

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

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Теплопроводность и термоупругость

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

01.05.01 - Фундаментальные математика и механика

Направленность образовательной программы

Фундаментальная механика и приложения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Теплопроводность и термоупругость относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-6: Владение навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	ПК-6.1: Умеет самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его ПК-6.2: Владеет навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	ПК-6.1: Умения самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его для анализа конструкций при воздействии температурных полей ПК-6.2: Владения навыками решения практических задач, анализа результатов решения поведения конструкций при воздействии температурных полей	Расчетно-графическая работа Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы Задания

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация	36

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
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
Аттестация	36				
КСР	2				2
Итого	108	16	16	34	38

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Постановка задачи термоупругости
2. Плоские задачи термоупругости
3. Энергетические теоремы и соотношения в термоупругости
4. Температурные напряжения в стержневых конструкциях
5. Постановка задачи теплопроводности
6. Исследование задач теплопроводности и температурных полей.
7. Нестационарная теплопроводность.
8. Вариационная постановка задачи теплопроводности. Метод конечных элементов для задач теплопроводности и термоупругости

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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).

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

Статически определяемая рама состоит из трех звеньев длиной L_1 , L_2 и L_3 . Рама жестко закреплена в одном из узлов (1 или 4). Материал стержней характеризуется величинами E , α . Сечение имеет прямоугольную форму. Геометрические характеристики сечения A , J , H (Площадь, момент инерции и высота профиля). В узловых точках заданы температуры внутреннего и наружного контура и k , где k обозначает номер точки (от 1 до 4), i — точка внутреннего, o — точка наружного контура. Распределение температуры по высоте и длине стержня считается линейным.

Задания для оценки компетенций.

Определить среднюю по сечению температуру и наклон в сечениях, соответствующих узловым точкам.

Определить температурные силы и моменты.

С помощью интегралов Мора и правила Верещагина определить температурные перемещения точек 1-4.

Определить значения внутренних усилий (нормальных и перерезывающих), моментов и напряжений.

Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическая работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

1. Примеры научных и технических приложений, в которых возникают задачи ТyТп
2. Основные предположения тy.
3. Температурные деформации

4. Представление полных деформаций
5. Соотношения Дюамеля-Неймана.
6. Постановка задачи термоупругости.
7. Причины возникновения температурных напряжений.
8. Причины возникновения температурных напряжений в терминах уравнений т.у.
9. При каких распределениях температуры температурные деформации удовлетворяют уравнениям Сен-Венана
10. Аналогия С.П. Тимошенко.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три несущественные ошибки, исправленные по требованию преподавателя
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При решении	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонс	Продемонстр

	минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	трированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	трированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	трированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-6

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.
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.
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.
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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

Оценка	Критерии оценивания
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-6

1. Температурное расширение свободного тела: задано поле температур в виде линейной функции $T=a+bx+cy+dz$. Найти поле перемещений. Определить напряжения
2. Изменение объема тела: в кубе с ребром 1 см задано поле температур в виде линейной функции $T=a+bx+cy+dz$. Найти объема тела.
3. Изменение длины стержня: стальной стержень длиной L нагрет на температуры, задаваемую законом $T=ax^2+bx+c$. Определить удлинение стержня. Начало координат связано с левым концом стержня.
4. Определить для напряжений в свободной балке при действии температурной нагрузки, если температура по высоте изменяется :
 - по линейному закону;
 - по квадратичному закону;
 - по кубическому закону.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки

Оценка	Критерии оценивания
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Боли Бруно А. Теория температурных напряжений / пер. с англ. Ж. С. Сисляна и Б. Ф. Шорра ; под ред. Э. И. Григолюка. - М. : Мир, 1964. - 517 с. : черт. - 2.83., 2 экз.
2. Тимошенко Степан Прокофьевич. Теория упругости / пер. с англ. М. И. Рейтмана ; под ред. Г. С. Шапиро. - 2-е изд. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. - 560 с. : ил. - 2.70., 2 экз.
3. Сегерлинд Ларри Дж. Применение метода конечных элементов / пер. с англ. А. А. Шестакова ; под ред. Б. Е. Победри. - М. : Мир, 1979. - 392 с. : ил. - 1.80., 2 экз.
4. Крейт Фрэнк. Основы теплопередачи : пер. с англ. / под ред. Н. А. Анфимова. - М. : Мир, 1983. - 512 с. : ил. - 3.70., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Новацкий Витольд. Динамические задачи термоупругости / пер. с пол. Я. Рыхлевского ; под ред. Г. С. Шапиро. - М. : Мир, 1970. - 256 с. : черт. - 1.40., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

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

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: 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 по специальности 01.05.01 - Фундаментальные математика и механика.

Автор(ы): Жидков Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.