизнин В.М., Самарский А.А., Фаворский А.П. Вариационный подход к построению конечно-разностных математических

- моделей в гидродинамике. Доклады Академии наук, издательство Наука (М.), 1977 том 235, № 6, с. 1285-1288
5. Головизнин В.М., Самарский А.А., Фаворский А.П. Об использовании принципа наименьшего действия для построения дискретных математических моделей в магнитной гидродинамике. Докл. АН СССР, 1979 том 246, № 5.
 6. Головизнин В.М. Об одном способе введения искусственной диссипации в вариационно-разностные схемы магнитной гидродинамики. Журнал вычислительной математики и математической физики, издательство Наука (М.), 1982 том 22, № 1, с. 144-150.
 7. Головизнин В.М., Коптелова Н.А., и др. Метод динамических потенциалов для численного моделирования нестационарных задач гидродинамики со свободными границами. Дифференциальные уравнения, издательство Наука (М.), 1983 том 19, № 5, с. 870-878.
 8. Головизнин В.М., Коршунов В.К., и др. Двумерные разностные схемы магнитной гидродинамики на треугольных лагранжевых сетках. Журнал вычислительной математики и математической физики, издательство Наука (М.), 1982 том 22, № 4
 9. Головизнин В.М., Самарская Е.А. Локально-баротропные разностные схемы газовой динамики. в журнале Дифференциальные уравнения, издательство Наука (М.), 1981 том 17, № 7, с. 1227-1240
 10. Головизнин В.М., Канюкова В.Д., Самарская Е.А. Сверхявные разностные схемы газовой динамики. в журнале Дифференциальные уравнения, издательство Наука (М.), 1983 том 19, № 7, с. 1122-1131

Дополнительная литература

1. Кильчевский Н.А., Кильчевская Г.А., Ткаченко Н.Е. Аналитическая механика континуальных систем. – Киев.: Наукова Думка, 1979, 168 с.
2. Бердичевский В.А. Вариационные принципы механики сплошной среды. –М.: Наука, 1983. 448 с.
3. Вариационные принципы механики: Сб. статей/ Под ред. Л.С.Полака. -М.; Физматгиз, 1959. – 932с.
4. Герц Г. Принципы механики, изложенные в новой связи. –М.:АН СССР, 1959,-386с.
5. Ланцош К. Вариационные принципы механики. –М.: Мир, 1965.-408 с.
6. Михлин С.Г. Вариационные принципы в математической физике. –М.: Наука, 1970. – 512 с.
7. Полак Л.С. Вариационные принципы механики.-М.: Физматгиз, 1960. – 600 с.
8. Серрин Дж. Математические основы классической механики жидкости. –М.: ИЛ, 1963.-225 с.
9. Парс Л.А. Аналитическая динамика. –М.: Наука, 1971. -636 с.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://elibrary.ru>
2. www.scopus.com

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

1. Программное обеспечение для подготовки слайдов лекций MS PowerPoint
2. Программное обеспечение для создания и просмотра pdf-документов Adobe Reader
3. Издательская система LaTeX.

Материально-техническая база

Для преподавания дисциплины требуется класс, оборудованный маркерной или меловой доской и проектором.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ЛЕКТОР

Профессор, д.ф.-м.н. Головизнин Василий Михайлович

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Вариационные принципы неравновесной термодинамики и дискретные модели сплошной среды.»

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

| РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) | КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) <i>(критерии и показатели берутся из соответствующих карт компетенций, при этом пользуются либо традиционной системой оценивания, либо БРС)</i> | | | | | ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА |
|--|--|---|---|--|---|------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | Неудовлетворительно | Неудовлетворительно | Удовлетворительно | Хорошо | Отлично | |
| УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов У1 (УК-1) | Отсутствие умений | Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов | В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов | В целом успешно, но содержащие отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов решения исследовательских задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов | Сформированное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов | доклады на научных семинарах |

| | | | | | | |
|--|---------------------------|---|--|--|---|-------------------------------------|
| <p>ВЛАДЕТЬ: навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях В1 (УК-1)</p> | <p>Отсутствие навыков</p> | <p>Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач</p> | <p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач</p> | <p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач</p> | <p>Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p> | <p>доклады на научных семинарах</p> |
| <p>ЗНАТЬ: современные математические методы, применяющиеся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий Код 31 (ОПК-1)</p> | <p>Отсутствие знаний</p> | <p>Фрагментарные представления о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий</p> | <p>В целом сформированные, но неполные знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий</p> | <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий</p> | <p>Сформированные систематические знания о современных математических методах, применяющихся для решения задач в области естественных наук, экономики, социологии и информационно-коммуникационных технологий</p> | <p>Устный экзамен</p> |

| | | | | | | |
|--|--------------------|--|--|---|--|----------------|
| <p>УМЕТЬ: применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики Код У1 (ОПК-1)</p> | Отсутствие умений | Фрагментарные умения применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики | В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики | Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики | Сформированное умение применять современные методы постановки и анализа задач в области математики и информатики | Устный экзамен |
| <p>ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики Код В1 (ОПК-1)</p> | Отсутствие навыков | Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики | В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики | Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики | Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов и средств постановки и анализа задач в области математики и информатики | реферат |
| <p>ЗНАТЬ: Современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях. Код З1 (ПК-1)</p> | Отсутствие знаний | Фрагментарные представления о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях. | В целом сформированные, но неполные знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задачи и основанных на дифференциальных уравнениях. | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях. | Сформированные систематические знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях. | Устный экзамен |

| | | | | | | |
|---|---------------------------|--|---|--|---|------------------------------------|
| <p>УМЕТЬ: Применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях. Код У1 (ПК-1)</p> | <p>Отсутствие умений</p> | <p>Фрагментарные умения применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>Сформированное умение применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>Контрольные работы</p> |
| <p>ВЛАДЕТЬ: навыками выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях. Код В1 (ПК-1)</p> | <p>Отсутствие навыков</p> | <p>Фрагментарное владение навыками выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>В целом успешное, но не полное владение навыками выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>Сформированное владение навыками выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач и основанных на дифференциальных уравнениях.</p> | <p>Контрольные работы, реферат</p> |

| | | | | | | |
|---|--------------------------|---|---|---|---|-----------------------|
| <p>ЗНАТЬ: современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенности современных вычислительных комплексов Код 31 (ПК-4)</p> | <p>Отсутствие знаний</p> | <p>Фрагментарные представления о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов</p> | <p>В целом сформированные, но неполные знания о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов</p> | <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов</p> | <p>Сформированные систематические знания о современных методах реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов, особенностях современных вычислительных комплексов</p> | <p>Устный экзамен</p> |
| <p>УМЕТЬ: применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов Код У1 (ПК-4)</p> | <p>Отсутствие умений</p> | <p>Фрагментарные умения применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов</p> | <p>В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов</p> | <p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов</p> | <p>Сформированное умение применять современные методы реализации различных математических алгоритмов в виде программных комплексов с учетом особенностей современных вычислительных комплексов</p> | <p>отчет</p> |

| | | | | | | |
|--|---------------------------|---|--|---|--|--------------|
| <p>ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов Код В1 (ПК-4)</p> | <p>Отсутствие навыков</p> | <p>Фрагментарное владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов</p> | <p>В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов</p> | <p>Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов</p> | <p>Сформированное владение навыками оптимального выбора и создания новых современных методов реализации математических алгоритмов в виде программных комплексов, учитывающих особенности современных вычислительных комплексов</p> | <p>отчет</p> |
|--|---------------------------|---|--|---|--|--------------|

Фонды оценочных средств, необходимые для оценки результатов обучения

5. Список вопросов выносимых на экзамен

1. Функционал и его первая вариация. Необходимое условие экстремума.
2. Простейшая задача вариационного исчисления. Уравнение Эйлера.
3. Задача о брахистохроне. Вариационный принцип Ферма в геометрической оптике.
4. Условный экстремум функционала. Голономные и неголономные связи.
5. Изопараметрические задачи. Задача о цепной линии. Постановка задачи о равновесной форме капли.
6. Вариационные принципы механики. Принцип Гамильтона.
7. Вариационные принципы механики. Принцип Мопертюи – Лагранжа.
8. Вариационные принципы механики. Принцип стационарного действия в форме Якоби.
9. Кинетические фокусы.
10. Интегральные инварианты. Инвариант Пуанкаре-Картана. Теорема Лиувилля.
11. Уравнения Лагранжа второго рода. Физический смысл неопределенных множителей Лагранжа. Диссипативная функция.

12. Свойства Лагранжиана и законы сохранения. Теорема Э. Нетер
13. Вывод уравнений Эйлера в смешанных эйлерово – лагранжевых переменных. Частные случаи лагранжевых и эйлеровых переменных.
14. Граничные условия.
15. Уравнения Навбе-Стокса. Тензор вязких напряжений и его свойства. Граничные условия, в том числе и на свободной границе.
16. Гидростатическое приближение. Модель многослойной «мелкой воды».
17. Уравнения динамики упругой среды с учетом пластичности.
18. Вариационный принцип Гамильтона – Остроградского для идеальной сжимаемой среды в лагранжевых переменных.
19. Смешанные эйлерово – лагранжевы (СЭЛ) переменные. Закон сохранения массы и энтропии в СЭЛ - переменных.
20. Первая форма вариационного принципа для уравнений газовой динамики в смешанных эйлерово – лагранжевых переменных.
21. Вторая форма вариационного принципа для уравнений газовой динамики в СЭЛ – переменных. Потенциалы Клебша.
22. Вариационный принцип для уравнений магнитной гидродинамики с замороженными магнитными полями и динамических уравнений упругой среды.
23. Вариационно – разностные уравнения газовой динамики в одномерном случае.
24. Вариационно – разностные уравнения газовой динамики в случае нескольких пространственных переменных.
25. Связь законов сохранения для вариационно – разностных уравнений со свойствами объемов расчетных ячеек.
26. Принцип спектрального согласования для определения вида искусственной вязкости вариационно – разностных уравнений.
27. Условия линейной устойчивости вариационно – разностных уравнений.
28. Неявные и сверхнеявные вариационно – разностные схемы. Управление искусственной диссипацией.
29. Локально – баротропные вариационно – разностные схемы.
30. Вариационно – разностные схемы мультиплетным числом термодинамических степеней свободы.

Особенности организации процесса обучения

Для эффективного освоения курса рекомендуется перед каждым занятием привести в порядок конспекты лекций. После каждого занятия рекомендуется найти и прочитать дополнительную литературу по теме лекции, придумать примеры, иллюстрирующие основные утверждения, прочитать и дополнить свои конспекты.

Структура и график контрольных мероприятий

Устный экзамен в конце семестра.

**Вариационные принципы неравновесной термодинамики и дискретные модели сплошной среды.
Variational principles of nonequilibrium thermodynamics and discrete models of a continuous medium.**

Основные законы и уравнения термодинамики, второе начало термодинамики, метод термодинамических потенциалов, термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц, условия равновесия и устойчивости, вариационные принципы термодинамики необратимых процессов и их использование при построении сбалансированных дискретных моделей сплошной среды.

Литература

Базаров И.П. Термодинамика. Из-во «Лань», 2010ю – 378 с.

Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Термодинамика и статистическая физика. Теория равновесных систем. –М.: Из-во МГУ, 1986. -311 с.

Гроот С. де, Мазур П. Неравновесная термодинамика.-М.:Мир, 1964. – 456 с.

Циглер Г. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды. –М.:Мир, 1966.-131 с.

Био М. Вариационные принципы в теории тепломассообмена. –М.: Энергия, 1975. – 206 с.

ГЛАВА 3. НЕСЖИМАЕМЫЕ И БАРОТРОПНЫЕ ИДЕАЛЬНЫЕ ЖИДКОСТИ

17. Конвекция завихренности.

18. Теоремы Бернулли.
19. Функция тока.
20. Уравнения движения в естественных координатах.
- § 2. Безвихревое движение
22. Свойства безвихревого движения. Поведение потенциала на бесконечности.
23. Свойства безвихревого движения (продолжение).
24. Теорема Кельвина о минимуме энергии.
- § 3. Вихревое движение
26. Общие вопросы теории вихревых течений.
27. Мера завихренности.
28. Поле ускорений и уравнение Бернулли.
29. Преобразования Вебера и Клебша.
- 29а. Дополнение. Обобщенные преобразования Вебера и Клебша.

ГЛАВА 4. ТЕРМОДИНАМИКА И УРАВНЕНИЕ ЭНЕРГИИ

- § 1. Термодинамика простой среды
30. Однофазная система.

31. Совершенный газ.
32. Законы термодинамики.

- § 2. Уравнение энергии
34. Термодинамика деформации.

ГЛАВА 5. ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ

36. Динамическое подобие.
- § 2. Энергия, энтропия и завихренность
38. Уравнение Крокко — Важоньи.
39. Изэнтропическое течение, изоэнергетическое течение и безвихревое установившееся течение.
40. Диффузия завихренности.
- § 3. Специальные методы исследования двумерных течений
42. Функция тока.
43. Метод годографа.
44. Частные решения.
- § 4. Дозвуковое потенциальное течение
46. Теоремы существования и единственности.
47. Вариационные принципы газовой динамики.

§ 5. Сверхзвуковое течение и характеристики

49. Установившееся плоское течение.

50. Трехмерное установившееся безвихревое течение.

51. Особые поверхности и звуковые волны.

§ 6. Специальные вопросы

52. Трансзвуковое течение.

53. Исключение давления и плотности из уравнений движения.

ГЛАВА 6. УДАРНЫЕ ВОЛНЫ В ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

55. Соотношения на разрыве в случае совершенного газа.

56. Основные свойства ударного перехода.

57. Ударный слой.

Глава 7. ВЯЗКИЕ ЖИДКОСТИ

§ 1. Основные уравнения движения вязкой жидкости

59. Постулаты Стокса.

59а. Давление.

60. Полиномиальная зависимость.

62. Соотношение Стокса.

63. Теплопроводность.

64. Граничные условия.

65. Дополнение. Частные решения уравнений с нелинейной вязкостью.

§ 2. Динамическое подобие

67. Динамическое подобие; несжимаемые вязкие жидкости.

§ 3. Несжимаемые вязкие жидкости

69. Завихренность.

70. Уравнения установившегося движения в естественных координатах.

71. Энергетические соотношения.

72. Теоремы единственности для течений вязкой жидкости.

73. Устойчивость течений вязкой жидкости.

74. Вариационные методы, связанные с вопросами устойчивости.

75. Теорема Гельмгольца — Рэлея о диссипации.

76. Теоремы Бернулли.

77. Асимптотическое поведение течений вязкой жидкости.

Темы:

Элементы статистической физики. Основная задача статистической физики. Уравнение Лиувилля.

1. Микроканоническое и каноническое распределения.
2. Равновесное распределение кинетической энергии по степеням свободы и теорема о вириале.
3. Распределение Максвелла.
4. Термодинамическая теория возмущений. Вариационный принцип Боголюбова.

Равновесная термодинамика. Термодинамические потенциалы.

5. Термодинамическое равновесие с молекулярной точки зрения. Исходные положения термодинамики.
6. Гомогенные и гетерогенные системы. Фазы и компоненты. Равновесные и неравновесные процессы.
7. Внутренняя энергия системы. Теплота и работа. Термические и калорические уравнения состояния.
8. Уравнение первого начала термодинамики. Теплоемкости и теплоты изотермического изменения внешних параметров.
9. Основные термодинамические процессы и их уравнения. Связь модулей упругости с теплоемкостями.
10. Принцип адиабатической недостижимости и второе начало термодинамики для равновесных процессов. Энтропия.
11. Основное уравнение термодинамики равновесных процессов. Вычисление энтропии и парадокс Гиббса.
12. Второе начало термодинамики для неравновесных процессов. Основное неравенство термодинамики
13. Метод циклов и метод термодинамических потенциалов.
14. Термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц.
15. Общие условия термодинамического равновесия и устойчивости. Принцип Ле Шателье – Брауна.

Неравновесная термодинамика. Вариационные принципы.

16. Сохранение энергии и уравнения баланса внутренней энергии.
17. Уравнения баланса энтропии и производство энтропии.
18. Линейные кинематические конститутивные уравнения и соотношения взаимности.
19. Принцип наименьшего рассеяния энергии. Локальная и интегральная формы принципа.
20. Принцип минимального производства энтропии. Связь между принципами Онсагера и Пригожина.
21. Интегральный принцип термодинамики. Вывод уравнения Фурье.
22. Соотношение между интегральным принципом и принципом Гамильтона.
23. Вариационный принцип Био в теплопроводности. Обобщенные координаты. Уравнения Лагранжа и принцип минимальной диссипации.
24. Тепловой потенциал нелинейных систем и вариационный принцип Био.
25. Унифицированные уравнения для системы «твердое тело - жидкость» при наличии конвекции.

Вариационно – разностные схемы для неравновесных процессов

26. Система уравнений теплопроводности. Тепловые смещения. Аппроксимация функционала Био на косоугольных расчетных сетках.

27. Безусловная устойчивость метода переменных направления для вариационно – разностных схем на тепловых смещениях.
28. Система уравнений теплопроводности. Слабая формулировка закона Фурье. Функционал Фаворского А.П.
29. Поточные вариационно -разностные схемы для системы уравнений теплопроводности. Аппроксимация функционала Фаворского А.П.
30. Достаточные условия устойчивости потоковых вариационно - разностных схем.