

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
аэрокосмических технологий  
С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Лабораторный практикум по механике сплошных сред: механика твердого и деформируемого тела
<b>по направлению:</b>	Техническая физика
<b>профиль подготовки:</b>	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
<b>курс:</b>	2
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

О.Я. Извеков, канд. физ.-мат. наук, доцент

В.Н. Щербаков, канд. техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

## Аннотация

Лабораторный практикум тематически связан с курсом Введение в механику сплошных сред: деформируемое твердое тело. Курс знакомит студентов с постановкой физического эксперимента в области механики твердого деформируемого тела, методами измерения, обработки и интерпретации полученных данных. В практикуме используются как универсальные разрывные машины, так и специально сконструированные стенды. Включает лабораторные работы на тему статически определимых и статически неопределимых упругих стержневых конструкций (балки, фермы, рамы), ползучести материалов, прочности композитных материалов, механики сыпучих сред, фотоупругости. Методические пособия по лабораторным работам разработаны специалистами кафедры прикладной механики ФАКТ.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- закрепление базовых теоретических знаний и получение практических навыков в области механики сплошных сред для использования при изучении дисциплин по соответствующей бакалаврской программе.

#### Задачи дисциплины

- приобретение практических навыков при моделировании и измерении прочностных параметров.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ОПК-1 Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями и законами современных естественнонаучных дисциплин в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.2 Использует необходимые физические законы и понимает границы их применимости
ОПК-4 Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ОПК-4.1 Знает основные источники научной информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной информации
ПК-1 Способен применять эффективные методы исследования физико-технических объектов и процессов, проводить испытания технологических процессов и (или) изделий с использованием современных аналитических средств технической физики	ПК-1.1 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ПК-1.2 Владеет аналитическими, вычислительными и экспериментальными методами исследования
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные направления теоретического курса «Введение в механику сплошных сред»;
- основы теории упругости, пластичности и ползучести;
- физические законы и физико-математические модели, лежащие в основе описания свойств сплошной среды;
- основные понятия, определения и уравнения, используемые при постановке и решении задач в области механики сплошной среды.

уметь:

- применять на практике знания, полученные в результате изучения физико-математических дисциплин на 1-2 курсе;
- получать численные оценки ключевых характеристик;
- рассчитывать простые инженерные конструкции и их элементы на прочность;
- уметь настраивать экспериментальное оборудование, используемое в лабораторных работах.

владеть:

- навыками усвоения междисциплинарной информации в области физики твердого тела, методов решения задач;
- культурой постановки и математического моделирования физических задач в данной предметной области;
- экспериментальными навыками измерения результатов для определения параметров изучаемой среды.
- навыками компьютерной обработки экспериментальных результатов.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Стержневые системы. Фермы.			4	7
2	Стержневые системы. Рамы.			4	8
3	Устойчивость стержней.			6	7
4	Ползучесть материалов.			4	8
5	Определение предела прочности в анизотропной пластинке.			4	7
6	Определение механических характеристик сыпучей среды.			4	8
7	Оптический метод измерения напряжений.			2	7
8	Изгиб балки.			2	8
Итого часов				30	60
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

###### 1. Стержневые системы. Фермы.

Целью лабораторной работы является ознакомление с методами расчета статически определимых стержневых конструкций и экспериментальными методами определения усилий в стержнях и перемещений в узлах.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума.
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Измерение усилий в стержнях и перемещений в узлах статически определимой фермы при различных нагрузках.
5. Теоретический расчет усилий в стержнях. Расчет перемещений в узлах фермы по теореме Кастильяно.
6. Оформление отчета и сдача работы.

## 2. Стержневые системы. Рамы.

Целью лабораторной работы является ознакомление с методами расчета статически неопределимых стержневых систем.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Измерение перемещений в определенных точках статически неопределимой рамы при различных нагрузках.
5. Теоретический расчет перемещений в определенных точках статически неопределимой рамы при различных нагрузках.

Оформление отчета и сдача работы.

## 3. Устойчивость стержней.

Целью работы является ознакомление с основными положениями теории устойчивости стержней по Эйлеру. Проведение экспериментов на устойчивость стержней и сопоставление экспериментальных и расчетных данных.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума.
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Измерение критической нагрузки на стержень при различных условиях его закрепления.
5. Сравнение теоретически рассчитанных критических напряжений с результатами измерений.
6. Оформление отчета и сдача работы.

## 4. Ползучесть материалов.

Целью работы является ознакомление с линейной наследственной теорией вязкоупругости. С помощью интегральных уравнений этой теории предлагается аппроксимировать экспериментальные кривые ползучести полимерного материала.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума.
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Измерение зависимости деформации полимерного образца от времени при заданной программе нагружения.

5. Обработка экспериментальных данных, подбор эмпирических коэффициентов в функции ползучести.
6. Оформление отчета и сдача работы.

#### 5. Определение предела прочности в анизотропной пластинке.

Целью работы является знакомство с анизотропными, композитными материалами, и экспериментальное определение предела прочности в функции угла между осями анизотропии и направлением, под которыми вырезан образец. Аппроксимация экспериментальных кривых выражениями, полученными на основе энергетической теории прочности для анизотропных материалов.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума.
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Измерение прочности на растяжение образцов из композиционного материала (текстолит), в которых оси анизотропии ориентированы под различными углами по отношению к оси нагрузки.
5. Обработка экспериментальных данных, сравнение результатов измерения с расчетом по теоретической формуле, описывающей прочность композита в зависимости от ориентации волокон относительно оси нагрузки.
6. Оформление отчета и сдача работы

#### 6. Определение механических характеристик сыпучей среды.

Целью работы является ознакомление с представлением напряженного состояния среды в виде кругов Мора, с критериями текучести в средах с внутренним трением, в частности с критерием Кулона.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума.
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Измерение прочности на осевое сжатие цилиндрического образца сыпучей среды при различных боковых давлениях.
5. Обработка экспериментальных данных, построение кругов Мора, проверка выполнения критерия Кулона, определение коэффициента внутреннего трения и сцепления для данной сыпучей среды.
6. Оформление отчета и сдача работы.

#### 7. Оптический метод измерения напряжений.

Цель лабораторной работы – ознакомление с основами поляризационно-оптического метода измерения напряжений и деформаций такими как: плоская и круговая поляризация, двойное лучепреломление, относительная разность хода, связь интерференционных порядков с компонентами тензора напряжений и деформаций. Проведение тарировки моделей и т.д. С помощью данного метода исследование напряженного состояния в изогнутой балке и диске, сжатого двумя сосредоточенными силами и т.д.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума.
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Тарировка с помощью задачи о чистом изгибе балки.
5. Визуализация и расчет поля напряжений методом фотоупругости для заданного способа нагружения плоского образца.

6. Оформление отчета и сдача работы.

8. Изгиб балки.

Цель лабораторной работы: 1. Ознакомление с теорией изгиба статически определимых и статически неопределимых балок, в частности, с теорией Кастилиано. 2. Экспериментальное подтверждение методов расчета статически неопределимых балок.

Этапы выполнения работы:

1. Изучение описания лабораторной работы.
2. Сдача коллоквиума.
3. Ознакомление с экспериментальной установкой.
4. Измерение перемещений в заданных точках упругой балки при заданной системе сил.
5. Сравнение экспериментальных данных с теоретическим расчетом с использованием теории изгиба упругой балки и теоремы Кастилиано.
6. Оформление отчета и сдача работы.

## **5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

На лабораторных занятиях используются стенды, специально разработанные и собранные для проведения лабораторных работ. Также в отдельных работах используется стандартное испытательное оборудование. В работе «Оптический метод измерения напряжений» используется поляризационно-оптическая установка производства Gunt, Германия, в работе «Определение механических характеристик сыпучей среды» используется испытательное оборудование для слабосвязанных грунтов производства ООО «Геотек», г. Пенза, В работе «Определение предела прочности в анизотропной пластинке» используется разрывная машина с максимальным усилием 50 кН производства ООО «Точприбор», г. Иваново.

## **6. Перечень рекомендуемой литературы**

Основная литература

1. Элементы механики деформируемого твердого тела, учебное пособие /О. Я. Извеков ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет). Москва, МФТИ, 2019

Дополнительная литература

1. Сопротивление материалов [Текст] : учебник для вузов / В. И. Феодосьев .— 9-е изд., перераб. — М. : Наука, 1986 .— 512 с.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
2. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
3. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину «Лабораторный практикум по механике сплошной среды: механика твердого и деформируемого тела», должен, с одной стороны, закрепить знания, полученные при изучении курса «Введение в механику сплошных сред: механика твердого и деформируемого тела», а с другой стороны, научиться применять эти знания на практике при моделировании конкретных прочностных явлений.

Успешное освоение дисциплины требует напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала по описаниям лабораторных работ;
- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- решение конкретных задач;
- подготовку к сдаче лабораторных работ.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется преподавателем в форме опросов по контрольным вопросам, приведенным в описаниях лабораторных работ, и индивидуальных консультаций.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Техническая физика
<b>профиль подготовки:</b>	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
<b>курс:</b>	<u>2</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

О.Я. Извеков, канд. физ.-мат. наук, доцент

В.Н. Щербаков, канд. техн. наук, доцент



## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ОПК-1 Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями и законами современных естественнонаучных дисциплин в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.2 Использует необходимые физические законы и понимает границы их применимости
ОПК-4 Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности	ОПК-4.1 Знает основные источники научной информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной информации
ПК-1 Способен применять эффективные методы исследования физико-технических объектов и процессов, проводить испытания технологических процессов и (или) изделий с использованием современных аналитических средств технической физики	ПК-1.1 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
	ПК-1.2 Владеет аналитическими, вычислительными и экспериментальными методами исследования
	ПК-1.3 Способен разрабатывать и применять наиболее подходящие теоретические и экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Лабораторный практикум по механике сплошных сред: механика твердого и деформируемого тела» обучающийся должен:

### знать:

- основные направления теоретического курса «Введение в механику сплошных сред»;
- основы теории упругости, пластичности и ползучести;
- физические законы и физико-математические модели, лежащие в основе описания свойств сплошной среды;
- основные понятия, определения и уравнения, используемые при постановке и решении задач в области механики сплошной среды.

### уметь:

- применять на практике знания, полученные в результате изучения физико-математических дисциплин на 1-2 курсе;
- получать численные оценки ключевых характеристик;
- рассчитывать простые инженерные конструкции и их элементы на прочность;
- уметь настраивать экспериментальное оборудование, используемое в лабораторных работах.

### владеть:

- навыками усвоения междисциплинарной информации в области физики твердого тела, методов решения задач;
- культурой постановки и математического моделирования физических задач в данной предметной области;
- экспериментальными навыками измерения результатов для определения параметров изучаемой среды.
- навыками компьютерной обработки экспериментальных результатов.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль применяется в следующих формах:

оценка за каждую выполненную лабораторную работу базируется на практических результатах, полученных в работе, и на ответах на контрольные вопросы, приведенные в описаниях лабораторных работ.

К дифференцированному зачету допускаются студенты, выполнившие все лабораторные работы.

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме дифференцированного зачета (устного) в 3-ем семестре.

Итоговой оценкой на дифференцированном зачете является среднеарифметическое значение от всех работ.

Примеры вопросов, используемых для проведения дифференцированного зачета:

1. Напряженное состояние. Формула Коши для напряжений. Нормальное и касательное напряжение. Круги Мора.
2. Расчет статически неопределимых и статически определимых стержневых систем.
3. Элементарная теория изгиба балки. Момент инерции сечения. Энергия при изгибе. Применение теоремы Кастилиано в задачах изгиба статически неопределимой балки.
4. Вывести формулу Эйлера для устойчивости стержня при продольной нагрузке. Определение критической нагрузки при различных способах закрепления стержня.
5. Сформулировать закон Гука для изотропного твердого тела. Сколько независимых упругих констант нужно для описания поведения изотропного упругого тела? Дать понятие анизотропии.
6. Дать определение ползучести. Сформулировать принцип суперпозиции Больцмана. Качественно изобразить развитие деформаций в образце при ступенчатом нагружении.
7. Сформулировать законы текучести Треска и Кулона. Показать, как с помощью кругов Мора графически определить угол внутреннего трения и коэффициент сцепления для сыпучей среды (грунта).

#### **Критерии оценивания**

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания при ответе на контрольные вопросы и имеющему отличный результат сдачи лабораторных работ,

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания при ответе на контрольные вопросы и имеющему отличный результат сдачи лабораторных работ,

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему глубокие знания при ответе на контрольные вопросы и имеющему отличный результат сдачи лабораторных работ,

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, продемонстрировавшему твердые, систематизированные знания материала при ответе на контрольные вопросы и имеющему хороший результат сдачи лабораторных работ,

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала при ответе на контрольные вопросы и имеющему хороший результат сдачи лабораторных работ,

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту продемонстрировавшему, систематизированные знания материала при ответе на контрольные вопросы и имеющему хороший результат сдачи лабораторных работ,

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется, если во время ответа студент показывает нетвердое знание базовых положений, связанных с материалом контрольных вопросов, но имеет хороший результат сдачи лабораторных работ,

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется, если во время ответа студент показывает разрозненный характер знаний, нечеткие, но без грубых ошибок, формулировки базовых положений, связанных с материалом контрольных вопросов, имеет удовлетворительный результат сдачи лабораторных работ,

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется, если во время ответа, студент показывает, что не знает большей части основного содержания материалов, связанных с контрольными вопросами, имеет удовлетворительный результат сдачи лабораторных работ.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Дифференцированный зачет по дисциплине является заключительным этапом изучения всего курса и имеет целью проверку знаний студентов по теории (ответы на контрольные вопросы) и выявление практических навыков применения полученных знаний при выполнении лабораторных работ, а также навыков самостоятельной работы с рекомендованной учебно-научной литературой.

Дифференцированный зачет проводится в устной форме и состоит в ответе на 1 - 2 контрольных вопроса.

Преподавателю предоставляется право, помимо теоретических вопросов задавать студентам дополнительные вопросы, уточняющие понимание студентом содержания курса. На подготовку к зачету и опрос отводится время в соответствии с утвержденными нормативами.