

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.



« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 13.06.01 Электро- и теплотехника

Направленность (специальность) 05.04.03 Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины по выбору

«Основы низкотемпературной трансформации тепла»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.2

Всего 108 часов

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часа – самостоятельная работа  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.04.03 «Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения», утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью изучения дисциплины является** изучение термодинамических циклов, направленных как на получение низких температур, так и на разделение газовых смесей.

**Задачами дисциплины являются:**

- ознакомление с основными видами трансформаторов тепла, их термодинамическим анализом и методикой расчета;
- изучение методов разделения газовых смесей и их технической реализацией;
- обучение использованию электрических и магнитных полей для низкотемпературной трансформации тепла.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- готовность осуществлять комплексные исследования общих свойств и принципов функционирования машин и аппаратов холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения, разрабатывать научно-методические основы создания систем установок и агрегатов и рабочих тел с планируемыми свойствами (ПК-1).
- способность проводить теоретические и экспериментальные исследования процессов холодильной и криогенной техники, систем

кондиционирования и жизнеобеспечения с целью углубления оценки проявляющихся в них физических закономерностей, создания надежных алгоритмов управления и прогноза (ПК-2).

- способность развивать методы натурного и вычислительного моделирования процессов и объектов холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения с целью поиска оптимальных решений по экономичности, надежности и ресурсу низкотемпературных установок, машин и аппаратов (ПК-3).

### **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

#### **знать:**

- основные способы низкотемпературной трансформации тепла и их эксергетический КПД (УК-2);
- термодинамические основы трансформации тепла, процессов разделения, используемых в холодильной и криогенной технике; принципы расчета, проектирования и использования в экспериментальных исследованиях (ОПК-2)
- методы разделения газовых смесей, получение соответствующих жидких криоагентов (ОПК-1);
- особенности расчета электрических и магнитных трансформаторов тепла (ПК-1).

#### **уметь:**

- проводить теоретические и экспериментальные исследования по тепломассопереносу, сжатию, расширению, фазовым превращениям, охлаждению, криостатированию, сжижению, конденсации в жидкое и твердое состояние рабочих тел при ограничениях, вводимых конструкцией и средой эксплуатации машин и аппаратов холодильной и криогенной техники (ПК-2);
- разрабатывать и использовать современные методы научного исследования применительно к расчету трансформаторов тепла (ОПК-2);
- выполнять тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов различных типов на основе существующих методик (ПК-3);
- применять полученные знания о низкотемпературной трансформации тепла при проектировании и эксплуатации установок низкотемпературной техники (УК-4);

#### **владеть:**

- терминологией в области низкотемпературной трансформации тепла (УК-2, ПК-1);

- методами разработки новых технологических процессы разделения, очистки и получения сжиженных и сжатых промышленных и сверхчистых газов, в том числе природного газа (ОПК-1, ПК-2)
- навыками применения экспериментальной и теоретической информации при проектировании криостатирующих устройств специального назначения (ПК-3).

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Термодинамические основы низкотемпературной трансформации тепла**

Роль и назначение трансформаторов тепла. Их классификация. Циклические, квазициклические и нециклические процессы трансформации тепла. Каскадные и регенеративные трансформаторы. Эксергетический и энергетический балансы систем термотрансформации. Идеальные, идеализированные и реальные процессы. Зависимость удельных затрат от температурного уровня.

#### **Трансформаторы тепла**

Парожидкостные компрессионные трансформаторы тепла. Основные особенности схем и процессов реальных парожидкостных компрессионных трансформаторов тепла и их отличия от идеальных. Схемы одноступенчатых и многоступенчатых установок и области их применения. Удельные энергозатраты и КПД парожидкостных компрессионных трансформаторов. Холодильные коэффициенты и коэффициенты трансформации. Регенеративный теплообмен, его эффективность и целесообразная область использования. Каскадные рефрижераторные установки, их энергетические показатели и область использования.

Струйные трансформаторы тепла. Принцип действия и классификация струйных трансформаторов тепла. Принципиальная схема и КПД струйных компрессоров. Определение коэффициента инжекции и давления сжатия. Зависимость достижимых параметров от температур и критических скоростей взаимодействующих потоков. Характеристики и предельные режимы эжекторов. Принципиальные схемы и КПД парозежекторных холодильных установок.

Вихревые трансформаторы тепла. Принципиальная схема и процесс работы вихревой трубы. Эффективность работы вихревой трубы и ее эксергетический КПД. Неадиабатная вихревая труба. Оптимальные области использования вихревых трансформаторов тепла.

Абсорбционные трансформаторы тепла. Принцип действия и основные схемы абсорбционных трансформаторов тепла. Схемы и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла непрерывного действия.

Удельный расход энергии, КПД, коэффициенты трансформации тепла реальных установок. Трансформаторы тепла периодического действия. Абсорбционно-диффузионные холодильные установки. Энергетические сравнения абсорбционных и компрессионных холодильных установок.

### **Низкотемпературное разделение газовых смесей.**

Особенности криорефрижераторов, систем сжижения и замораживания. Криорефрижераторы с различными сочетаниями ступеней предварительного и окончательного охлаждения, их энергетический анализ и КПД. Низкотемпературная тепловая изоляция, ее виды и особенности.

Свойства газовых смесей и характеристики методов их разделения. Идеальные процессы низкотемпературного разделения газовых смесей, технические процессы низкотемпературного разделения смесей. Методика расчета энергетических, эксергетических балансов и КПД процессов разделения.

### **Газовые циклы и трансформаторы тепла**

Идеальные газовые циклы со стационарными процессами, их энергетический анализ. Реальные газовые циклы и квазициклы со стационарными процессами. Удельные характеристики реальных компрессионных трансформаторов тепла с регенерацией и без регенерации. Газовые циклы с нестационарными процессами; обратные циклы Стирлинга и Эриксона. Регенераторы газовых установок, схемы включения и конструктивное оформление, методика расчета энергетических балансов газовых компрессионных трансформаторов тепла.

### **Использование электрических и магнитных полей**

Физические основы, особенности и классификация электрических и магнитных трансформаторов тепла. Собственные и примесные полупроводники и их основные свойства. Основы расчета энергетических показателей термоэлектрических трансформаторов. Термодинамические основы магнито- и электрокалорической трансформации тепла, их особенности. Удельный расход энергии, характеристики потерь и КПД термоэлектрических, термомагнитных и электрокалорических термотрансформаторов.

## **ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 4 семестр – дифференцированный зачет, презентация реферата.

### **Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета**

1. Классификация трансформаторов тепла.
2. Чем отличаются эксергетический и энергетический КПД систем трансформации?

3. Зависимость удельных затрат от температурного уровня.
  4. Отличия идеальных и реальных циклов. Источники потерь.
  5. Парожидкостные циклы.
  6. Каскадные рефрижераторные установки их энергетические показатели и область использования.
  7. Принципиальная схема и КПД струйных компрессоров.
  8. Принципиальные схемы и КПД парожетторных холодильных установок.
  9. Эффективность работы вихревой трубы и ее эксергетический КПД.
  10. Схемы и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла непрерывного действия.
  11. Абсорбционно-диффузионные холодильные установки.
  12. Энергетические сравнения абсорбционных и компрессионных холодильных установок.
  13. Особенности криорефрижераторов, систем сжижения и замораживания.
  14. Как распределяется температура по высоте ректификационной колонны?
  15. Методы разделения газовых смесей.
  16. Методика расчета энергетических, эксергетических балансов и КПД процессов разделения.
  17. Газовые циклы с нестационарными процессами; обратные циклы Стирлинга и Эриксона.
  18. Сравните эффективность и области применения газовых холодильных циклов с парокомпрессионными.
  19. Собственные и примесные полупроводники и их основные свойства.
  20. Термодинамические основы магнито- и электрокалорической трансформации тепла, их особенности.
- Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

### **Рекомендуемая литература**

#### **Основная литература**

1. Комов А. Т. Криовакуумные и сверхпроводящие системы термоядерных реакторов и установок / Комов А. Т. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 304 с.
2. Применение многокомпонентных рабочих тел в низкотемпературной технике / Лунин А. И., Могорычнй В. И., Коваленко В. Н. – М.: Изд. дом МЭИ, 2009. – 100 с.

3. Низкотемпературные системы откачки / Нестеров С. Б., Андросов А. В., Васильев Ю. К. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 80 с.

**Дополнительная литература**

4. Холодильные агенты : монография / Цветков О. Б. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2004. – 216 с.

5. Детандер-генераторные агрегаты на станциях технологического понижения давления транспортируемого газа / Агабабов В. С., Корягин А. В. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 48с.

6. Разделение газожидкостных смесей в вихревых аппаратах / Бахмат Г. В., Пахаруков Ю. В., Кабес Е. Н. – Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2007. – 204 с.