

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
Решением ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Основы механики твердого тела

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.03.02 - Физика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Физика конденсированного состояния

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)

Бакалавр

(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения

Очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород - 2023

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Механика твердого тела» входит в состав части факультативных дисциплин ОПОП и преподается студентам бакалавриата кафедры физического материаловедения физического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского в 7-ом семестре (4 курс бакалавриата) Код ФТД.04.

Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Характеристика дисциплины
Факультативные дисциплины	Дисциплина ФТД.10 относится к факультативным дисциплинам направления подготовки 03.03.02 Физика

Целями освоения дисциплины являются:

формирование у обучающегося компетенций в области механики сплошных сред, необходимых для корректного и инновационного описания задач физического материаловедения, и на развитие навыков применения математического и численного моделирования при решении задач, возникающих во время описания поведения перспективных конструкционных материалов, с учетом эксплуатационных характеристик и условий эксплуатации.

Освоение дисциплины «Основы механики твердого тела» базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Теоретическая механика» и «Физика конденсированного состояния»..

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

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-2. Способность самостоятельно анализировать и применять на практике современные теоретические концепции и достижения современной физики и смежных (междисциплинарных) областей	ПК-2.1 Знание современных теоретических концепций и достижений современной физики и смежных (междисциплинарных) областей	<p><u>Знать:</u></p> <p>31: Знать теоретические основы механики твердого тела и методов моделирования в механике сплошных сред в случае одномерных.</p> <p>32: Знать метод конечных элементов в части приложения для задач механики твердого тела.</p> <p>33: Знать методы физических исследований, необходимые для получения новых знаний и решения задач в области механики твердого тела.</p> <p><u>Уметь:</u></p> <p>У1: Уметь соотносить знания различных разделов механики твердого тела с профильными знаниями в области физического материаловедения, а также</p>	<p>Контрольные вопросы (собеседование, тест)</p> <p>Отчет по расчетно-графической работе</p>

		<p>со знаниями в смежных областях.</p> <p>У2: Уметь использовать знания различных разделов механики твердого тела для решения типовых (стандартных) задач в области механики твердого тела.</p> <p><u>Владеть:</u></p> <p>В1: Владеть методами, теориями и инструментарием дисциплины «Механика твердого тела», базирующихся на различных разделах механики сплошных сред в случае одномерных задач.</p> <p>В2: Владеть опытом использования знаний и методов механики твердого тела для получения новых знаний и решения задач в области механики твердого тела.</p>	<p>Отчет по расчетно-графической работе</p>
	<p>ПК-2.3 Демонстрация способности применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</p>	<p><u>Знать:</u></p> <p>З1: Знать теоретические основы аналитических и численных методов исследований в рамках механики твердого тела, необходимых для выполнения практических заданий и расчетно-графических работ по дисциплине «Основы механики твердого тела».</p> <p>З4: Знать требования к документам, предъявляемым в качестве отчетных за выполненные расчетно-графические работы (практические задания).</p> <p><u>Уметь:</u></p> <p>У1: Уметь использовать возможности современных аналитических и численных методов механики сплошных сред для одномерных задач, к которым сводятся стандартные экспериментальные методы исследования материалов в рамках</p>	<p>Тест</p>

Тема 1 Введение Модели геометрии; виды внешних и внутренних сил, метод сечений. Определение напряжения, напряженное состояние; определение деформации, деформированное состояние; закон Гука для элемента конструкции; принцип начальных размеров, принцип независимости действия сил; принцип Сен-Венана; основные виды нагружения стержня и дифференциальные уравнения равновесия.	20	2	2	-	-	4	7
Тема 2. Растяжение и сжатие Гипотеза плоских сечений; деформированное состояние в растянутых стержнях. Первичная диаграмма растяжения, вторичная условная диаграмма растяжения и основные механические характеристики материала; вторичная истинная диаграмма растяжения; особенности диаграмм растяжения при сжатии	30	4	4	-	-	8	8
Тема 3 Чистый сдвиг и кручение Моделирование условий чистого сдвига; Стержень с круглым поперечным сечением. Внутренние усилия; гипотеза плоских сечений при кручении; связь между крутящим моментом и углом закручивания, распределение касательных напряжений по сечению стержня. Экспериментальные основы исследования кручения. Стержень с некруглым поперечным сечением. Основные предположения, гипотеза о жестком контуре; депланация, свободное кручение, стесненное кручение.	60	4	4	-	-	8	8
Тема 4 Изгиб Гипотеза плоских сечений, формула Навье; Прямой поперечный изгиб. Допущения и оценки применимости соотношений чистого изгиба при поперечном изгибе; напряжения при прямом поперечном изгибе, формула Журавского; Перемещения балок. Основные допущения; универсальное уравнение изогнутой оси балки	32	2	2	-	-	4	7
Тема 5 Теории прочности Основные предположения и определения; гипотезы прочности: Галилея-Ренкина, Мариотта-СенВенана, Треска-Кулона, Губера-Мизеса-Генки;		2	2	-	-	4	5

гипотеза Мора							
Тема 6 Устойчивость стержней Задача Эйлера; выражение для критического усилия; уточнение выражения для критического усилия; зависимость критической силы от условий закрепления.		2	2	-	-	4	4
В том числе промежуточный контроль	1	1					
Промежуточная аттестация: Зачет							
Итого	72	16	16	-	-	32	39

В преподавании дисциплины (в части семинаров) активно используются интерактивные технологии групповой работы на практических занятиях, когда студенты обсуждают с преподавателем предложенную им задачу (научно-практическую проблему) как индивидуально («преподаватель – студент»), так и в ходе группового обсуждения с преподавателем возможных вариантов предложенных студентами решений («преподаватель – группа студентов»). В ходе обсуждения преподаватель может высказывать конструктивные критические замечания к предлагаемым решениям, просить студентов уделить особое внимание какому-нибудь аспекту рассматриваемого явления (обосновать сделанные выводы), а также предложить провести групповое обсуждение рассматриваемой проблемы и прийти к единому мнению.

Самостоятельная работа студентов связана с применением компьютерных и информационно-коммуникационных технологий.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.6 настоящей рабочей программы дисциплины.

Основной целью самостоятельной работы является подготовка к выполнению расчетно-графических работ (практических занятий), анализ результатов, полученных в ходе выполнения проектов (расчетно-графических работ), а также решение задач, заданных преподавателем для самостоятельного разбора.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на выполнение той части лабораторной работы, по которой имеет место отставание обучающегося от графика.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

5.1 Описание шкал оценивания

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«не зачтено»	«зачтено»
Знания	Студент не овладел необходимыми знаниями по данной компетенции	Студент овладел необходимыми знаниями по данной компетенции
Умения	Студент не овладел необходимыми умениями по данной компетенции	Студент овладел необходимыми умениями по данной компетенции
Навыки	Студент не овладел необходимыми навыками по данной компетенции	Студент не овладел необходимыми навыками по данной компетенции
Мотивация	Студент не	Студент продемонстрировал

(личностное отношение)	продemonстрировал заинтересованности в освоении разделов дисциплины, формирующих данную компетенцию	заинтересованности в освоении разделов дисциплины, формирующих данную компетенцию
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	менее 50%	более 50%, в.т. включительно 50%

При проверке отчета по расчетно-графической работе преподавателем оценивается:

- степень понимания целей работы, в том числе – умение соотнести цели и задачи работы (проекта) с более общими целями и задачами своей научно-исследовательской работы;
- степень достижения поставленных целей (соответствие объема выполненной работы минимальным требованиям, установленным в учебном или учебно-методическом пособии);
- качество и достоверность полученных экспериментальных результатов;
- обоснованность полученных выводов (качество анализа полученных экспериментальных результатов, включая сопоставление полученных результатов с литературными данными, а также данными, полученными другими исследователями);
- умение объяснить полученные результаты с использованием базовых и дополнительных источников, а также знаний, полученных при изучении профильных дисциплин;
- умение представить полученные результаты (оформить отчет в соответствии с требованиями, изложенными в учебном или учебно-методическом пособии).

Зачет-незачет по результатам сдачи отчетов по проделанным лабораторным работам выставляется на основании следующих критериев:

Оценка	Критерий выставления
Зачет	Отчет о проделанной расчетно-графической работе содержит ряд не критических отклонений от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к лабораторной работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по расчетно-графической работе) студент демонстрирует знание основного материала с рядом негрубых ошибок или погрешностей, наличие минимально необходимого множества навыков, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение обозначить проблемные ситуации, владение источниками, а также отвечает на большинство поставленных вопросов. В тексте отчета неправомерные заимствования отсутствуют.
Незачет	Отчет о проделанной расчетно-графической работе не представлен или форма представленного отчета существенно отличается от формы, описанной в учебном (учебно-методическом) пособии к расчетно-графической работе. При ответах на дополнительные вопросы (при сдаче отчета по расчетно-графической работе) студент демонстрирует полное непонимание смысла проблем, присутствуют грубые ошибки в основном материале, студент не демонстрирует достаточно полное владение терминологией, а также отсутствуют один или несколько навыков, предусмотренных данной компетенцией. В тексте отчета встречаются элементы неправомерного заимствования, в том числе – текста расчетно-графических работ других студентов.

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

– индивидуальное собеседование (текущий контроль, промежуточная аттестация);

Для оценивания результатов обучения в виде умений используются индивидуальные или групповые собеседования с преподавателем при обсуждении возможных вариантов решения поставленных задач (текущий контроль).

Для оценивания результатов обучения в виде владений (оценка навыков) используются комплексные практические задания (отчеты по расчетно-графическим работам) (текущий контроль, промежуточная аттестация);

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

Типовые вопросы для собеседования

1. Дайте определение напряженного состояния в точке тела
2. Дайте определение видов напряженного состояния
3. Разложение тензора напряжений. Девиатор напряжений
4. Дайте определение главных напряжений
5. Дайте определение интенсивности напряжений
6. Дайте определение интенсивности касательных напряжений
7. Дайте определение направляющего девиатора напряжений. Объясните его смысл
8. Подходы к описанию смещений в сплошной среде
9. Тензор деформации Грина. Определение. Выражение для компонент
10. Запишите условия совместности деформаций. Объясните их смысл
11. Дайте определение деформированного состояния
12. Дайте определение главных деформаций
13. Дайте определение главных деформации сдвига
14. Дайте определение объемной деформации. Объясните ее смысл
15. Дайте определение октаэдрической деформации. Объясните ее смысл
16. Дайте определение интенсивности деформаций
17. Дайте определение интенсивности угловых деформаций
18. Дайте определение направляющего девиатора деформаций
19. Дайте определение интенсивности приращений деформаций
20. Дайте определение скорости деформаций
21. Изотропный материал. Закон Гука
22. Трансверсально изотропный материал. Закон Гука
23. Ортоотропный материал. Закон Гука
24. Условия, налагаемые на константы ортоотропного материала
25. Типы краевых условий. Случай поверхностных сил. Формула Коши
26. Запишите полную систему уравнений в случае упругого изотропного тела
27. Виды напряженного состояния
28. Дайте определение плоского напряженного состояние
29. Дайте определение плоского деформированного состояния
30. Как определить перемещения в теле с учетом известных деформаций (вывести формулы Чезаре)?
31. Как определить истинные напряжения при растяжении стержня в случае деформации равномерной по длине стержня?
32. Как определить истинные деформации при растяжении стержня в случае неравномерной деформации?
33. Как определить истинные напряжения при растяжении стержня в случае неравномерной деформации?
34. Объясните, почему вводится и на чем базируется предположение о совпадении пределов пропорциональности, упругости и текучести при изучении теорий пластичности?

35. Объясните, на чем базируется предположение о неизменности объема тела при пластическом деформировании?
36. Как можно постановку описания смещений в сплошной среде в форме Эйлера, например, для жидкости, корректно заменить на описание в форме Лагранжа без потери точности?
37. Для моделирования диаграммы деформирования на начальной стадии макропластического деформирования каких металлических материалов применима модель упруго жестко пластического тела?
38. Для моделирования диаграммы деформирования на начальной стадии макропластического деформирования каких металлических материалов применима модель упругопластического тела с линейным упрочнением?
39. Для описания каких процессов пластического деформирования, и почему, надо применять уравнения СенВеннана-Леви-Мизеса?
40. Какую теорию пластического течения предпочтительно применять при описании задачи монотонного нагружения образца материала?
41. Поставьте краевую задачу об определении напряженно-деформированного состояния в окрестности винтовой дислокации. К какому типу задач теории упругости относится данная задача?
42. Базируясь на чем, можно оценить корректность выбранного порядка конечного элемента при построении дискретного аналога объекта?
43. Как эмпирически исследуется сходимость каждой частной задачи, решаемой методом конечных элементов?
44. Как описывается условие симметрии заданное на границе тела, при условии, что тело есть одномерный объект дискретная модель, которого построена с использованием конечных элементов работающих только на растяжение или сжатие?
45. Как описывается условие симметрии заданное на границе тела, при условии, что тело есть одномерный объект дискретная модель, которого построена с использованием балочных конечных элементов?
46. Как описывается условие симметрии заданное на границе тела, при условии, что тело есть двумерный объект дискретная модель, которого построена с использованием пластинчатых (оболочечных) конечных элементов?
47. Как описывается условие симметрии заданное на границе тела, при условии, что тело есть двумерный объект дискретная модель, которого построена с использованием двумерных конечных элементов?
48. Как описывается условие симметрии заданное на границе тела, при условии, что тело есть трехмерный объект дискретная модель, которого построена с использованием трехмерных конечных элементов?
49. Зачем применяются изопараметрические конечные элементы?
50. В каком случае дискретная модель трехмерного тела будет иметь большую жесткость: в случае, когда она построена с использованием тетраэдральных конечных элементов или в случае конечных элементов в виде параллелепипеда? Считать, что в обоих случаях размер конечного элемента одинаков.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) методические материалы, определяющие процедуры оценивания

[1] Морозов О.А., Солдатов Е.А., Чупрунов Е.В. «О примени семибальной системы оценки уровня знаний студентов на физическом факультете // Вестник ННГУ. Серия «Инновации в образовании». 2005, Выпуск 1(6), с. 105-111.

[2] Приказ ректора ННГУ №229-ОД от 10 октября 2002 г. о введении семибальной системы оценивания в ННГУ.

б) основная литература

1. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1988. – 712 с. [14 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
2. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. – 744 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
3. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. - М.: Машиностроение, 1975. - 400с. [9 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
4. Малинин Н.Н., Романов К.И., Ширшов А.А. Сборник задач по прикладной теории пластичности и ползучести. - М.: Высш. шк., 1984. - 231с. [1 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов. – М.: Наука, 19689. – 351. [32 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
6. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности. - М.: Высш. школа, 1990. – 398 с. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]
7. Соколовский В.В. Теория пластичности. - М.: Высш. шк., 1969. - 608 с. [11 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
8. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. – 544 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Zenkevich1975ru.djvu>].
9. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошных сред. Практическое руководство, Под ред. А.К. Любимова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. 227 с. [55 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].

в) дополнительная литература

1. Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. - М.: Физматлит, 2001, 2003. - 704 с. [1 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/IshlinskijIvlev2003ru.djvu>].
2. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел.Т.1. - М.: ИЛ., 1954. – 648 с. [2 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Nadai_t1_1954ru.djvu].
3. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел.Т.2. - М.: Мир., 1969. – 864 с. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Nadai_t2_1969ru.djvu].
4. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. - М.: Наука, 1969. - 420 с. [12 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
5. Новацкий В. Теория упругости. – М.: Мир, 1975. – 872 с. [4 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Novackij1975ru.djvu>].
6. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести. Справ. Пособ. /Писаренко Г.С., Можаровский Н.С. Киев: Наукова Думка, 1981. - 496 с. [1 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/PisarenkoMozharovskij1981ru.djvu>].
7. Безухов Н.И. Сборник задач по теории упругости и пластичности. – М.: Гостехиздат, 1957. – 286 с. . [1 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ]. [Доступ через электронную библиотеку EqWord: <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Bezuhov1957ru.djvu>].
8. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. – М.: Мир: 1984. – 428 с. . [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
9. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. – М.: Мир, 1976. – 464 с. [3 экз. в фундаментальной библиотеке ННГУ].
10. Берендеев Н.Н. Исследование влияния внутреннего трения и способа возбуждения на вынужденные колебания системы/ Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний

Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 50 с. [Доступ на сайте ННГУ: <http://www.unn.ru/pages/e-library/methodmaterial/files/ivuvtsvvk.pdf>]

11. Берендеев Н.Н. Методы решения задач усталости в пакете ANSYS WORKBENCH/ 2-е издание исправленное и дополненное. Электронное учебно- методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. – 73 с. [Доступ на сайте ННГУ: <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/270>]
12. Берендеев Н.Н. Проведение виртуального эксперимента по растяжению образцов металлов: практикум/Электронное учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2020. - 37 с. [Доступ на сайте ННГУ: <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/Download/MObject/264>]

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.
2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.
3. <https://biblio-online.ru/> - сайт электронной библиотеки «Юрайт», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
4. <https://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.
5. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
6. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.
7. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.
8. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Библиотечные залы и компьютерные классы ННГУ и НИФТИ ННГУ, обеспечивающие доступ к Интернет – ресурсам. Для чтения лекций со стороны физического факультета и НИФТИ ННГУ предоставляются аудитории с презентационным оборудованием.

Для проведения семинарских занятий и выполнения лабораторных работ со стороны предоставляется доступ к компьютерам с установленным лицензионным пакетом ANSYS WORKBENCH.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 «Физика».

Авторы:

к.ф.-м.н., Берендеев Н.Н. _____

Заведующий кафедрой:
д.ф.-м.н., проф. Чувильдеев В.Н. _____

Рецензент:
зам. декана по учебной работе Белова О.В. _____

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета
от «20» мая 2023 года, протокол № б/н.

Председатель учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ _____ / Перов А.А. /