Приложение
к Рабочей программе дисциплины

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)

Кафедра теоретической, компьютерной и экспериментальной механики
(наименование кафедры)

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

ФОНД
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Теплопроводность и термоупругость
(наименование дисциплины)

01.03.03 Механика и математическое моделирование
(код и наименование направления подготовки)

Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг
(наименование профиля подготовки, направленности программы)

2023

Цель фонда оценочных средств. Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Теплопроводность и термоупругость». Перечень видов оценочных средств соответствует Рабочей программе дисциплины.

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 зачету.

1. 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****	
ПК-9. Умение использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование	**ПК-9.1. Знает** теоретические основы физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике.	**Знать** теоретические основы физического и компьютерного моделирования, аналитические и численные методы для исследования конструкций при воздействии температурных полей	*Собеседование*
	ПК-9.2. Умеет использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование для решения задач механики на основе полученных теоретических знаний.	**Уметь** использовать физические и компьютерные модели объектов сред, тел и конструкций для анализа при воздействии температурных полей.	*Собеседование, расчетно-графическая работа*
	ПК-9.3. Имеет практический опыт использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики	**Владеть** навыками использования физических и компьютерных моделей для исследования поведения конструкций при воздействии температурных полей	*Собеседование, расчетно-графическая работа*

2. Перечень контрольных заданий и иных материалов, необходимых для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности

2.1. Вопросы к зачёту по дисциплине

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-9*
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 случаю	*ПК-9*

	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.	*ПК-9*
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-9*
5.	Способы теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение. Закон Фурье, уравнение теплопроводности Фурье, начальные и граничные условия, размерность и безразмерный вид, числа Био и Фурье.	*ПК-9*
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-9*
7.	Теплообмен в ребрах, различные условия на торце, коэффициент интенсивности ребра.	*ПК-9*
8.	Нестационарные задачи теплообмена. Системы с пренебрежимо малым внутренним тепловым сопротивлением. Температурные поля в полубесконечном теле при различных граничных условиях.	*ПК-9*

2.2. Типовые задания для <u>текущего</u> контроля успеваемости

2.2.1. Задания для оценки компетенции «ПК-9»:

Расчетно-графическая работа «Определение температурных перемещений статически определимой плоской рамы»

3.

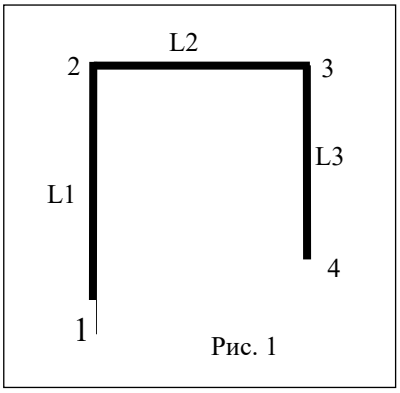

Рис. 1

Статически определимая рама (рис. 1) состоит из трех звеньев длиной L1, L2 и L3. 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 T_k^i и T_k^o, 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 (ПК-3)

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 .

Варианты заданий приведены в таблице.

Вариант	Узел заделки	L1	L2	L3	T_1^i	T_2^i	T_3^i	T_4^i	T_1^o	T_2^o	T_3^o	T_4^o
		м			°C							
1	1	1	1	1	200	100	100	200	100	50	100	150
2	4	2	2	2	50	0	50	100	0	100	100	100
3	1	2	1	2	200	0	100	200	50	200	150	50
4	4	1	2	2	0	200	200	100	150	150	50	50
5	4	1	1	1	100	100	50	100	0	50	150	100
6	1	1	2	1	150	100	200	100	100	100	200	150
7	4	1	2	1	200	100	0	0	50	0	150	100
8	1	2	2	1	150	50	0	50	200	100	150	50
9	4	2	1	2	50	0	0	0	100	50	0	50
10	4	2	1	2	100	200	50	50	100	150	150	200
11	1	2	1	2	100	100	50	0	150	200	150	0
12	1	2	2	2	50	200	50	150	50	200	150	200
13	1	2	2	1	150	200	50	150	50	0	200	100
14	4	2	2	1	0	100	0	200	200	0	150	50
15	4	2	1	1	0	100	200	200	200	0	200	50
16	1	1	1	2	50	150	0	150	50	50	50	0

2.3.2. Вопросы для собеседования

Вопрос	*Код формируемой компетенции*
1. Примеры научных и технических приложений, в которых возникают задачи ТуТп	*ПК-9*
2. Основные предположения ту.	*ПК-9*
3. Температурные деформации	*ПК-9*
4. Представление полных деформаций	*ПК-9*
5. Соотношения Дюамеля-Неймана.	*ПК-9*
6. Постановка задачи термоупругости.	*ПК-9*
7. Причины возникновения температурных напряжений.	*ПК-9*
8. Причины возникновения температурных напряжений в терминах уравнений ту.	*ПК-9*
9. При каких распределениях температуры температурные деформации удовлетворяют уравнениям Сен-Венана	*ПК-9*
10. Аналогия С.П. Тимошенко.	*ПК-9*
11. 3d задачи, в которых напряжения равны нулю.	*ПК-9*
12. 3d задачи, в которых перемещения равны нулю.	*ПК-9*
13. Граничные условия на торцах длинных призматических тел, отличные от условий плоской деформации.	*ПК-9*
14. 2d задачи, в которых напряжения в плоскости равны нулю.	*ПК-9*
15. Применение теоремы взаимности в термоупругости: изменение объема тела, изменение объема полости, удлинение, взаимный поворот концевых сечений, прогиб консоли, взаимное закручивание концевых сечений.	*ПК-9*
16. Теплопроводность в твердом теле	*ПК-9*
17. Конвекция естественная и вынужденная	*ПК-9*
18. Излучение.	*ПК-9*
19. Закон Фурье.	*ПК-9*
20. Коэффициент теплопроводности	*ПК-9*
21. Распределение температуры в однослойной стенке в декартовой системе координат	*ПК-9*
22. аналогия с законом Ома, распределение температуры в двухслойной (многослойной) стенке	*ПК-9*
23. кондуктивное и конвективное сопротивление	*ПК-9*
24. Температура в стенке при наличии тепловыделения.	*ПК-9*

25. Теплообмен в ребрах, различные условия на торце, коэффициент интенсивности ребра.	*ПК-9*
26. Нестационарные задачи теплообмена: Системы с пренебрежимо малым внутренним тепловым сопротивлением.	*ПК-9*
27. Нестационарные задачи теплообмена: Температурные поля в полубесконечном теле при различных граничных условиях (изотермическое условие – 1 рода, условие конвекции – 3 рода).	*ПК-9*
28. Разделение напряжений, обусловленных температурой и внешними нагрузками и связями.	*ПК-9*
29. Формулировка в перемещениях	*ПК-9*
30. Постановка в напряжениях.	*ПК-9*
31. Плоские задачи термоупругости.	*ПК-9*
32. Плоская деформация,	*ПК-9*
33. условия на распределение температуры при плоской деформации.	*ПК-9*
34. Формулировка задачи о плоской деформации в перемещениях.	*ПК-9*
35. Формулировка задачи о плоской деформации в напряжениях, функция Эри.	*ПК-9*
36. Плоское напряженное состояние.	*ПК-9*
37. Длинная прямоугольная пластина (балка) с изменением температуры только по высоте. Постановка задачи.	*ПК-9*
38. Длинная прямоугольная пластина (балка) с изменением температуры только по высоте. Выражение для напряжений и деформаций.	*ПК-9*
39. Длинная прямоугольная пластина (балка) с изменением температуры только по высоте. Выражение для перемещений.	*ПК-9*
40. Различные случаю распределения температуры (линейный квадратичный, кубический).	*ПК-9*
41. Задача о деформировании кольца (цилиндра) при радиальном распределении температуры. Как изменится диаметр отверстия при постоянном нагреве.	*ПК-9*
42. Энергетические теоремы в термоупругости.	*ПК-9*
43. Энергия деформации и дополнительная энергия.	*ПК-9*
44. Основное энергетическое тождество.	*ПК-9*
45. Вариационное уравнение Кастильяно и принцип стационарности дополнительной энергии.	*ПК-9*
46. Начало дополнительной работы. Вариационное уравнение Лагранжа и принцип стационарности полной потенциальной энергии.	*ПК-9*
47. 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-9*
48. Температурные напряжения в свободных и несвободных балках.	*ПК-9*
49. Расчет статически определимых структур.	*ПК-9*
50. Расчет статически неопределимых структур. Модификация методов сил и перемещений для случая термоупругости.	*ПК-9*
51. уравнение теплопроводности Фурье	*ПК-9*
52. Возможные упрощения уравнения теплопроводности	*ПК-9*
53. уравнение температуропроводности	*ПК-9*
54. начальные условия уравнения Фурье.	*ПК-9*
55. граничные условия I рода	*ПК-9*
56. граничные условия II рода	*ПК-9*
57. граничные условия III рода	*ПК-9*
58. контактные условия, идеальный контакт	*ПК-9*
59. контактные условия, неидеальный контакт	*ПК-9*
60. анализ размерности уравнения теплопроводности и граничных условий	*ПК-9*
61. безразмерный вид уравнения теплопроводности и граничных условий	*ПК-9*
62. число Био, физический смысл.	*ПК-9*
63. МКЭ для решения задач термоупругости. Вектор эквивалентных узловых сил от температурных деформаций.	*ПК-9*
64. Вектор эквивалентных узловых сил от температурных деформаций для элемента балки и рамы.	*ПК-9*

65. Вектор эквивалентных узловых сил от температурных деформаций для 2d элемента сплошной среды.	*ПК-9*
66. МКЭ для решения задач теплопроводности. Вывод вариационного уравнения методом Галеркина	*ПК-9*
67. МКЭ для решения задач теплопроводности. Построение плоского треугольного и четырехугольного КЭ сплошной среды	*ПК-9*
68. МКЭ для решения задач теплопроводности. Неявная разностная схема для решения нестационарных задач теплопроводности	*ПК-9*

2.4.1. Задания (оценочные средства), выносимые на зачет

Задания для оценки компетенции «ПК-9»

1. Температурное расширение свободного тела: задано поле температур в виде линейной функции $T = a + bx + cy + dz$. Найти поле перемещений. Определить напряжения

Варианты заданий

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.

Варианты заданий

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.

Варианты заданий

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.
5. Задан шар. Модуль упругости E, коэффициент Пуассона v, коэффициент теплового расширения α. Температура шара T_0. Точки границы жестко закреплены. Определить напряжения в материале шара.
6. Стержень длиной L с площадью сечения A нагрет на температуру, задаваемую формулой $T= T_0*(1+x/L)$. Распределение температуры по сечению однородно. Определить удлинение стержня, если механические характеристики материала стержня E, v, α.
7. Определить распределение температуры в прямоугольной стенке, если на одной стороне задана температура, а на другой – тепловой поток.
8. Определить поток тепло через двухслойную прямоугольную стенку
9. Задана двухслойная стенка, левый слой имеет коэффициент теплопроводности k1, правый - k2, причем k1>>k2. Температура левой внешней границы 0°C, правой внешней границы 100°C. Чему приближенно равна температура внутренней границы.
10. Задана двухслойная стенка, левый слой имеет коэффициент теплопроводности k1, правый - k2, причем k1<<k2. Температура левой внешней границы 0°C, правой внешней границы 100°C. Чему приближенно равна температура внутренней границы.
11. Определить поток тепло через многослойную цилиндрическую стенку
12. Определить поток тепла, снимаемый с ребра

компетенции «ПК-9»

1. Записать принцип Лагранжа для случая термоупругости
2. Записать уравнение Фурье для случая, когда коэффициенты теплопроводности зависят от температуры
3. Вектор эквивалентных узловых сил от температурных воздействий можно определить через начальные (температурные) деформации, с другой стороны, модно воспользоваться аналогией Тимошенко и определить вектор эквивалентных узловых сил через фик-

тивные объемные и поверхностные силы. Требуется показать, что оба способа приводят к одному и тому же результату.

4. Записать вариационную постановку задачи теплопроводности
5. Записать вектор эквивалентных узловых сил от температурных деформаций для 2d кэ сплошной среды
6. Записать вектор эквивалентных узловых сил от температурных деформаций для 2d кэ для кэ плоской балки по модели Кирхгоффа-Бернулли

Составитель: Н.В.Леонтьев