

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

**Высшая школа общей и прикладной физики**  
(факультет)

---

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ВШОПФ \_\_\_\_\_ Е.Д. Господчиков

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**Механика сплошных сред**

---

Уровень высшего образования  
бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 Физика

---

Направленность образовательной программы  
профиль: Фундаментальная физика

---

Квалификация (степень)  
бакалавр

---

Форма обучения  
очная

---

Нижегород

2019

**1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Механика сплошных сред» относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины, модули» ОПОП. Дисциплина является обязательной для освоения в пятом семестре третьего года обучения в бакалавриате.

**Целями освоения дисциплины являются:**

- формирование у студентов современного представления об основных методах описания жидкости, газа и твердых тел, дать представления о гидрофизических и динамических процессах в природных средах (атмосфере и океане) и современных методах их исследования;
- обучение студентов применению методов математической физики для описания процессов в сплошных средах;
- формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<p><b>ПК-1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (этап освоения – <b>базовый</b>)</p>	<p><i>З1 (ПК-1) Знать</i> основные уравнения механики сплошной среды, свойства особенности моделей в механике сплошных сред, основные способы описания в газовой динамике, динамике несжимаемой жидкости и деформируемого твердого тела.</p> <p><i>У1 (ПК-1) Уметь</i> использовать основные уравнения механики сплошных сред для расчета течений жидкости и газа и деформаций твердого тела.</p> <p><i>В1 (ПК-1) Владеть</i> навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</p>
<p><b>ПК-2</b> способность 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 (этап освоения – <b>базовый</b>)</p>	<p><i>У2 (ПК-2) Уметь</i> применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области.</p> <p><i>В2 (ПК-2) Владеть</i> современными теоретическими методами описания гидрофизических процессов в природных и технических системах.</p>

## 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, всего 144 часа, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов подготовка и сдача экзамена, 42 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

## Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,  форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Общие закономерности движения сплошной среды	17	5	5		10	7
Тема 2. Газовая динамика (динамика идеального газа).	17	5	5		10	7
Тема 3. Гидродинамика идеальной несжимаемой жидкости	17	5	5		10	7
Тема 4. Динамика вязкой несжимаемой жидкости	17	5	5		10	7
Тема 5. Гидродинамическая неустойчивость и переход к турбулентности	17	5	5		10	7
Тема 6. Динамика упругого деформируемого твердого тела	21	7	7		14	7
в т.ч.текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Экзамен					2	36

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

## 4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

## **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

**Типовые задачи**, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

### Задача 1.

Найти траекторию движения точечного вихря в прямом угле, если его начальные координаты  $(a,b)$ , а циркуляция равна  $\Gamma$ .

### Задача 2

Получить формулу для силы сопротивления тела, простирающегося вниз по потоку до бесконечности, где площадь его поперечного сечения равна  $S_0$ . Тело обтекается идеальной несжимаемой невесомой жидкостью в цилиндрической трубе с площадью поперечного сечения  $S$ . Движение жидкости установившееся, характеристики течения далеко перед телом постоянны по сечению и равны  $v_1$ ,  $p_1$  и  $\rho$ , скорость в бесконечности вниз по потоку также постоянна по сечению трубы.

### Задача 3

Бесконечный слой вязкой жидкости толщины  $h$  ограничен свободной поверхностью, а снизу неподвижной плоскостью, наклоненной под углом  $\alpha$  к горизонту. Под действием силы тяжести происходит стационарное течение. Найти распределение скорости в слое.

### Задача 4

Найти решение задачи о плоских гармонических волнах малой амплитуды в бассейне постоянной глубины, ограниченном плоскими вертикальными стенками  $x = 0$  и  $x = L$ , перпендикулярными оси  $x$ .

## **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

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

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные уравнения механики сплошной среды, свойства особенности моделей в механике сплошных сред, основные способы описания в газовой динамике, динамике несжимаемой жидкости и деформируемого твердого тела	отсутствие знаний материала	наличие грубых ошибок в основном материале	знание основного материала с рядом негрубых ошибок	знание основного материала с рядом заметных погрешностей	знание основного материала с незначительными погрешностями	знание основного материала без ошибок и погрешностей	знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей

<u>Умения</u> Уметь использовать основные уравнения механики сплошных сред для расчета течений жидкости и газа и деформаций твердого тела.	Полное отсутствие умения использовать основные законы механики сплошных сред для решения задач	Неумение использовать основные законы механики сплошных сред для решения задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Умение использовать основные законы механики сплошных сред для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные законы механики сплошных сред для решения стандартных задач с негрубыми ошибками	Умение использовать все изученные законы механики сплошных сред для решения стандартных задач с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные законы механики сплошных сред для решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Умение использовать все изученные законы механики сплошных сред для решения стандартных задач и задач повышенной сложности
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях	Полное отсутствие навыка решения стандартных задач	Не владение навыками решения стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Владение навыками решения стандартных задач по основным разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с негрубыми ошибками	Владение навыками решения стандартных задач по всем разделам курса с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности с незначительными погрешностями	Владение навыками решения стандартных задач и задач повышенной сложности
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-2: способность 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 компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«незачет»	«зачет»
<u>Умения</u> Уметь применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области	Отсутствие умения применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Умение применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области
<u>Навыки</u> Владеть современными теоретическими методами описания гидрофизических процессов в природных и технических системах.	отсутствие ряда важнейших навыков, предусмотренных данной компетенцией	наличие основных навыков, продемонстрированное в стандартных ситуациях при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 50 %	50 – 100%

## 6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с заметными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.

Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:**

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оцен-



ки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

**Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Закон сохранения массы в дифференциальной и интегральной форме. Поток массы.

2) Закон сохранения импульса в дифференциальной и интегральной форме. Поток импульса. Тензор поверхностных напряжений.

3) Закон сохранения энергии в дифференциальной и интегральной форме. Поток энергии.

4) Теорема Бернулли.

5) Скорость звука

6) Законы сохранения массы, импульса и энергии для стационарного одномерного потока идеального газа

7) Граничные условия на разрыве.

8) Ударная волна и простая волна (определения).

9) Условие несжимаемости жидкости.

10) Парадокс Даламбера

11) Потенциал и функция тока.

12) Дисперсионные уравнения для гравитационных волн на глубокой и мелкой воде

13) Теорема о циркуляции

14) Тензор напряжений в вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса

15) Число Рейнольдса и его физический смысл.

16) Формула Стокса

17) Закон расширения ламинарного пограничного слоя на плоской пластинке.

18) Теорема Рэлея об устойчивости плоскопараллельного потока идеальной жидкости.

19) Гипотезы Колмогорова о статистических свойствах мелкомасштабной турбулентности при больших числах Рейнольдса. Инерционный интервал. Закон  $2/3$ .

20) Турбулентные напряжения и их градиентные аппроксимации.

21) Тензор деформаций

22) Закон Гука для изотропной упругой среды.

23) Общее уравнение движения упругого твердого тела и граничные условия

24) Уравнения для продольных и поперечных волн в изотропной упругой твердой среде.

**Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:**

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин:

#### Задача 1.1

Слой вязкой жидкости толщины  $h$  соприкасается с неограниченной плоской поверхностью, совершающей в своей плоскости гармоническое колебание с частотой  $\omega$  и амплитудой  $a$ . Определить силу трения, действующую на колеблющуюся поверхность, если верхняя поверхность слоя жидкости является свободной.

#### Задача 1.2

Погруженная в несжимаемую жидкость сфера расширяется по заданному закону  $R=R(t)$ . Определить давление жидкости на поверхности сферы.

#### Задача 1.3

Бесконечная труба сечением  $S$  перегороджена поршнем, по одну сторону от которого ( $x>0$ ) в начальный момент времени находится газ под давлением  $p_0$ , а по другую - вакуум. Масса поршня  $m$ . При  $t=0$  поршень отпускают. Найти скорость движения поршня. Силой трения пренебречь.

Для оценки сформированности компетенции ПК-2: способность 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:

#### Задача 2.1

Найти стационарное движение вязкой несжимаемой жидкости в длинной горизонтальной цилиндрической трубе под действием заданного постоянного градиента давления  $\frac{\partial p}{\partial z}$ , если сечением трубы является круговое кольцо,  $a$  и  $b$  - внутренний и внешний радиусы.

#### Задача 2.2

Справа от плотины находится слой неподвижной жидкости глубины  $h_0$ . В момент времени  $t = 0$  плотина начинает двигаться по закону  $x = -at^2/2$ . Найти скорость возникшего течения жидкости и ее глубину как функции  $x$  и  $t$ .

#### Задача 2.3

Из большого резервуара происходит истечение газа через сопло Лавала во внешнее пространство. Найти давление газа в резервуаре и отношение выходного сечения сопла Лавала к минимальному, если давление вне резервуара равно атмосферному, а число Маха выходного потока равно 5.

## 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,

Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Механика сплошных сред»

а) основная литература:

- 1) *Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц*, «Гидродинамика» (6 том курса "Теоретическая физика"), Наука, Глав.ред.физ.-мат.лит., М., 1986, 736 с. -137 экз.
- 2) *Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц*, «Теория упругости» (7 том курса "Теоретическая физика"), Наука, Глав.ред.физ.-мат.лит., М., 1987, 246 с. -169 экз.
- 3) *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа. – М.:Наука., 1987. -21 экз.
- 4) *Седов Л.И.* Механика сплошной среды, М.: Наука.  
*Том 1 1983 -528 с. – 90 экз.*  
*Том 2 1984 -569 с. -87 экз.*

б) дополнительная литература:

- 1) *Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. 1966 -686 с. -6 экз.
- 2) *Тимошенко С.П.* Курс теории упругости. Киев, "Наукова думка", 1972, 501 с. -22 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Ф.Б.Должанский Лекции по геофизической гидродинамике, 2006 -378 с. Библиотека Института вычислительной математики <http://www.inm.ras.ru/library/direct2/Dolzanskii.pdf>
- 2) Лекции по гидростатике Российский государственный университет нефти и газа им. И.М.Губкина [http://www.gubkin.ru/personal\\_sites/rykinaln/hydromechanics/](http://www.gubkin.ru/personal_sites/rykinaln/hydromechanics/)

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная физика».

Авторы

\_\_\_\_\_

Ю.И. Троицкая

\_\_\_\_\_

Д.А. Сергеев

Рецензент

\_\_\_\_\_

В.А. Миронов

Программа одобрена на заседании методической комиссии факультета «Высшая школа общей и прикладной физики»

от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

Председатель методической комиссии \_\_\_\_\_ А.М. Фейгин