

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**

Основы термодинамики и теплопередачи

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

01.03.03 - Механика и математическое моделирование

---

Направленность образовательной программы

Математическое моделирование и компьютерный инжиниринг

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Основы термодинамики и теплопередачи 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<br>(код, содержание компетенции)  | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции   |   | Наименование оценочного средства   |                               |
|---|---|---|------------------------------------|-------------------------------|
|   | Индикатор достижения компетенции<br>(код, содержание индикатора)  | Результаты обучения по дисциплине   | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации  |
| ПК-9: Умение использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел и конструкций, а также современное экспериментальное оборудование | <p>ПК-9.1: Знает теоретические основы физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике.</p> <p>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.</p> <p>ПК-9.3: Имеет практический опыт использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач механики.</p> | <p>ПК-9.1: Знать теоретические основы математического, физического и компьютерного моделирования, основы эксперимента в механике.</p> <p>ПК-9.2: Уметь использовать физические и компьютерные модели объектов и явлений реального мира, сред, тел.</p> <p>ПК-9.3: Владеть навыками использования физических и компьютерных моделей и экспериментального оборудования при решении стандартных задач термодинамики и теплопередачи.</p> | Задания                            | Зачёт:<br>Контрольные вопросы |

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
|                                 | <b>очная</b> |
| <b>Общая трудоемкость, з.е.</b> | <b>2</b>     |
| <b>Часов по учебному плану</b>  | <b>72</b>    |
| в том числе                     |              |

|  |                          |
|--|--------------------------|
| <b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>                           |                          |
| - занятия лекционного типа   | <b>16</b>                |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | <b>16</b>                |
| - КСР  | <b>1</b>                 |
| <b>самостоятельная работа</b>  | <b>39</b>                |
| <b>Промежуточная аттестация</b>  | <b>0</b><br><b>Зачёт</b> |

### 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<br>(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       |   |
|  | о<br>ф<br>о     | о<br>ф<br>о  | о<br>ф<br>о  | о<br>ф<br>о | о<br>ф<br>о                               |
| Введение                               | 4               | 2  |  | 2           | 2   |
| Основные понятия термодинамики         | 11              | 2  | 3  | 5           | 6   |
| Равновесная термодинамика              | 16              | 3  | 4  | 7           | 9   |
| Линейная неравновесная термодинамика   | 17              | 3  | 4  | 7           | 10  |
| Баланс энергии и теплообмен            | 19              | 4  | 5  | 9           | 10  |
| Обзор курса                            | 4               | 2  |  | 2           | 2   |
| Аттестация                             | 0               |  |  |             |   |
| КСР                                    | 1               |  |  | 1           |   |
| Итого                                  | 72              | 16   | 16   | 33          | 39  |

#### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Математическое моделирование, термодинамика, теплопроводность. Краткие исторические сведения.
2. Основные понятия термодинамики. Понятие термодинамических систем, их классификация. Понятие температуры и теплоты, состояния вещества. Энергия и первое начало термодинамики. Приложения первого начала термодинамики. Энтропия и второе начало термодинамики Энтропия в обратимых и необратимых процессах. Изменение энтропии вследствие фазовых переходов. Энтальпия идеального газа.
3. Равновесная термодинамика. Принципы экстремумов, общие термодинамические соотношения, термодинамические потенциалы. Основы термодинамики газов, жидкостей и твердых тел. Фазовые переходы. Термодинамика излучения.
4. Линейная неравновесная термодинамика. Локальное производство энтропии. Уравнение материального баланса. Уравнение баланса энтропии. Соотношения взаимности Онсагера и принцип

симметрии. Диффузия и термодиффузия. Теплопроводность в анизотропных твердых телах.

5. Баланс энергии и теплообмен. Интегральный закон сохранения энергии, внутренняя энергия, вектор потока тепла. Дифференциальное уравнение энергии. Частные случаи уравнения энергии.

Теплопередача посредством теплопроводности, конвекции, излучения и ее моделирование. Теплообмен при фазовых превращениях. Принципы теплового расчета теплообменных аппаратов.

6. Обзор курса. Подготовка к промежуточной аттестации.

#### **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 (зачет).

#### **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 - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-9:**

1. Пуля массой  $m$  [кг] со скоростью  $V$  [м/с] попадает в набитый шерстью пулеуловитель. Сколько калорий тепла выделится при этом?
2. Тепловой насос используется для поддержания температуры внутри дома на уровне  $20^{\circ}\text{C}$ , когда температура снаружи  $3^{\circ}\text{C}$ . Какова минимальная работа, которую необходимо затратить, чтобы передать 100 Дж теплоты внутрь дома?
3. Теплоемкость твердого тела равна  $C_p$ . Как изменится энтропия этого тела, если его нагреть с температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$ ?
4. Даны два больших тела, температуры которых  $T_1$  и  $T_2$ . Тела находятся в контакте друг с другом. Как изменится энтропия, если теплоперенос равен  $Q$ ?
5. Какое максимальное число фаз может находиться в равновесии в двухкомпонентной системе?
6. Определить число степеней свободы двухкомпонентной жидкой смеси, находящейся в равновесии со своим паром.
7. Показать, что теплоемкость при постоянном объеме для газа Ван дер Вальса совпадает с теплоемкостью при постоянном объеме идеального газа.
8. Вывести общее выражение для энтропии смешения двух неидеальных газов с равными молярными плотностями ( $N/V$ ) если число молей каждого газа равно  $N_1$  и  $N_2$  и они первоначально занимают объемы  $V_1$  и  $V_2$ .

## Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| 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 не существенные 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 не существенных ошибок                              | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.   | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.   |
| <u>Умения</u>  | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа              | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продемонстрированы 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-9

1. Первое начало термодинамики и его приложения.
2. Энтропия и второе начало термодинамики.
3. Энтропия в обратимых и необратимых процессах.
4. Энтальпия идеального газа.
5. Фазовые переходы. Энтальпия и энтропия в фазовых переходах.
6. Производство энтропии (на примерах).
7. Формулировки третьего начала термодинамики.
8. Уравнение энергии.
9. Уравнения материального баланса и баланса энтропии.

10. Соотношения взаимности Онсагера и принцип симметрии.

11. Теплообмен при фазовых превращениях.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| 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 не существенные 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.   |

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

Основная литература:

1. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 5. Статистическая физика, ч. 1 / под ред. Л. П. Питаевского. - 5-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2002. - 616 с. - ISBN 5-9221-0054-8 (т. 5). - ISBN 5-9221-0053-X : 180.40., 19 экз.
2. Кутателадзе Самсон Семенович. Основы теории теплообмена / АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т теплофизики. - Изд. 4-е, доп. - Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1970. - 659 с. : черт. - 3.43., 1 экз.
3. Исаченко Виктор Павлович. Теплопередача : [учеб. для энергет. вузов и фак.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергия, 1975. - 486 с. : с черт. - 1.58., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Гинзбург Иссак Павлович. Теория сопротивления и теплопередачи : учеб. пособие для мат.-мех. фак. ун-тов / Ленингр. гос. ун-т им. А. А. Жданова. - Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1970. - 375 с. : черт. - 0.98., 1 экз.
2. Себиси Тунсер. Конвективный теплообмен : физ. основы и вычисл. методы / пер. с англ. С. С. Чернова, В. А. Хохрякова ; под ред. У. Г. Пирумова. - М. : Мир, 1987. - 590 с. : ил. - 5.70., 2 экз.
3. Хачкурузов Георгий Акопович. Основы общей и химической термодинамики : [учеб. пособие для нехим. специальностей вузов]. - М. : Высшая школа, 1979. - 271 с. : ил. - 0.55., 1 экз.
4. Седов Леонид Иванович. Методы подобия и размерности в механике. - 9-е изд., перераб. - М. : Наука, 1981. - 447 с. : ил. - 2.60., 3 экз.
5. Лойцянский Лев Герасимович. Механика жидкости и газа : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Механика". - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. - 848 с. - 85.00., 11 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: 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 по направлению подготовки 01.03.03 - Механика и математическое моделирование.

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.