

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра теоретической физики

Авторы-составители: **Любимова Татьяна Петровна
Демин Виталий Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины
МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД
Код УМК 61989

Утверждено
Протокол №6
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Механика сплошных сред

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 **Механика сплошных сред** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.03.02 Физика (направленность : Фундаментальная физика)

ОПК.3 Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

Индикаторы

ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности

ОПК.3.2 Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике

ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

4. Объем и содержание дисциплины

| | |
|---|--|
| Направления подготовки | 03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика) |
| форма обучения | очная |
| №№ триместров, выделенных для изучения дисциплины | 8 |
| Объем дисциплины (з.е.) | 3 |
| Объем дисциплины (ак.час.) | 108 |
| Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе: | 42 |
| Проведение лекционных занятий | 28 |
| Проведение практических занятий, семинаров | 14 |
| Самостоятельная работа (ак.час.) | 66 |
| Формы текущего контроля | Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2) |
| Формы промежуточной аттестации | Зачет (8 триместр) |

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Механика сплошных сред. Первый семестр

Введение

Понятие о сплошной среде. Классификация задач, рассматриваемых в курсе. Жидкости, газы, твердые тела. Уравнение состояния. Континуальный подход к описанию движения жидкости. Состояние движения жидкости. Принцип локального равновесия

Основные законы гидродинамики идеальной жидкости

Эйлеров и лагранжевы способы задания движения жидкости.

Система основных уравнений гидродинамики идеальной жидкости.

Гидростатика.

Теорема Бернулли и закон сохранения энергии.

Потенциальное и вихревое движение жидкости.

Закон сохранения энергии для идеальной жидкости.

Закон сохранения импульса для идеальной жидкости.

Потенциальное течение жидкости. Обтекание шара потенциальным потоком. Понятие присоединенной массы. Парадокс Даламбера. Сила сопротивления при потенциальном обтекании.

Двумерные потенциальные течения. Функция тока и комплексный потенциал. Стационарное обтекание кругового цилиндра.

Вихри в идеальной жидкости. Плоское сдвиговое течение, точечные вихри, вихревая дорожка Кармана.

Волны в несжимаемой жидкости.

Движение вязкой несжимаемой жидкости

Реальная жидкость. Вязкость и теплопроводность.

Закон сохранения энергии для реальной жидкости.

Закон сохранения импульса для реальной жидкости.

Уравнение гидродинамики вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса.

Общее уравнение переноса тепла. Диссипация энергии при течении реальной жидкости.

Система уравнений гидродинамики несжимаемой реальной жидкости.

Примеры простейших течений вязкой жидкости.

Принцип подобия и число Рейнольдса. Обтекание сферы медленным течением вязкой жидкости.

Формула Стокса.

Пограничный слой. Уравнения Прандтля. Ламинарный след. Вязкие волны.

Элементы теории турбулентности

Устойчивость стационарного движения жидкости. Примеры неустойчивых течений.

Переход ламинарного течения в турбулентное. Развитая турбулентность. Закон Колмогорова-Обухова.

Турбулентный след. Турбулентный пограничный слой.

Движение сжимаемой жидкости

Основные уравнения гидродинамики сжимаемой жидкости. Звуковые волны. Энергия и импульс звуковых волн.

Волны конечной амплитуды. Нелинейная акустика. Простые волны и инварианты Римана.

Сверхзвуковые волны. Конус Маха. Ударные волны.

Теория упругости

Деформация твердого упругого тела. Тензор деформации.

Изменение объема при малом деформировании. Тензор упругих напряжений.

Уравнение движения упругого тела. Условие равновесия.

Закон Гука. Упругие модули.

Однородное растяжение стержня. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

Однородное сжатие стержня.

Термодинамика деформирования.

Закон Гука для неизотермических деформаций.

Адиабатические деформации.

Условия равновесия. Уравнение для вектора смещений.

Уравнения движения в смещениях.

Продольные и поперечные упругие волны.

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. Фалькович, Г. Современная гидродинамика / Г. Фалькович. — 2-е изд. — Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, Регулярная и хаотическая динамика, 2019. — 252 с. — ISBN 978-5-4344-0635-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/92090.html>

2. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, [б. г.]. — Том 6 : Гидродинамика — 2001. — 736 с. — ISBN 5-9221-0121-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619860>

Дополнительная:

1. Любимов Д. В., Любимова Т. П. Физическая гидродинамика. Расчетный семинар: учебное пособие / Д. В. Любимов, Т. П. Любимова. — Пермь, 2012, ISBN 978-5-7944-1888-0.-1. <http://www.campus.psu.ru/library/node/34910>

2. Андреев В. К. Задачи по гидродинамике: учебное пособие для вузов / В. К. Андреев. — Красноярск, 2001, ISBN 5-7638-0324-8.-72.-Библиогр.: с. 70

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://library.psu.ru/node/738> Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

<http://elis.psu.ru> Электронная мультимедийная библиотека ELiS

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

Образовательный процесс по дисциплине **Механика сплошных сред** 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».
- Пакет аналитических и численных вычислений Maxima;

Дополнительный перечень используемых информационных технологий определяется преподавателями дисциплины.

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 практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) 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 - аудитория, оснащенная 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 компьютера 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
Механика сплошных сред**

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

ОПК.3

Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|--|--|---|
| <p>ОПК.3.2 Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике</p> | <p>Знать основные принципы построения уравнений динамики сплошной среды из законов сохранения массы, импульса, энергии. Уметь описывать состояние сплошной среды заданием скалярных и векторных полей. Владеть методами теоретического исследования сплошных сред.</p> | <p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные принципы построения уравнений динамики сплошной среды из законов сохранения массы, импульса, энергии. Не умеет описывать состояние сплошной среды заданием скалярных и векторных полей. Не владеет методами теоретического исследования сплошных сред.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных принципов построения уравнений динамики сплошной среды из законов сохранения массы, импульса, энергии. Демонстрирует частично сформированное умение описывать состояние сплошной среды заданием скалярных и векторных полей. Имеет представление о методах теоретического исследования сплошных сред.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных принципов построения уравнений динамики сплошной среды из законов сохранения массы, импульса, энергии. В целом успешное, но с отдельными пробелами умение описывать состояние сплошной среды заданием скалярных и векторных полей. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами теоретического исследования сплошных сред.</p> <p align="center">Отлично</p> |

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|---|---|---|
| | | <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных принципов построения уравнений динамики сплошной среды из законов сохранения массы, импульса, энергии. Сформированное умение описывать состояние сплошной среды заданием скалярных и векторных полей. Успешное применение методов теоретического исследования сплошных сред.</p> |
| <p>ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности</p> | <p>Знать теоремы математической теории поля и их значимые для физики следствия. Уметь сопоставлять физическим величинам скалярные, векторные и тензорные поля. Владеть навыками работы со скалярными, векторными и тензорными полями.</p> | <p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает теоремы математической теории поля и их значимые для физики следствия. Не умеет сопоставлять физическим величинам скалярные, векторные и тензорные поля. Не владеет навыками работы со скалярными, векторными и тензорными полями.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания теорем математической теории поля и их значимые для физики следствия. Демонстрирует частично сформированное умение сопоставлять физическим величинам скалярные, векторные и тензорные поля. Имеет представление о методах работы со скалярными, векторными и тензорными полями.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные проблемы знания теорем математической теории поля и их значимые для физики следствия. В целом успешное, но с отдельными пробелами умение сопоставлять физическим величинам скалярные, векторные и тензорные поля. В целом успешно, но отдельными пробелами применяет методы работы со скалярными, векторными и тензорными полями.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания теорем математической теории поля и их значимые для физики следствия. Сформированное умение сопоставлять физическим величинам скалярные,</p> |

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|----------------------------|------------------------------------|--|
| | | <p align="center">Отлично</p> векторные и тензорные поля. Успешное систематическое применение методов работы со скалярными, векторными и тензорными полями. |

ПК.1

способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|---|---|--|
| <p>ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p> | <p>Знать: эйлеров и лагранжевы способы задания движения жидкости, уравнения Эйлера и Навье-Стокса, уравнения механики деформируемого твердого тела Уметь: находить поле скорости и давления жидкости, тензор деформации Владеть: навыками решения фундаментальных и прикладных задач.</p> | <p align="center">Неудовлетворител</p> Не знает эйлеров и лагранжевы способы задания движения жидкости, уравнения Эйлера и Навье-Стокса, уравнения механики деформируемого твердого тела Не умеет находить поле скорости и давления жидкости, тензор деформации Не владеет навыками решения фундаментальных и прикладных задач. <p align="center">Удовлетворительн</p> Общие, но не структурированные знания способов задания движения жидкости, уравнений Эйлера и Навье-Стокса, уравнений механики деформируемого твердого тела Демонстрирует частично сформированное умение находить поле скорости и давления жидкости, тензор деформации Имеет представление о методах решения фундаментальных и прикладных задач. <p align="center">Хорошо</p> Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания способов задания движения жидкости, уравнений Эйлера и Навье-Стокса, уравнений механики деформируемого твердого тела В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения находить поле скорости и давления жидкости, тензор деформации В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками решения фундаментальных и прикладных задач. <p align="center">Отлично</p> |

| Компетенция (индикатор) | Планируемые результаты обучения | Критерии оценивания результатов обучения |
|------------------------------------|--|--|
| | | <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания эйлерова и лагранжева способа задания движения жидкости, уравнений Эйлера и Навье-Стокса, уравнений механики деформируемого твердого тела Сформированное умение находить поле скорости и давления жидкости, тензор деформации Успешное и систематическое применение навыков решения фундаментальных и прикладных задач.</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 | Введение Входное тестирование | Навыки векторного и тензорного анализа, навыки решения дифференциальных уравнений |
| ОПК.3.2 Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике | Основные законы гидродинамики идеальной жидкости Письменное контрольное мероприятие | Эйлеров и лагранжев способы задания движения жидкости. Владение навыками решения задач. |
| ОПК.3.1 Применяет базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности | Движение вязкой несжимаемой жидкости Письменное контрольное мероприятие | Способы задания вязкой жидкости. Владение навыками решения задач. |
| ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин | Теория упругости Итоговое контрольное мероприятие | Способы задания деформации твердого упругого тела. Владение навыками решения задач. |

Спецификация мероприятий текущего контроля

Введение

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**

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

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

Проходной балл: **0**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|-------|
| Решение краевой задачи для линейного дифференциального уравнения второго порядка | 5 |
| Работа с индексной формой записи выражений, преобразование выражений с дельта-символами, символами Леви-Чивиты | 5 |

Основные законы гидродинамики идеальной жидкости

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

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

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

Проходной балл: **13**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|-------|
| Вихри в идеальной жидкости. Плоское сдвиговое течение, точечные вихри, вихревая дорожка Кармана. Волны в несжимаемой жидкости. | 8 |
| Потенциальное течение жидкости. Обтекание шара потенциальным потоком. Понятие присоединенной массы. Парадокс Даламбера. Сила сопротивления при потенциальном обтекании. Двумерные потенциальные течения. Функция тока и комплексный потенциал. Стационарное обтекание кругового цилиндра. | 8 |
| Теорема Бернулли и закон сохранения энергии. Потенциальное и вихревое движение жидкости. Закон сохранения энергии для идеальной жидкости. Закон сохранения импульса для идеальной жидкости. | 7 |
| Эйлеров и лагранжевы способы задания движения жидкости. Система основных уравнений гидродинамики идеальной жидкости. | 5 |
| Гидростатика. | 2 |

Движение вязкой несжимаемой жидкости

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

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

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

Проходной балл: **13**

| Показатели оценивания | Баллы |
|---|-------|
| Примеры простейших течений вязкой жидкости. | 8 |
| Уравнение гидродинамики вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Общее уравнение переноса тепла. Диссипация энергии при течении реальной жидкости. Система уравнений гидродинамики несжимаемой реальной жидкости. | 7 |
| Принцип подобия и число Рейнольдса. Обтекание сферы медленным течением вязкой жидкости. Формула Стокса. | 5 |
| Пограничный слой. Уравнения Прандтля. Ламинарный след. Вязкие волны. | 5 |
| Реальная жидкость. Вязкость и теплопроводность. Закон сохранения энергии для реальной жидкости. Закон сохранения импульса для реальной жидкости. | 5 |

Теория упругости

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

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

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

Проходной балл: **17**

| Показатели оценивания | Баллы |
|--|--------------|
| Термодинамика деформирования. Закон Гука для неизотермических деформаций. | 6 |
| Деформация твердого упругого тела. Тензор деформации. Изменение объема при малом деформировании. | 6 |
| Продольные и поперечные упругие волны. | 5 |
| Модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Однородное сжатие стержня. | 5 |
| Условия равновесия. Уравнение для вектора смещений. Уравнения движения в смещениях. | 4 |
| Тензор упругих напряжений. Уравнение движения упругого тела. Условие равновесия. | 4 |
| Адиабатические деформации. | 4 |
| Однородное растяжение стержня. | 3 |
| Закон Гука. Упругие модули | 3 |