

**федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет ИТМО»  
(Университет ИТМО)**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе  
\_\_\_\_\_ В.О. Никифоров  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.  
М.П.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Теория упругости**

**Группа научной специальности:** 1.1. Математика и механика

**Научная специальность:** 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

**Форма обучения:** Очная

Санкт-Петербург  
2022 г.

Рабочая программа составлена на основании Требований к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, самостоятельно устанавливаемых федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»:

Код и наименование группы научной специальности	Реквизиты приказа об утверждении Требований Университета ИТМО
1.1. Математика и механика	Приказ ректора №325-од от 31.03.2022 Решение Научно-Технического совета №12 от 28.03.2022

Программу разработал: Мельников В.Г., д.т.н.

Программа одобрена на заседании НТС Университета ИТМО протокол №12 от 28.03.2022 года.

**Место дисциплины в структуре учебного плана:**

Блок 2, Образовательный компонент

**Форма обучения:** очная

**Год обучения:** 2

**Семестр:** 3

**Форма аттестации:** экзамен

Вид деятельности	Семестр
	3
Занятий в контактной форме, час.	20
из них лекции, час.	8
из них научно-практических занятий, час.	8
из них промежуточной аттестации (включая консультации), час.	4
Самостоятельная работа, час.	124
Всего часов	144
Всего зачетных единиц	4

## Аннотация к рабочей программе дисциплины «Теория упругости»

Дисциплина «Теория упругости» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по группе научной специальности «Математика и механика» по очной форме обучения на русском языке.

### Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры.
2. Планируемые результаты обучения по дисциплине.
3. Структура и содержание дисциплины.
4. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.
6. Материально-техническое обеспечение дисциплины.
7. Фонды оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации.

#### 1. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры

Дисциплина «Теория упругости» реализуется в третьем семестре в рамках Образовательного компонента Блока 2. Данная дисциплина создает системное научное знание в профессиональной области обучающегося, формирует представления о базовых концепциях теории упругости и способствует развитию навыков, необходимых для профессиональной деятельности.

#### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Дисциплина «Теория упругости» направлена на формирование **компетенции УК-1**: способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях, **компетенции УК-3**: готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач, **компетенции УК-5**: способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, **компетенции ОПК-1**: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий, **компетенции ОПК-2**: готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования *в части следующих результатов обучения:*

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-1	Уметь: У5 (УК-1) проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной Владеть:

	В1 (УК-1) навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования;
УК-3	Владеть: В2 (УК-3) технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке
УК-5	Уметь: У1 (УК-5) планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности Владеть: В1 (УК-5) приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач
ОПК-1	Уметь: У2 (ОПК-1) планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований
ОПК-2	Знать: З3 (ОПК-2) тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности

### Способы формирования планируемых результатов обучения

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (знать, уметь, владеть)	Формы организации занятий		
	Лекции	Научно-практические занятия	Самостоятельная работа
<b>УК-1: способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</b>			
У5 (УК-1) проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной	+	+	+
В1 (УК-1) навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования		+	+
<b>УК-3: готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач</b>			
В2 (УК-3) технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке		+	+
<b>УК-5: способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития</b>			
У1 (УК-5) планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности	+	+	+
В1 (УК-5) приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач		+	+

<b>ОПК-1: Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</b>			
У2 (ОПК-1) планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований	+	+	+
<b>ОПК-2: готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования</b>			
З3 (ОПК-2) тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности	+		+

### 3. Структура и содержание дисциплины

Изучение курса «Теория упругости» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; научно-практические занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и научно-практическим занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на научно-практических занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

#### Структура дисциплины:

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические занятия	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Основные уравнения теории упругости	70	4	4	-	62	Опрос, собеседование, тестирование
2	Основные задачи теории упругости	70	4	4	-	62	
3	Промежуточная аттестация	4	-	-	-	-	Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием
<b>ИТОГО:</b>		<b>144</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>124</b>	

Содержание дисциплины:

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Содержание	Ссылки на результаты обучения
1.	Общие уравнения теории упругости	1. Напряженно-деформированное состояние сплошного тела 2. Преобразование компонент тензора деформаций и напряжений к новым осям 3. Анализ напряжений и деформаций в пространственном случае. Определение главных напряжений и деформаций. Инварианты тензора. 4. Обобщенный закон Гука 5. Плоское напряженное состояние и плоская деформация 6. Уравнение совместности. Уравнение равновесия 7. Уравнения Бельтрами-Митчелла в перемещениях 8. Энергия деформации 9. Вариационные принципы теории упругости 10. Теорема Кастильяно	У5 (УК-1) В1 (УК-1) В2 (УК-3) У1 (УК-5) В1 (УК-5) У2 (ОПК-1) 33 (ОПК-2)
2.	Основные задачи теории упругости	1. Задача Эшелби 2. Двумерные задачи в прямоугольных координатах. Изгиб балки 3. Двумерные задачи в полярных координатах. Нагруженная пластина с круговым отверстием (задача Кирша) 4. Двумерные задачи в криволинейных координатах. Нагруженная пластина с эллиптическим отверстием 5. Трехмерные задачи теории упругости. Нагруженный толстостенный полый цилиндр (задача Ламе) 6. Контактные задачи теории упругости. Деформация в точке (задача Герца) 7. Кручение прямолинейных стержней 8. Изгиб брусьев 9. Температурные напряжения и деформации 10. Распространение волн в упругой сплошной среде	

## Виды учебной и самостоятельной работы

Виды учебной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы
На основе изучения литературы по темам лекционных и научно-практических занятий аспирант готовится к ответу на предложенные вопросы, к участию в дискуссиях, к тестированию по изученному материалу	У5 (УК-1) В1 (УК-1) В2 (УК-3) У1 (УК-5) В1 (УК-5) У2 (ОПК-1) З3 (ОПК-2)	20
Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение
Самостоятельная подготовка к лекционным и научно-практическим занятиям	У5 (УК-1) В1 (УК-1) В2 (УК-3) У1 (УК-5) В1 (УК-5) У2 (ОПК-1) З3 (ОПК-2)	124
Успешное освоение материала, изучаемого в ходе лекционных и научно-практических занятия, требует дополнительного самостоятельного изучения. По каждому разделу учебной дисциплины предусмотрено изучение теоретического материала с использованием компьютерных технологий; самостоятельное изучение теоретического материала дисциплины с использованием Internet-ресурсов, информационных баз, методических разработок, специальной учебной и научной литературы.		

### 4. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Теория упругости» осуществляется на лекциях и научно-практических занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и беседах по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; в форме тестирования оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теория упругости» проводится в третьем семестре в форме экзамена. Экзамен в форме письменной работы с последующим собеседованием с преподавателем.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Учебно-методическое обеспечение:  
учебно-методическое обеспечение дисциплины размещено на образовательном портале Университета ИТМО

**Профессиональные базы данных, интернет-ресурсы, электронные библиотеки и информационные справочные системы:**

<b>№</b>	<b>Ссылка на информационный ресурс</b>	<b>Наименование разработки в электронной форме</b>	<b>Доступность</b>
1.	<a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>	ЭБС на платформе «Лань». Учебники и учебные пособия для университетов издательства «Лань»	Индивидуальный неограниченный доступ
2.	<a href="http://elibrary.ru/">http://elibrary.ru/</a>	Научная электронная библиотека (РИНЦ)	Индивидуальный неограниченный доступ
3.	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>	Библиотека. Единое окно доступа к информационным ресурсам	Индивидуальный неограниченный доступ
4.	<a href="http://elbib.ru/">http://elbib.ru/</a>	Российская электронная библиотека	Индивидуальный неограниченный доступ
5.	<a href="http://public.ru/">http://public.ru/</a>	Публичная Интернет-библиотека	Индивидуальный неограниченный доступ
6.	<a href="http://lib.ifmo.ru/">http://lib.ifmo.ru/</a>	Электронная библиотека НИУ ИТМО	Индивидуальный неограниченный доступ
	<a href="http://spie.org/">http://spie.org/</a>	Сайт SPIE International Technical Group Newsletter	Индивидуальный неограниченный доступ

**Основная литература:**

1. Александров, В. М. Аналитические методы в контактных задачах теории упругости [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.М. Александров, М.И. Чебаков. — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2004. — 299 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/48233>. — Загл. с экрана.
2. Вебстер, А. Г. Механика материальных точек, твердых, упругих и жидких тел. Лекции по математической физике в 2-х томах. / пер. с англ. К.В. Меликова [и др.], под ред. К.В. Меликова. М.: URSS: Издательство ЛКИ, 2008. Т. 1 – 1 экз. Т. 2.
3. Тимошенко, С. П. Теория упругости / С. П. Тимошенко, Дж. Гудьер., — Москва : Наука, 1975. — 576 с.

**Дополнительная литература:**

1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : в 10 т. : рек. М-вом образования РФ в качестве учебного пособия для студентов физ. спец-стей ун-тов. / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц - Изд. 5-е, стер. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001 - Т. 5: Статистическая физика Ч. 1 / под ред. Л. П. Питаевского .— 616 с. : ил.

2. Лехницкий, С. Г. Теория упругости анизотропного тела / С. Г. Лехницкий. — 2-е изд., — Москва : Наука, 1977. — 416 с.

**Средства, обеспечивающие адаптацию электронных и печатных образовательных ресурсов для обучающихся из числа лиц с инвалидностью и ограниченными возможностями здоровья:**

1) Доступ к изданиям электронно-библиотечной системы «Издательство «Лань» (<https://e.lanbook.com>), в адаптированных форматах для лиц с инвалидностью и ОВЗ.

2) Специальные технические средства обучения коллективного и индивидуального пользования для лиц с инвалидностью и ОВЗ:

а) В библиотеке по адресам Кронверкский пр., д.49 и ул. Ломоносова, д.9 обучающимся, имеющим нарушения зрения, предоставляется компьютерное место с клавиатурой, маркированной шрифтом Брайля, и увеличительные лупы нового поколения с подсветкой и семикратным увеличением (лупы настольные с подсветкой PowerLux).

3) Услуги по адаптации учебно-методического материала для лиц с инвалидностью и ОВЗ:

а) обучающиеся с нарушениями зрения по запросу могут получить специальную учебную, научную литературу и периодические издания на основании действующего договора о сотрудничестве между Университетом ИТМО и Государственной библиотекой для слепых и слабовидящих; для обучающихся с нарушениями зрения учебные материалы могут быть предложены на шрифте Брайля.

б) обучающимся с нарушениями слуха по запросу предоставляются услуги сурдопереводчика на основании договора между Университетом ИТМО и «Всероссийским обществом глухих» (СПб РО ОООИ ВОГ).

**6. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Программное обеспечение:

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
<b>Занятия лекционного типа:</b>		
мультимедийный класс	аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук)	Операционная система Microsoft Windows (версии от “Windows 7” до “Windows 11”)
<b>Занятия практического типа:</b>		
мультимедийный класс, компьютерный класс	аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук)	Операционная система Microsoft Windows (версии от “Windows 7” до “Windows 11”)
<b>Самостоятельная работа:</b>		
компьютерный класс	15 персональных компьютеров	Операционная система

	в составе локальной вычислительной сети, подключенной к Internet (30 Мбит/с).	Microsoft Windows (версии от “Windows 7” до “Windows 11”)
--	---	---

## 7. Фонды оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации

### Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности по теории упругости	Перечень вопросов к экзамену
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по теории упругости для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области	Требования к порядку проведения собеседования

## Критерии сформированности компетенций

Код формируемой компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине	Не сформировано	Сформировано
УК-1	У5 (УК-1) проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной	Отсутствие умения проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной	Сформированные умения проводить оригинальные исследования, результаты которых обладают научной целостностью и новизной
	В1 (УК-1) навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	Отсутствие навыков сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования	Сформированные навыки сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования
УК-3	В2 (УК-3) технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке	Отсутствие владения технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке	Сформированные владения технологиями оценки результатов коллективной деятельности по решению научных и научно-образовательных задач, в том числе ведущейся на иностранном языке
УК-5	У1 (УК-5) планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности	Отсутствие умения планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности	Сформированные умения планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития, следуя этическим нормам в профессиональной деятельности
	В1 (УК-5) приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач	Отсутствие владений приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач	Сформированные владения приемами и технологиями целеполагания, оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач
ОПК-1	У2 (ОПК-1) планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований	Отсутствие умений планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований	Сформированные умения планировать научные исследования, анализировать получаемые результаты и формулировать выводы по итогам научных исследований
ОПК-2	З3 (ОПК-2) тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности	Отсутствие знаний о тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности	Сформированные знания о тенденции развития соответствующей научной области и области профессиональной деятельности

## **Требования к структуре и содержанию оценочных средств.**

Требования к порядку проведения экзамена в виде письменной работы

Экзамен проводится в форме письменной работы с последующим собеседованием. Письменная работа выполняется по билетам, в билете 2 вопроса. Время выполнения письменной работы 30 минут. Собеседование проводится комиссией по приему кандидатского экзамена по темам билета. Аспиранту могут быть заданы дополнительные вопросы в рамках изученного курса.

### **Критерии выставления оценки:**

Знания, умения и навыки обучающихся при промежуточном контроле в форме экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «неудовлетворительно» ставится аспиранту, который в ходе выполнения письменного экзаменационного задания и прохождения устного собеседования с преподавателем по вопросам экзаменационного билета демонстрирует незнание значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет задания и задачи по дисциплине.

Минимальная положительная оценка «удовлетворительно» ставится аспиранту, выполнившему письменное экзаменационное задание и прошедшему устное собеседование с преподавателем по вопросам экзаменационного билета, если он в результате собеседования по вопросам экзаменационного билета демонстрирует усвоение только основного материала, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении заданий по дисциплине.

Оценка «хорошо» ставится аспиранту, успешно выполнившему письменное экзаменационное задание и прошедшему устное собеседование с преподавателем, если он в результате собеседования по вопросам экзаменационного билета демонстрирует твердое знание программного материала, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении заданий по дисциплине.

Оценка «отлично» ставится аспиранту, успешно выполнившему письменное экзаменационное задание и прошедшему устное собеседование с преподавателем, если он в результате собеседования по вопросам экзаменационного билета демонстрирует глубокое и прочное усвоение всего программного материала, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами и заданиями, правильно обосновывает принятые решения, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.

### **Список вопросов к экзамену:**

1. Напряженно-деформированное состояние сплошного тела.
2. Идеальное упругоэластическое и жесткопластическое тело.
3. Преобразование компонент тензора деформаций и напряжений к новым осям.

4. Анализ напряжений и деформаций в пространственном случае. Определение главных напряжений и деформаций.
5. Ортотропное и трансверсально-изотропное твердое тело.
6. Инварианты тензора напряжений и тензора деформаций.
7. Критерии прочности.
8. Обобщенный закон Гука.
9. Плоское напряженное состояние и плоская деформация.
10. Уравнение совместности.
11. Уравнение равновесия.
12. Уравнения Бельтрами-Митчелла в перемещениях.
13. Энергия деформации.
14. Вариационные принципы теории упругости.
15. Теорема Кастильяно.
16. Задача Эшелби.
17. Двумерные задачи в прямоугольных координатах. Изгиб балки.
18. Двумерные задачи в полярных координатах. Нагруженная пластина с круговым отверстием (задача Кирша).
19. Двумерные задачи в криволинейных координатах. Нагруженная пластина с эллиптическим отверстием.
20. Трехмерные задачи теории упругости. Нагруженный толстостенный полый цилиндр (задача Ламе).
21. Контактные задачи теории упругости. Деформация в точке (задача Герца).
22. Кручение прямолинейных стержней.
23. Изгиб брусьев.
24. Температурные напряжения и деформации.
25. Распространение волн в упругой сплошной среде.