

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

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

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМОУПРУГОСТЬ**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность  
01.05.01 Фундаментальные математика и механика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная механика и приложения

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород  
2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина к части, формируемой участниками образовательных отношений.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.03, «Теплопроводность и термоупругость» относится к части ООП специальность 01.05.01 Фундаментальные математика и механика формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
<b>ПК-6.</b> Владение навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	<b>ПК-6.1.</b> Умеет самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его.	<b>Умения</b> самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его для анализа конструкций при воздействии температурных полей.	<i>Собеседование</i> <i>Собеседование, расчетно-графическая работа</i>
	<b>ПК-6.2.</b> Владеет навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	<b>Владения навыками</b> решения практических задач, анализа результатов решения поведения конструкций при воздействии температурных полей	<i>Собеседование, расчетно-графическая работа</i>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 з.е.</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
<b>Контроль самостоятельной работы (КСР)</b>	2
<b>самостоятельная работа</b>	38
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	36

### 3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР <sup>1</sup> , часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		ЗЛеТ <sup>2</sup>	ЗСеТ <sup>3</sup>	ЗЛаТ <sup>4</sup>	Всего	
1. Введение. Постановка задачи термоупругости	8	2	2		4	4
2. Плоские задачи термоупругости	8	2	2		4	4
3. Энергетические теоремы и соотношения в термоупругости	8	2	2		4	4
4. Температурные напряжения в стержневых конструкциях	8	2	2		4	4
5. Постановка задачи теплопроводности	8	2	2		4	4
6. Исследование задач теплопроводности и температурных полей.	8	2	2		4	4
7. Нестационарная теплопроводность.	8	2	2		4	4
8. Вариационная постановка задачи теплопроводности. Метод конечных элементов для задач теплопроводности и термоупругости	14	2	2		4	10
В т.ч. текущий контроль	2				2	
Промежуточная Аттестация	36					
Итого	108	16	16		34	38
<sup>1</sup> Самостоятельная работа обучающегося.						
<sup>2</sup> Занятия лекционного типа.						
<sup>3</sup> Занятия семинарского типа.						
<sup>4</sup> Занятия лабораторного типа.						

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: решения практических задач, анализа результатов решения поведения конструкций при воздействии температурных полей.
- компетенций – ПК-6.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамен).

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (экзамен).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

*Фонд оценочных средств включает* контрольные вопросы и материалы для проведения текущего контроля в форме расчетно-графических работ, собеседования и промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к экзамену.

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		<u>Знания</u>	<u>Умения</u>	<u>Навыки</u>
<b>плохо</b>	<b>не зачтено</b>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
<b>неудовлетворительно</b>		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
<b>удовлетворительно</b>	<b>зачтено</b>	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
<b>хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
<b>очень хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>отлично</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>превосходно</b>		Уровень знаний в объеме, превышающем	Продemonстрированы все основные умения.	Продemonстрирован творческий подход к

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	Знания	Умения	Навыки
	программу подготовки.	Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

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

5.2.1. Варианты заданий расчетно-графической работы представлены в приложении 1. Задача каждого варианта относится к разделу 4

### 5.2.2. Вопросы для текущего контроля

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Постановка задачи термоупругости. Общий случай	ПК-6
2. Причины возникновения температурных напряжений.	ПК-6
3. Разделение напряжений, обусловленных температурой и внешними нагрузками.	ПК-6
4. Формулировка в перемещениях. Аналогия С.П.Тимошенко.	ПК-6
5. Формулировка в напряжениях.	ПК-6
6. Задачи, в которых напряжения равны нулю. Задачи, в которых перемещения равны нулю.	ПК-6
7. Плоская деформация в термоупругости.	ПК-6

8. Граничных условиях на свободных торцах для случая плоской деформации.	ПК-6
9. Плоское напряженное состояние в термоупругости.	ПК-6
10. Двумерные задачи, в которых напряжения в плоскости равны нулю.	ПК-6
11. Изгиб бесконечной полосы (пластинки) с температурным полем, изменяющимся по высоте. Температурная сила и температурный момент.	ПК-6
12. Задача о температурном деформировании кольца (бесконечного цилиндра) при радиальном изменении температуры.	ПК-6
13. Потенциальная энергия деформации и дополнительная энергия в задаче термоупругости.	ПК-6
14. Основное энергетическое тождество.	ПК-6
15. Принцип стационарности дополнительной энергии (принцип Кастильяно).	ПК-6
16. Принцип виртуальной работы и принцип стационарности полной потенциальной энергии(принцип Лагранжа).	ПК-6
17. Теорема взаимности в термоупругости.	ПК-6
18. Примеры применения теоремы взаимности: изменение объема тела, изменение объема полосы, удлинение стержня, взаимный поворот концевых сечений, прогиб консоли, взаимное закручивание концевых сечений.	ПК-6
19. Напряженно-деформированное состояние в свободных балках при действии температуры.	ПК-6
20. Напряженно-деформированное состояние в несвободных балках при действии температуры.	ПК-6
21. Особенности расчета статически определимых стержневых систем.	ПК-6
22. Определение перемещений элементов стержневых систем с помощью интеграла Мора.	ПК-6
23. Особенности расчета статически неопределимых стержневых систем. Метод сил. Метод перемещений.	ПК-6
24. Теория температурного изгиба пластин. Модель Кирхгофа -Лява.	ПК-6
25. Метод конечных элементов для задачи термоупругости.	ПК-6
26. Связная и несвязная задачи термоупругости.	ПК-6
27. Постановка задачи теплопроводности.	ПК-6
28. Способы теплообмена.	ПК-6
29. Уравнение теплопроводности Фурье.	ПК-6
30. Начальные и граничные условия.	ПК-6
31. Размерность коэффициентов уравнения теплопроводности.	ПК-6
32. Безразмерная форма уравнений теплопроводности. Число Био и число Фурье.	ПК-6
33. Температурное поле в многослойной стенке. Аналогия теплового и электрического сопротивлений.	ПК-6
34. Стационарное поле температуры в цилиндре, зависящее только от радиуса.	ПК-6
35. Температурное поле в стенке при наличии тепловыделения.	ПК-6

36. Перенос тепла в ребрах (теплопроводность с конвекцией).	ПК-6
37. Температурные поля, изменяющиеся только во времени.	ПК-6
38. Нестационарная теплопроводность в полубесконечном теле. Различные условия на границе.	ПК-6
39. Построение вариационной постановки задачи теплопроводности методом Галеркина.	ПК-6
40. Метод конечных элементов для задач теплопроводности	ПК-6

### 5.2.3. Вопросы к экзамену

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Основные предположения. Соотношения Дюамеля-Неймана. Постановка задачи термоупругости. Причины возникновения температурных напряжений. Разделение напряжений, обусловленных температурой и внешними нагрузками и связями. Формулировка в перемещениях, аналогия С.П. Тимошенко. Постановка в напряжениях. 3d задачи, в которых напряжения равны нулю. 3d задачи, в которых перемещения равны нулю.	ПК-6
2. Плоские задачи термоупругости. Плоская деформация, условия на распределение температуры при плоской деформации. О граничных условиях на торцах. Формулировка в перемещениях. Формулировка в напряжениях, функция Эри. Плоское напряженное состояние. 2d задачи, в которых напряжения в плоскости равны нулю. Длинная прямоугольная пластина (балка) с изменением температуры только по высоте, различные случаи распределения температуры (линейный, квадратичный, кубический). Задача о деформировании кольца (цилиндра) при радиальном распределении температуры.	ПК-6
3. Энергетические теоремы в термоупругости. Энергия деформации и дополнительная энергия. Основное энергетическое тождество. Вариационное уравнение Кастильяно и принцип стационарности дополнительной энергии. Начало дополнительной работы. Вариационное уравнение Лагранжа и принцип стационарности полной потенциальной энергии. Теорема взаимности в термоупругости и ее применение: изменение объема тела, изменение объема полости, удлинение, взаимный поворот концевых сечений, прогиб консоли, взаимное закручивание концевых сечений.	ПК-6
4. Температурные напряжения в свободных и несвободных балках. Расчет статически определимых структур, определение перемещений с помощью интеграла Мора. Расчет статически неопределимых структур. Модификация методов сил и перемещений для случая термоупругости.	ПК-6
5. Способы теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение. Закон Фурье, уравнение теплопроводности Фурье, начальные и граничные условия, размерность и безразмерный вид, числа Био и Фурье.	ПК-6
6. Исследование температурных полей. Распределение температуры в прямоугольной стенке в декартовой системе координат, аналогия с законом Ома, распределение температуры в двухслойной (многослойной) стенке. Теплообмен в трубах. Температура в стенке при наличии тепловыделения.	ПК-6
7. Теплообмен в ребрах, различные условия на торце, коэффициент интенсивности ребра.	ПК-6

8. Нестационарные задачи теплообмена. Системы с пренебрежимо малым внутренним тепловым сопротивлением. Температурные поля в полубесконечном теле при различных граничных условиях.	ПК-6
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений, М.: Мир, 1964. (3 экз)
2. <https://ru.b-ok.org/book/2394417/78c0c6>
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979.  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/TimoshenkoGuder1975ru.djvu>
4. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979.  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Segerlind1979ru.djvu>
5. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. М.: Мир, 1983. (1 экз)  
<https://b-ok.org/book/477965/36d02e>

### б) дополнительная литература:

1. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости.  
<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Novackij1970ru.djvu>

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

(в соответствии с содержанием дисциплины)

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/difgeometry.htm>

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.05.01  
Фундаментальные математика и механика.

Автор к.т.н., доцент Жидков А.В.

Заведующий кафедрой  
теоретической,  
компьютерной и  
экспериментальной  
механики

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.