

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Техника и физика низких температур

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ**  
**ТЕХНИКИ**

|  |  |
|--|--|
| <b>Блок:</b>                             | Блок 1 «Дисциплины (модули)»   |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | Часть, формируемая участниками образовательных отношений               |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | Б1.Ч.08  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b> | 7 семестр - 4;<br>8 семестр - 4;<br>всего - 8                          |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | 288 часа   |
| <b>Лекции</b>                            | 7 семестр - 32 часа;<br>8 семестр - 14 часов;<br>всего - 46 часа       |
| <b>Практические занятия</b>              | 7 семестр - 32 часа;<br>8 семестр - 28 часа;<br>всего - 60 часов       |
| <b>Лабораторные работы</b>               | не предусмотрено учебным планом  |
| <b>Консультации</b>                      | 7 семестр - 2 часа;<br>8 семестр - 2 часа;<br>всего - 4 часа           |
| <b>Самостоятельная работа</b>            | 7 семестр - 77,5 часа;<br>8 семестр - 99,5 часа;<br>всего - 177,0 часа |
| <b>в том числе на КП/КР</b>              | не предусмотрено учебным планом  |
| <b>Иная контактная работа</b>            | проводится в рамках часов аудиторных занятий                           |
| <b>включая:</b>                          |  |
| <b>Проверочная работа</b>                |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>         |  |
| <b>Экзамен</b>                           | 7 семестр - 0,5 часа;  |
| <b>Экзамен</b>                           | 8 семестр - 0,5 часа;  |
|  | всего - 1,0 час  |

**Москва 2018**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Алексеев Т.А.                |
|  | Идентификатор                                      | Rb6b311cc-AlexeevTA-7434fce7 |

(подпись)

Т.А. Алексеев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Крюков А.П.                  |
|  | Идентификатор                                      | R9b81f956-KryukovAP-8dacf4ed |

(подпись)

А.П. Крюков

(расшифровка  
подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

|  |  |                           |
|--|--|---------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                           |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                           |
|  | Владелец   | Пузина Ю.Ю.               |
|  | Идентификатор                                      | Re86e9a56-Puzina-4d2acad1 |

(подпись)

Ю.Ю. Пузина

(расшифровка  
подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основ построения схем низкотемпературных установок и методик их расчета

### Задачи дисциплины

- освоение основных видов низкотемпературных установок, применяемых в промышленности;
- освоение основных сведений о физических принципах построения низкотемпературных установок;
- получение навыков работы с информационной базой, которая необходима для создания низкотемпературных установок;
- приобретение навыка принимать и обосновывать конкретные технические решения при последующем конструировании элементов низкотемпературных установок.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции  | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения   |
|---|---|---|
| ПК-2 Способен анализировать результаты расчетов процессов переноса, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования специального назначения | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Демонстрирует понимание основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов в элементах энергетических систем различного назначения | знать:<br>- основы получения сверхнизких температур;<br>- основные законы и описания физических и математических моделей различных аппаратов низкотемпературной техники.<br><br>уметь:<br>- формулировать и проводить оценочные расчеты параметров процессов в аппаратах низкотемпературной техники на примере компрессора;<br>- формулировать и проводить оценочные расчеты параметров процессов в аппаратах низкотемпературной техники на примере турбодетандера. |
| ПК-4 Способен к проектированию узлов экспериментальных и промышленных низкотемпературных установок  | ИД-1 <sub>ПК-4</sub> Знает основные понятия низкотемпературной техники, методы описания, владеет навыками расчета параметров установок  | знать:<br>- содержание и оформление основных технологических схем низкотемпературных установок;<br>- характеристики конкретных аппаратов в схемах низкотемпературных установок.<br><br>уметь:<br>- спроектировать технологическую схему под конкретную задачу специальности на примере компрессора и провести ее расчет;<br>- спроектировать технологическую схему под конкретную задачу  |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения                           |
|--------------------------------|--|---|
|                                |  | специальности на примере турбодетандера и провести ее расчет. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Техника и физика низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Основы дисциплин "Физика", "Термодинамика", "Тепломассообмен"

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 часа.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации  | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания   |
|-------|---|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|
|       |   |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |  |
|       |   |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |  |
| КПР   | ГК  | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |  |
| 1     | 2   | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15   |
| 1     | Термодинамические основы получение низких температур  | 108                   | 7       | 32   | -   | 32 | -            | - | -   | -  | -  | 44                | -                                 | <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Повторение материала по разделу "Термодинамические основы получение низких температур"</p> <p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b><br/>Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b><br/>Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Термодинамические основы получение низких температур" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b><br/>Изучение материала по разделу "Термодинамические основы получение низких температур" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу</p> |
| 1.1   | Применение основ статистической термодинамики к анализу характеристик процессов в низкотемпературных установках   | 16                    |         | 4  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 8                 | -                                 |  |
| 1.2   | Особенности низкотемпературных технических систем, их анализ, расчет и оптимизация на основе использования специальных разделов термодинамики и теплофизики | 8                     |         | 2  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 4                 | -                                 |  |
| 1.3   | Циклы установок преобразования энергии и термодинамический анализ эффективности процессов в них   | 16                    |         | 6  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 6                 | -                                 |  |
| 1.4   | Использование смесей  | 12                    |         | 4  | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 6                 | -                                 |  |
| 1.5   | Использование   | 16                    |         | 6  | -   | 4  | -            | - | -   | -  | -  | 6                 | -                                 |  |



|     |  |              |   |           |   |           |   |          |   |   |            |           |              |  |
|-----|--|--------------|---|-----------|---|-----------|---|----------|---|---|------------|-----------|--------------|--|
|     | турбодетандера схемы                         |              |   |           |   |           |   |          |   |   |            |           |              | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[4], 7-195<br>[5], 217-411<br>[6], 26-78 |
| 2.5 | Расчет параметров конструкции теплообменника | 20           |   | 3         | - | 5         | - | -        | - | - | -          | 12        | -            |  |
|     | Экзамен                                      | 36.0         |   | -         | - | -         | - | 2        | - | - | 0.5        | -         | 33.5         |  |
|     | <b>Всего за семестр</b>                      | <b>144.0</b> |   | <b>14</b> | - | <b>28</b> | - | <b>2</b> | - | - | <b>0.5</b> | <b>66</b> | <b>33.5</b>  |  |
|     | <b>Итого за семестр</b>                      | <b>144.0</b> |   | <b>14</b> | - | <b>28</b> |   | <b>2</b> | - |   | <b>0.5</b> |           | <b>99.5</b>  |  |
|     | <b>ИТОГО</b>                                 | <b>288.0</b> | - | <b>46</b> | - | <b>60</b> |   | <b>4</b> | - |   | <b>1.0</b> |           | <b>177.0</b> |  |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Термодинамические основы получение низких температур

1.1. Применение основ статистической термодинамики к анализу характеристик процессов в низкотемпературных установках

Примеры получения закономерностей для зависимостей термодинамических параметров (уравнение состояния, энтропия, уравнения Максвелла) на основе статистического подхода описания системы частиц..

1.2. Особенности низкотемпературных технических систем, их анализ, расчет и оптимизация на основе использования специальных разделов термодинамики и теплофизики

Уравнения состояния термодинамической системы, как основа для получения информации о ее параметрах и их взаимосвязях. Законы термодинамического состояния системы и диаграммы данного состояния. Основные термодинамические процессы и их графическое изображение на диаграммах..

1.3. Циклы установок преобразования энергии и термодинамический анализ эффективности процессов в них

Холодильные и криогенные циклы.. Примеры расчета низкотемпературных циклов.  $p$ - $h$  диаграмма. Эксергетический анализ работы установок.. Развитие схем парожидкостных установок. Многоступенчатые и каскадные схемы. Тепловые насосы..

1.4. Использование смесей

Основы методики построения анализа процессов в смесях. Диаграммы бинарных смесей. Ректификация. Растворимость газов и жидкостей..

1.5. Использование газовых циклов

Установки со стационарными циклами. Нестационарные циклы. Основы построения машин Стирлинга и Мак-Магона..

1.6. Установки микрокриогенной техники

Основные требования и возможные варианты выполнения схем этих установок. Примеры реализации установок микрокриогенной техники различного назначения..

1.7. Возможные варианты построения других видов низкотемпературных установок

Пароэжекторные холодильные установки преобразования энергии. Газодинамические функции и их использование. Расчет пароэжекторных холодильных установок.. Вихревая труба. Процессы при преобразовании энергии в вихревой трубе. Основы расчета холодильных установок с вихревой трубой.. Абсорбционные холодильные установки.  $h$ - $h$  диаграмма. Методика расчета данных установок.. Необходимость использования для охлаждения различных объектов электрических, магнитных и оптических методов. Термоэлектрическое охлаждение. Возможности повышения эффективности материалов. Многоступенчатые и комбинированные полупроводниковые термотрансформаторы..

1.8. Получение и использование сверхнизких температур

Рефрижераторы растворения. Магнитокалорическое охлаждение в области криотемператур. Ограничения, связанные со свойствами магнетиков. Электрокалорическое охлаждение и материалы. Многоступенчатые системы..



### 1.9. Оборудование установок низкотемпературной техники

Примеры конструкций элементов установок (компрессоры, детандеры, дроссели, фильтры)..

## 2. Расчет параметров конструкций низкотемпературных систем

### 2.1. Постановка задачи расчета характеристик низкотемпературной системы

Формулировка исходных данных при проектировании низкотемпературной системы. Расчет термодинамических и расходных параметров всех точек схемы с элементной базой..

### 2.2. Расчет параметров конструкции поршневого компрессора схемы

Формулировка исходных данных для проектировании поршневого компрессора. Расчет конструктивных параметров основных элементов компрессора. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции.

### 2.3. Расчет параметров конструкции турбокомпрессора схемы

Формулировка исходных данных для проектировании компрессора. Расчет конструктивных параметров основных элементов компрессора. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции.

### 2.4. Расчет параметров конструкции турбодетандера схемы

Формулировка исходных данных для проектирования турбодетандера. Расчет конструктивных параметров основных турбодетандера. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции.

### 2.5. Расчет параметров конструкции теплообменника

Формулировка исходных данных для проектирования теплообменника (кожухотрубного, витого). Расчет конструктивных параметров основных элементов теплообменника. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции.

## **3.3. Темы практических занятий**

1. Количественная проработка материалов лекций по уравнениям состояния термодинамической системы (4 часа).;
2. Использование диаграмм рабочих веществ низкотемпературной техники (4 часа).;
3. Графическое построение пароконденсационных циклов схем низкотемпературных установок различного типа. Определение значений термодинамических параметров в точках цикла, расчет энергетических нагрузок аппаратов системы (4 часа).;
4. КПД цикла и оптимальных условий работы систем по преобразованию энергии (4 часа).;
5. Количественный анализ влияния значения температуры окружающей среды на эффективность энергетических систем (4 часа).;
6. Количественная проработка материалов лекций по различным видам низкотемпературных установок (6 часов).;
7. Графическое построение циклов схем низкотемпературных установок различного типа (эжекторные, абсорбционные, вихревая труба, термоэлектрическое охлаждение) (4 часов).;
8. Оборудование низкотемпературных установок, конструкции аппаратов (2 часа).;
9. Формулировка исходных данных при проектировании низкотемпературной системы. Расчет термодинамических и расходных параметров всех точек схемы с элементной базой (8 часов).;

10. Формулировка исходных данных для проектирования поршневого компрессора. Расчет конструктивных параметров основных элементов компрессора. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции (5 часов).;
11. Формулировка исходных данных для проектировании компрессора. Расчет конструктивных параметров основных элементов компрессора. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции (5 часов).;
12. Формулировка исходных данных для проектирования турбодетандера. Расчет конструктивных параметров основных турбодетандера.. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции (5 часов).;
13. Формулировка исходных данных для проектирования теплообменника (кожухотрубного, витого). Расчет конструктивных параметров основных элементов теплообменника. Анализ полученных результатов. Создание эскиза конструкции (5 часов)..

### **3.4. Темы лабораторных работ** не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Термодинамические основы получение низких температур"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Расчет параметров конструкций низкотемпературных систем"

#### *Текущий контроль (ТК)*

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Термодинамические основы получение низких температур"
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Расчет параметров конструкций низкотемпературных систем"

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ** Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)  | Коды индикаторов     | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) |   | Оценочное средство (тип и наименование)  |
|---|----------------------|---|---|--|
|   |                      | 1   | 2 |  |
| <b>Знать:</b>   |                      |   |   |  |
| основные законы и описания физических и математических моделей различных аппаратов низкотемпературной техники                     | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> | +   |   | Проверочная работа/Основные законы и описания физических и математических моделей различных аппаратов низкотемпературной техники |
| основы получения сверхнизких температур   | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> | +   |   | Проверочная работа/Оборудование низкотемпературных установок, конструкции аппаратов  |
| характеристики конкретных аппаратов в схемах низкотемпературных установок   | ИД-1 <sub>ПК-4</sub> | +   |   | Проверочная работа/Оценочные расчеты параметров процессов в аппаратах низкотемпературной техники                                 |
| содержание и оформление основных технологических схем низкотемпературных установок  | ИД-1 <sub>ПК-4</sub> | +   |   | Проверочная работа/КПД цикла и эффективность энергетических систем   |
| <b>Уметь:</b>   |                      |   |   |  |
| формулировать и проводить оценочные расчеты параметров процессов в аппаратах низкотемпературной техники на примере турбодетандера | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> |   | + | Проверочная работа/Проектирование низкотемпературных систем. Основы проектирования турбодетандера                                |
| формулировать и проводить оценочные расчеты параметров процессов в аппаратах низкотемпературной техники на примере компрессора    | ИД-1 <sub>ПК-2</sub> |   | + | Проверочная работа/Проектирование низкотемпературных систем. Основы проектирования компрессора                                   |
| спроектировать технологическую схему под конкретную задачу специальности на примере турбодетандера и провести ее расчет           | ИД-1 <sub>ПК-4</sub> |   | + | Проверочная работа/Проектирование конструктивных элементов турбодетандера  |
| спроектировать технологическую схему под конкретную задачу специальности на примере   | ИД-1 <sub>ПК-4</sub> |   | + | Проверочная работа/Проектирование конструктивных элементов компрессора   |

|                                  |  |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|--|
| компрессора и провести ее расчет |  |  |  |  |
|----------------------------------|--|--|--|--|

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **7 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. КПД цикла и эффективность энергетических систем (Проверочная работа)
2. Оборудование низкотемпературных установок, конструкции аппаратов (Проверочная работа)
3. Основные законы и описания физических и математических моделей различных аппаратов низкотемпературной техники (Проверочная работа)
4. Оценочные расчеты параметров процессов в аппаратах низкотемпературной техники (Проверочная работа)

###### **8 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Проектирование конструктивных элементов компрессора (Проверочная работа)
2. Проектирование конструктивных элементов турбодетандера (Проверочная работа)
3. Проектирование низкотемпературных систем. Основы проектирования компрессора (Проверочная работа)
4. Проектирование низкотемпературных систем. Основы проектирования турбодетандера (Проверочная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

###### Экзамен (Семестр №7)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

###### Экзамен (Семестр №8)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 8 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Соколов, Е. Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения : учебное пособие для вузов / Е. Я. Соколов, В. М. Бродянский . – 2-е изд., перераб. – М. : Энергоиздат, 1981 . – 320 с.;
2. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин . – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2017 . – 502 с. - ISBN 978-5-383-00939-0 .;

3. Кириллин, В. А. Термодинамика растворов / В. А. Кириллин, А. Е. Шейндлин, Э. Э. Шпильрайн . – 2-е изд . – М. : Энергия, 1980 . – 288 с.;
4. Мартынов, А. В. Установки для трансформации тепла и охлаждения. Сборник задач : учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов / А. В. Мартынов . – М. : Энергоатомиздат, 1989 . – 200 с. - ISBN 5-283-00060-5 .;
5. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М. П. Малков, и др. – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1985 . – 432 с.;
6. Александров А.А.- "Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011102.html>.

## 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

## 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
9. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
10. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
11. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
12. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
13. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
14. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
15. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование      | Оснащение   |
|---|------------------------------------|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | М-409/2,<br>Аудитория каф.<br>"НТ" | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор                |
|   | М-411/1,<br>Компьютерный класс     | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный      |
|   | М-412, Учебная аудитория           | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная |
|   | Ж-120, Машинный                    | сервер, кондиционер   |

|  |                                |   |
|--|--------------------------------|---|
|  | зал ИВЦ                        |   |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | М-411/1,<br>Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный              |
|  | Ж-120, Машинный зал ИВЦ        | сервер, кондиционер   |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации      | М-411/1,<br>Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный              |
|  | М-412, Учебная аудитория       | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная         |
|  | Ж-120, Машинный зал ИВЦ        | сервер, кондиционер   |
| Помещения для самостоятельной работы                           | М-411/1,<br>Компьютерный класс | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный              |
| Помещения для консультирования                                 | М-402, Аудитория каф. "ИТ"     | стеллаж для хранения книг, стул, стол письменный  |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря       | М-407/1, Кладовая              | стеллаж для хранения инвентаря, стеллаж для хранения книг, инвентарь специализированный |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Термодинамические основы низкотемпературной техники

(название дисциплины)

#### 7 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Основные законы и описания физических и математических моделей различных аппаратов низкотемпературной техники (Проверочная работа)
- КМ-2 КПД цикла и эффективность энергетических систем (Проверочная работа)
- КМ-3 Оценочные расчеты параметров процессов в аппаратах низкотемпературной техники (Проверочная работа)
- КМ-4 Оборудование низкотемпературных установок, конструкции аппаратов (Проверочная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины   | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
|               |   | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Термодинамические основы получение низких температур  |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Применение основ статистической термодинамики к анализу характеристик процессов в низкотемпературных установках   |            | +    |      |      |      |
| 1.2           | Особенности низкотемпературных технических систем, их анализ, расчет и оптимизация на основе использования специальных разделов термодинамики и теплофизики |            | +    |      |      |      |
| 1.3           | Циклы установок преобразования энергии и термодинамический анализ эффективности процессов в них   |            | +    |      |      |      |
| 1.4           | Использование смесей  |            |      | +    |      |      |
| 1.5           | Использование газовых циклов  |            |      | +    |      |      |
| 1.6           | Установки микрокриогенной техники   |            |      |      | +    |      |
| 1.7           | Возможные варианты построения других видов низкотемпературных установок   |            |      |      | +    |      |
| 1.8           | Получение и использование сверхнизких температур  |            |      |      |      | +    |
| 1.9           | Оборудование установок низкотемпературной техники   |            |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |   |            | 20   | 30   | 30   | 20   |



## 8 семестр

### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-5 Проектирование низкотемпературных систем. Основы проектирования компрессора (Проверочная работа)
- КМ-6 Проектирование конструктивных элементов компрессора (Проверочная работа)
- КМ-7 Проектирование низкотемпературных систем. Основы проектирования турбодетандера (Проверочная работа)
- КМ-8 Проектирование конструктивных элементов турбодетандера (Проверочная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 4    | 8    | 12   | 16   |
| 1             | Расчет параметров конструкций низкотемпературных систем            |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Постановка задачи расчета характеристик низкотемпературной системы |            | +    |      |      |      |
| 1.2           | Расчет параметров конструкции поршневого компрессора схемы         |            | +    |      |      |      |
| 1.3           | Расчет параметров конструкции турбокомпрессора схемы               |            |      | +    |      |      |
| 1.4           | Расчет параметров конструкции турбодетандера схемы                 |            |      |      | +    |      |
| 1.5           | Расчет параметров конструкции теплообменника                       |            |      |      |      | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 20   | 30   | 30   | 20   |