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  «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_ |

**Рабочая программа дисциплины**

|  |
| --- |
| ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМОУПРУГОСТЬ |

*(наименование дисциплины (модуля))*

Уровень высшего образования

|  |
| --- |
| бакалавриат |

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

|  |
| --- |
| 01.03.03 Механика и математическое моделирование |

*(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)*

Направленность образовательной программы

|  |
| --- |
| Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг |

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения

|  |
| --- |
| очная |

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижний Новгород

 2021 год

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ И ТЕРМОУПРУГОСТЬ» относится к дисциплинам по выбору 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.ДВ.03.01., «Теплопроводность и термоупругость» относится к части ООП направления подготовки 01.03.03 Механика и математическое моделирование, формируемой участниками образовательных отношений. |

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-1**. Владеет методами математического и экспериментального исследования при анализе проблем механики на основе знаний фундаментальных физико-математических и компьютерных наук и навыками проблемно-задачной формы представления научных знаний | **ПК-1.1**. **Знает** теоретические основы фундаментальных методов исследования проблем механики. | **Знает** специализированные разделы механики деформируемого твердого тела и теории теплопроводности, необходимые при разработке моделей поведения конструкций при воздействии температурных полей. | *Собеседование* |
| **ПК-1.2**.  **Умеет** применять полученные знания для анализа объекта исследования, определения целей и задач исследования, а также выбора корректного метода исследования научной проблемы. | **Умеет** применять полученные знания для анализа конструкций при воздействии температурных полей. | *Собеседование, расчетно-графическая работа* |
| **ПК-1.3**.  **Владеет навыками** научно-исследовательской деятельности в области механики, а именно решения научных задач в соответствии с поставленной целью и выбранной методикой. | **Владеет навыками** разработки математических моделей поведения конструкций при воздействии температурных полей | *Собеседование, расчетно-графическая работа* |
| **ПК-3**. Умеет разрабатывать, исследовать, применять математические модели для расчётов, проводить расчётно-экспериментальные работы и исследования, обработку результатов, оформление отчётной документации | **ПК-3.1**. **Знает** классические модели механики, методы решения задач, современные программные комплексы для проведения расчётных исследований, методы проведения, обработки и анализа результатов экспериментальных исследований.*.* | **Знает** классические и современные модели механики, аналитические и численные методы для исследования конструкций при воздействии температурных полей | *собеседование* |
| **ПК-3.2**.  **Умеет** проводить расчётно-экспериментальные исследования, выбирать и применять современные программные комплексы, получать, обрабатывать и анализировать результаты исследований. | **Умеет** применять современные аналитические и численные методы для исследования моделей поведения конструкций при воздействии температурных полей. | *Собеседование, расчетно-графическая работа* |
| **ПК-3.3**.  **Владеет навыками** применения математического моделирования и расчётно-экспериментальных исследований. | **Владеет навыками** применения математического моделирования и программных средств для численных исследований конструкций с учетом температурных полей. | *Собеседование, расчетно-графическая работа* |

1. **Структура и содержание дисциплины**
   1. **Трудоемкость дисциплины**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **очная форма обучения** |
| **Общая трудоемкость** | **2  з.е.** |
| **Часов по учебному плану** | **72** |
| **в том числе** |  |
| **аудиторные занятия (контактная работа):** |  |
| **- занятия лекционного типа** | **16** |
| **- занятия семинарского типа** | **16** |
| **Контроль самостоятельной работы (КСР)** | **1** |
| **самостоятельная работа** | **39** |
| **Промежуточная аттестация –** | **зачет** |

* 1. **Содержание дисциплины**

| **Очная форма обучения** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание  разделов и тем дисциплины** | **Всего (часы)** | в том числе | | | | |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | **СР**1**, часы** |
| **ЗЛеТ**2 | **ЗСеТ**3 | **ЗЛаТ**4 | **Всего** |
| 1. Введение. Постановка задачи термоупругости | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| 1. Плоские задачи термоупругости | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| 1. Энергетические теоремы и соотношения в термоупругости | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| 1. Температурные напряжения в стержневых конструкциях | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| 1. Постановка задачи теплопроводности | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| 1. Исследование задач теплопроводности и температурных полей. | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| 1. Нестационарная теплопроводность. | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| 1. Вариационная постановка задачи теплопроводности. Метод конечных элементов для задач теплопроводности и термоупругости | 15 | 2 | 2 |  | 4 | 11 |
| В т.ч. текущий контроль | 1 |  | 1 |  |  |  |
| 1**Самостоятельная работа обучающегося.**  2**Занятия лекционного типа.**  3**Занятия семинарского типа.**  4**Занятия лабораторного типа.** | | | | | | |

Текущий контроль успеваемости проходит в рамках занятий семинарского (практического) типа, групповых или индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на зачете.

1. **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 (зачет).

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

1. **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 зачету.

.

* 1. **Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

| **Шкала оценивания сформированности компетенций** | | **Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)** | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Знания | Умения | Навыки |
| **плохо** | **не зачтено** | 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 |
| **неудовлетворительно** | 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. |
| **удовлетворительно** | **зачтено** | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. | Продемонстрированы 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 |
| **хорошо** | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами. |
| **очень хорошо** | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. |
| **отлично** | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. |
| **превосходно** | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полномобъеме без недочетов | Продемонстрирован творческий подход к 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» |
| незачтено | 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» |

* 1. **Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения**
     1. Варианты заданий расчетно-графической работы представлены в приложении 1. Задача каждого варианта относится к разделу 4
     2. **Вопросы для текущего контроля**

|  |  |
| --- | --- |
| *Вопросы* | *Код формируемой компетенции* |
| 1. Постановка задачи термоупругости. Общий случай | *ПК-1* |
| 1. Причины возникновения температурных напряжений. | *ПК-1* |
| 1. Разделение напряжений, обусловленных температурой и внешними нагрузками. | *ПК-1* |
| 1. Формулировка в перемещениях. Аналогия С.П.Тимошенко. | *ПК-1* |
| 1. Формулировка в напряжениях. | *ПК-1* |
| 1. Задачи, в которых напряжения равны нулю. Задачи, в которых перемещения равны нулю. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Плоская деформация в термоупругости. | *ПК-1* |
| 1. Граничных условиях на свободных торцах для случая плоской деформации. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Плоское напряженное состояние в термоупругости. | *ПК-1* |
| 1. Двумерные задачи, в которых напряжения в плоскости равны нулю. | *ПК-1* |
| 1. Изгиб бесконечной полосы (пластинки) с температурным полем, изменяющимся по высоте. Температурная сила и температурный момент. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Задача о температурном деформировании кольца (бесконечного цилиндра) при радиальном изменении температуры. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Потенциальная энергия деформации и дополнительная энергия в задаче термоупругости. | *ПК-3* |
| 1. Основное энергетическое тождество. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Принцип стационарности дополнительной энергии (принцип Кастильяно). | *ПК-3* |
| 1. Принцип виртуальной работы и принцип стационарности полной потенциальной энергии(принцип Лагранжа). | *ПК-3* |
| 1. Теорема взаимности в термоупругости. | *ПК-1* |
| 1. Примеры применения теоремы взаимности: изменение объема тела, изменение объема полосы, удлинение стержня, взаимный поворот концевых сечений, прогиб консоли, взаимное закручивание концевых сечений. | *ПК-1* |
| 1. Напряженно-деформированное состояние в свободных балках при действии температуры. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Напряженно-деформированное состояние в несвободных балках при действии температуры. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Особенности расчета статически определимых стержневых систем. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Определение перемещений элементов стержневых систем с помощью интеграла Мора. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Особенности расчета статически неопределимых стержневых систем. Метод сил. Метод перемещений. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Теория температурного изгиба пластин. Модель Кирхгофа -Лява. | *ПК-1* |
| 1. Метод конечных элементов для задачи термоупругости. | *ПК-3* |
| 1. Связная и несвязная задачи термоупругости. | *ПК-1* |
| 1. Постановка задачи теплопроводности. | *ПК-1* |
| 1. Способы теплообмена. | *ПК-1* |
| 1. Уравнение теплопроводности Фурье. | *ПК-1* |
| 1. Начальные и граничные условия. | *ПК-1* |
| 1. Размерность коэффициентов уравнения теплопроводности. | *ПК-1* |
| 1. Безразмерная форма уравнений теплопроводности. Число Био и число Фурье. | *ПК-1* |
| 1. Температурное поле в многослойной стенке. Аналогия теплового и электрического сопротивлений. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Стационарное поле температуры в цилиндре, зависящее только от радиуса. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Температурное поле в стенке при наличии тепловыделения. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Перенос тепла в ребрах (теплопроводность с конвекцией). | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Температурные поля, изменяющиеся только во времени. | *ПК-, ПК-31* |
| 1. Нестационарная.теплопроводность в полубесконечном теле. Различные условия на границе. | *ПК-1* |
| 1. Построение вариационной постановки задачи теплопроводности методом Галеркина. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Метод конечных элементов для задач теплопроводности | *ПК-3* |

* + 1. **Вопросы к зачету**

|  |  |
| --- | --- |
| *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-1, ПК-3* |
| 1. 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 распределения температуры (линейный квадратичный, кубический). Задача о деформировании кольца (цилиндра) при радиальном распределении температуры. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. 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-1, ПК-3* |
| 1. 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-1, ПК-3* |
| 1. Способы теплообмена: теплопроводность, конвекция, излучение. Закон Фурье, уравнение теплопроводности Фурье, начальные и граничные условия, размерность и безразмерный вид, числа Био и Фурье. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. 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-1, ПК-3* |
| 1. Теплообмен в ребрах, различные условия на торце, коэффициент интенсивности ребра. | *ПК-1, ПК-3* |
| 1. Нестационарные задачи теплообмена. Системы с пренебрежимо малым внутренним тепловым сопротивлением. Температурные поля в полубесконечном теле при различных граничных условиях. | *ПК-1, ПК-3* |

1. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

| **№** | **а) основная литература:** | **К-во**[[1]](#footnote-1) |
| --- | --- | --- |
|  | Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений, М.: Мир, 1964. (3 экз)  <https://ru.b-ok.org/book/2394417/78c0c>6 | Э |
|  | Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/TimoshenkoGuder1975ru.djvu> | Э |
|  | Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Segerlind1979ru.djvu> | Э |
|  | Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. М.: Мир, 1983. (1 экз)  <https://b-ok.org/book/477965/36d02e> |  |

| **№** | **б) дополнительная литература:** | **К-во**1 |
| --- | --- | --- |
|  | .Новацкий В. Динамические задачи термоупругости.  <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Novackij1970ru.djvu> | Э |

| **№** | **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы  (в соответствии с содержанием дисциплины)** | **«Л» или «С»**[[2]](#footnote-2) |
| --- | --- | --- |
|  | <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/difgeometry.htm> | С |

1. **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 ФГОС ВО 01.03.03 Механика и математическое моделирование.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 24.02.2021 года, протокол № 5.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Автор(ы) |  | к.т.н., доцент  Жидков А.В. |
| Рецензент(ы) |  |  |
| Заведующий кафедрой  теоретической, компьютерной и экспериментальной механики |  | д.ф.-м.н., профессор  Игумнов Л.А. |

1. Указывается количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указывается буква «Э». [↑](#footnote-ref-1)
2. Указывается буква «Л», если программное обеспечение – лицензионное, или «С» – в свободном доступе. [↑](#footnote-ref-2)