

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

---

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Физика и техника низких температур

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ**

|                                          |                                                                 |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Блок:</b>                             | <b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>  | <b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b> |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>   | <b>Б1.Ч.09.02.01</b>                                            |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b> | <b>2 семестр - 4;</b>                                           |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>  | <b>144 часа</b>                                                 |
| <b>Лекции</b>                            | <b>2 семестр - 32 часа;</b>                                     |
| <b>Практические занятия</b>              | <b>2 семестр - 32 часа;</b>                                     |
| <b>Лабораторные работы</b>               | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Консультации</b>                      | <b>2 семестр - 2 часа;</b>                                      |
| <b>Самостоятельная работа</b>            | <b>2 семестр - 77,5 часа;</b>                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>              | <b>не предусмотрено учебным планом</b>                          |
| <b>Иная контактная работа</b>            | <b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>             |
| <b>включая:</b>                          |                                                                 |
| <b>Контрольная работа</b>                |                                                                 |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>         |                                                                 |
| <b>Экзамен</b>                           | <b>2 семестр - 0,5 часа;</b>                                    |

**Москва 2026**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

|                                                                                   |                                                    |                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                               |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                               |
|                                                                                   | Владелец                                           | Сидоров А.А.                  |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | Ref8fb216-SidorovAAn-18e2ddb8 |

А.А. Сидоров

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

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

А.П. Крюков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

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

Ю.Ю. Пузина

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** теоретическое изучение схем построения низкотемпературных установок различного назначения, оборудования этих установок, процессов происходящих в элементах установок и вопросов эксплуатации данных установок..

### Задачи дисциплины

- Приобретение навыков формулировать задачи проектирования различных установок низкотемпературной техники и решать их,;
- Изучение способы решения различных задач и методы расчета теплофизических процессов в элементах установок,;
- Приобретение навыков расчетов низкотемпературных установок с использованием современного справочного материала..

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 проводить расчетно-теоретические и экспериментальные исследования теплогидравлических процессов в конструкциях низкотемпературных установках | ИД-4 <sub>ПК-2</sub> Способен принимать и обосновывать конкретные технические решения при выборе схемных решений и оборудования для низкотемпературных установок. | знать:<br>- особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов.<br><br>уметь:<br>- проводить термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа). |
| ПК-3 Готов самостоятельно определять направление и характер проводимых исследований, учитывать современные тенденции развития низкотемпературной техники   | ИД-1 <sub>ПК-3</sub> Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем в современных низкотемпературных установках                                | знать:<br>- термодинамические методы анализа холодильных циклов (энтропийный и эксергетический).<br><br>уметь:<br>- проводить термодинамический анализ холодильных циклов (водорода, природного газа).                                                                                  |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Физика и техника низких температур (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать термодинамические методы анализа холодильных циклов (энтропийный и эксергетический)
- знать особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов
- уметь особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов

- уметь проводить термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа)

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 4 зачетных единицы, 144 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     | Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов                         | 12                    | 2       | 4                                                                    | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 6                 | -                                 | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[4], 59-134 |                                                                          |
| 1.1   | Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов                         | 12                    |         | 4                                                                    | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 6                 | -                                 |                                                                           |                                                                          |
| 2     | Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии | 12                    |         | 4                                                                    | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 6                 | -                                 |                                                                           | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[4], 26-59 |
| 2.1   | Проектирование низкотемпературных                                                                                                         | 12                    |         | 4                                                                    | -   | 2  | -            | - | -   | -  | -  | 6                 | -                                 |                                                                           |                                                                          |

|     |                                                                                                                                           |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                                                            |  |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------------------------------------------------------|--|
|     | систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии                                   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                                                            |  |
| 3   | Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов | 12 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 6 | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[4], 135-164 |  |
| 3.1 | Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов | 12 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 6 | - |                                                                            |  |
| 4   | Технология эксплуатации систем                                                                                                            | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>                 |  |
| 4.1 | Технология эксплуатации систем                                                                                                            | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | [2], 252-258                                                               |  |
| 5   | Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок                                                                      | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[2], 20-352  |  |
| 5.1 | Термодинамические основы проектирования низкотемпературных                                                                                | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - |                                                                            |  |

|     |                                                                                                                                                               |              |           |          |           |          |          |          |            |             |           |             |                                                                            |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|------------|-------------|-----------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|
|     | установок                                                                                                                                                     |              |           |          |           |          |          |          |            |             |           |             |                                                                            |
| 6   | Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба. | 18           | 6         | -        | 6         | -        | -        | -        | -          | -           | 6         | -           | <i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i><br>[3], 257-359 |
| 6.1 | Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба. | 18           | 6         | -        | 6         | -        | -        | -        | -          | -           | 6         | -           |                                                                            |
| 7   | Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.                                                                                         | 26           | 6         | -        | 12        | -        | -        | -        | -          | -           | 8         | -           | <i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i><br>[1], 15-180  |
| 7.1 | Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.                                                                                         | 26           | 6         | -        | 12        | -        | -        | -        | -          | -           | 8         | -           |                                                                            |
|     | Экзамен                                                                                                                                                       | 36.0         | -         | -        | -         | -        | 2        | -        | -          | 0.5         | -         | 33.5        |                                                                            |
|     | <b>Всего за семестр</b>                                                                                                                                       | <b>144.0</b> | <b>32</b> | <b>-</b> | <b>32</b> | <b>-</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b>   | <b>0.5</b>  | <b>44</b> | <b>33.5</b> |                                                                            |
|     | <b>Итого за семестр</b>                                                                                                                                       | <b>144.0</b> | <b>32</b> | <b>-</b> | <b>32</b> | <b>2</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>0.5</b> | <b>77.5</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. Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов

1.1. Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов

Факторы, определяющие специфические особенности схемно-технологических и конструкторских решений криогенных систем: воздействие низких, циклических температур, узкий диапазон систем жидкость-пар, потери продукта за счет теплопритока из окружающей среды и практически всех технологических операций (захолаживания, хранения, вытеснения, охлаждения и др.). Особенности схемно-технологических решений при проектировании систем накопления, хранения, охлаждения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов. Вытеснительный и насосный способ выдачи кипящего и охлажденного продукта, преимущества и недостатки каждого из этих способов; термостатирование в резервуарах потребителей по схемам с замкнутым контуром циркуляции с разомкнутым контуром циркуляции, с полужамкнутым контуром; схемы циркуляционных систем криостатируемых объектов с использованием насоса, компрессора или с контуром естественной циркуляции; двухконтурные сателлитные системы. Проектирование системы накопления, хранения, переохлаждения центрального блока РН «Энергия» жидким водородом и его термостатирования..

#### 2. Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии

2.1. Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии

Проектирование системы хранения, заправки, глубокого охлаждения и термостатирования жидкого кислорода в баке космического корабля «Буран». Проектирование систем хранения, охлаждения, заправки, термостатирования жидкого кислорода, заправляемого в баки РН.

#### 3. Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов

3.1. Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов

Разработка конструкции резервуаров и решение вопросов: выбора формы резервуара, системы опор или подвесок, обеспечения тепловой изоляции, способа поддержания вакуума в изоляционных полостях, выбора конструкционных материалов и другие вопросы. Анализируются конструкции подвесок и опор, поскольку они являются важнейшими элементами тепловой защиты. Способы конструктивного выполнения узлов вывода труб для заполнения и опорожнения резервуаров и других трубопроводов. Требования к конструкциям трубопроводов. Тепловая защита продукта от теплопритока из окружающей среды - комплексы мероприятий: применение эффективной тепловой изоляции поверхности внутреннего сосуда, рациональная конструкция крепления сосуда относительно кожуха и схема обвязки внутреннего сосуда технологическими трубопроводами. Показатель эффективности тепловой защиты криогенных резервуаров - относительная скорость испарения жидкости в единицу времени (испаряемость жидкости). Основные типы тепловой изоляции криогенного оборудования, изоляционные материалы и способы поддержания требуемого вакуума. Принципиальные схемы криосорбционных устройств для поддержания вакуума в изоляционных полостях..

#### 4. Технология эксплуатации систем

##### 4.1. Технология эксплуатации систем

Обеспечение чистоты криогенных продуктов (водорода). Требования к эксплуатации систем транспортирования и хранения жидкого водорода. Порядок проведения технологических операций, подготовка резервуаров и цистерн к наполнению жидким водородом, наполнение их жидким водородом, транспортирование к потребителю, приемка цистерн и слив жидкого у потребителя, возврат цистерн, периодический отогрев. Методики расчета содержания примесей в жидком водороде. Аналитический метод определения содержания примесей в жидком водороде. Методика расчета накопления массы кислорода в резервуарах с жидким водородом. Требования к эксплуатации систем хранения. Порядок проведения технологических операций: хранение, периодический отогрев, технологический газосброс. Требование безопасности: аварийные ситуации и меры их ликвидации..

#### 5. Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок

##### 5.1. Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок

Основные положения «Теоретических основ криогенной техники». Обратный цикл Карно, идеальный цикл, минимальная работа ожижения, необратимость и затраты работы, основные процессы для получения низких температур, классификация криогенных циклов, виды потерь и эффективность реальных циклов, метод энергетического баланса, целесообразное число ступеней предварительного охлаждения, температурные уровни, термодинамический анализ циклов..

#### 6. Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.

6.1. Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.

Схемно-технологические решения водородных ожижителей высокого давления с 5-ю ступенями предварительного охлаждения. Схемно-технологические решения водородных ожижителей среднего давления с тремя детандерными ступенями предварительного ожижения и одной ступенью жидкого атмосферного азота. Схемно-технологические решения криогенных установок ожижения водорода с внешним гелиевым холодильным циклом. Схемно-технологические решения установок получения дейтерия методом ректификации жидкого водорода..

#### 7. Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.

##### 7.1. Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.

Теплофизические свойства и технологические особенности СПГ, пожаровзрывоопасность и экологические проблемы. Термодинамическая эффективность ожижителей природного газа с различными холодильными циклами с азотным детандерным циклом и ХМ; с азотным детандерным циклом без ХМ; с циклом на СХА с дроссельными ступенями. Базовые крупнотоннажные заводы и способы ожижения природного газа. Анализ тенденции развития газовой промышленности в мировой практике. Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по каскадному классическому циклу. Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по циклу «Прико». Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по циклу ОКЦ с предварительным пропановым охлаждением. Установки ожижения природного газа на базе АГНКС. Установки ожижения природного газа на базе детандерных азотных циклов..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Методика расчета процессов захлаживания систем хранения криогенных продуктов;
2. Методика расчета процессов хранения криогенных продуктов в резервуарах с закрытым газосбросом;
3. Методика расчета содержания примесей в жидком водороде;
4. Методика расчета накопления массы кислорода в резервуарах с жидким водородом;
5. Метод энергетического баланса; предварительные ступени охлаждения;
6. Термодинамический анализ холодильного цикла (анализ детандерного цикла);
7. Расчет установки для ожижения водорода. Выбор схемы, выбор необходимых для расчета дополнительных данных, расчет работы установки в режиме получения жидкого пароводорода, сведение теплового баланса установки в режиме получения нормального водорода, проверка осуществимости теплообмена в аппаратах установки при получении жидкого параводорода. Проверка осуществимости теплообмена в аппаратах установки в режиме получения жидкого нормального водорода;
8. Методика расчета процессов хранения криогенных продуктов в резервуарах с закрытым газосбросом.

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

### **3.5 Консультации**

### **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<br>индикаторов  | Номер раздела дисциплины<br>(в соответствии с п.3.1) |   |   |   |   |   |   | Оценочное средство<br>(тип и наименование) |                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                  |                      | 1                                                    | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |                                            |                                                                                                                 |
| <b>Знать:</b>                                                                                                                                                    |                      |                                                      |   |   |   |   |   |   |                                            |                                                                                                                 |
| особенности схемно-технологических решений при проектировании систем ожижения, накопления, хранения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов | ИД-4 <sub>ПК-2</sub> |                                                      |   |   |   |   |   | + | +                                          | Контрольная работа/Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом             |
| термодинамические методы анализа холодильных циклов (энтропийный и эксергетический)                                                                              | ИД-1 <sub>ПК-3</sub> |                                                      |   |   | + | + |   |   |                                            | Контрольная работа/Расчет процесса захолаживания системы хранения криогенных продуктов                          |
| <b>Уметь:</b>                                                                                                                                                    |                      |                                                      |   |   |   |   |   |   |                                            |                                                                                                                 |
| проводить термодинамический расчет ожижительных установок (водорода, природного газа)                                                                            | ИД-4 <sub>ПК-2</sub> |                                                      | + | + |   |   |   |   |                                            | Контрольная работа/Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа                               |
| проводить термодинамический анализ холодильных циклов (водорода, природного газа)                                                                                | ИД-1 <sub>ПК-3</sub> | +                                                    |   |   |   |   |   |   |                                            | Контрольная работа/Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки |

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

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

**2 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа (Контрольная работа)
2. Расчет процесса захолаживания системы хранения криогенных продуктов (Контрольная работа)
3. Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки (Контрольная работа)
4. Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

Экзамен (Семестр №2)

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

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

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

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

1. Домашенко, А. М. Проектирование установок ожижения природного газа. Безопасная технология эксплуатации инфраструктуры сжиженного природного газа : учебное пособие по курсу "Проектирование низкотемпературных систем" для НИУ "МЭИ" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. М. Домашенко, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2019. – 192 с. – ISBN 978-5-7046-2108-9.  
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=10692>;
2. Архаров, А. М. Криогенные системы. Основы теории и расчета : учебник для вузов по специальностям "Криогенная техника" и "Холодильные и компрессорные машины и установки" / А. М. Архаров, И. В. Марфенина, Е. И. Микулин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1988. – 464 с. – ISBN 5-217-00083-X.;
3. Архаров, А. М. Основы криологии. Энтропийно-статистический анализ низкотемпературных систем / А. М. Архаров. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 507 с. – ISBN 978-5-7038-3842-6.;
4. Архаров А. М., Кунис И. Д.- "Криогенные заправочные системы стартовых ракетно-космических комплексов", Издательство: "МГТУ им. Баумана", Москва, 2006 - (252 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/106301>.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. 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/>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения                                                           | Номер аудитории, наименование           | Оснащение                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | М-409/2, Аудитория каф. "НТ"            | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор                        |
|                                                                         | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор                                                     |
|                                                                         | М-412, Учебная аудитория                | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная         |
|                                                                         | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                 | сервер, кондиционер                                                                     |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП          | М-409/2, Аудитория каф. "НТ"            | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор                        |
|                                                                         | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор                                                     |
|                                                                         | М-412, Учебная аудитория                | стеллаж для хранения книг, стол, стул, мультимедийный проектор, доска маркерная         |
|                                                                         | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                 | сервер, кондиционер                                                                     |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации               | М-409/2, Аудитория каф. "НТ"            | стол преподавателя, стол, доска меловая, мультимедийный проектор                        |
|                                                                         | М-422/4, Учебная лаборатория криофизики | стол, стул, мультимедийный проектор                                                     |
|                                                                         | 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, Компьютерный класс             | стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный              |
| Помещения для консультирования                                          | М-402, Аудитория каф. "НТ"              | 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

### Проектирование низкотемпературных систем

(название дисциплины)

#### 2 семестр

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

- КМ-1 Расчет процесса захлаживания системы хранения криогенных продуктов (Контрольная работа)
- КМ-2 Расчет процесса хранения криогенного продукта в резервуаре с закрытым газобросом (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчет процесса охлаждения криогенного продукта в резервуаре и на потоке в процессе заправки (Контрольная работа)
- КМ-4 Расчет дроссельно-эжекторной ступени ожижителя природного газа (Контрольная 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             | Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов                         |            |      |      |      |      |
| 1.1           | Проектирование низкотемпературных систем ожижения, транспортирования, хранения в резервуарах криогенных продуктов                         |            |      |      | +    |      |
| 2             | Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии |            |      |      |      |      |
| 2.1           | Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии |            |      |      |      | +    |
| 3             | Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов |            |      |      |      |      |
| 3.1           | Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов |            |      |      |      | +    |
| 4             | Технология эксплуатации систем                                                                                                            |            |      |      |      |      |
| 4.1           | Технология эксплуатации систем                                                                                                            |            | +    |      |      |      |
| 5             | Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок                                                                      |            |      |      |      |      |
| 5.1           | Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок                                                                      |            | +    |      |      |      |
| 6             | Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с                                           |            |      |      |      |      |

|            |                                                                                                                                                               |    |    |    |    |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|
|            | получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.                                                                                                 |    |    |    |    |
| 6.1        | Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба. |    | +  |    |    |
| 7          | Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.                                                                                         |    |    |    |    |
| 7.1        | Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.                                                                                         |    | +  |    |    |
| Вес КМ, %: |                                                                                                                                                               | 25 | 25 | 25 | 25 |