

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

«Техника и физика низких температур»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.1

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 основ низкотемпературной техники.

Задачами дисциплины являются:

- изучение основных законов термодинамики применительно к анализу низкотемпературной техники;
- изучение методов получения низких температур и термодинамический анализ соответствующих процессов;
- анализ фазовых равновесий;
- расчет термодинамических свойств веществ.

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

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- владение культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий (ОПК-2);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);
- 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 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);

- готовность развивать и реализовывать энергосберегающие технологии при создании машин и аппаратов холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения (ПК-4).

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

знать:

- современные методы получения низких температур и их термодинамический анализ (УК-1);
- технологические линии производства холода, методы термодинамического анализа, оценка КПД холодильных машин, источники тепловых потерь (УК-3);
- методы расчета термодинамических свойств веществ (ПК-3);
- особенности термодинамического анализа специальных процессов в магнетиках и диэлектриках (ПК-4).

уметь:

- проводить термодинамический анализ процессов тепломассопереноса при ограничениях вводимых конструкцией и средой эксплуатации машин и аппаратов холодильной и криогенной техники (ОПК-2, ПК-1);
- эксергетический КПД процессов в стационарном потоке (ПК-1);
- выбирать технологическую схему захлаживания и криостатирования элементов энергетического оборудования при ограничениях вводимых конструкцией и средой эксплуатации машин и аппаратов холодильной и криогенной техники (ПК-4);
- рассчитывать термодинамические процессы в потоке, анализировать их с точки зрения эксергетического КПД (ПК-3).

владеть:

- методами разработки технологических процессов криостатирования и захлаживания элементов энергетического оборудования, ожижения промышленных газов (УК-1);
- методологией проектирования криогенных систем (ПК-1).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Термодинамические основы низкотемпературной техники

Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Теплотеперенос и совершение работы – два способа изменения внутренней энергии тела.

Обобщенные силы и координаты. Энтальпия, аналитические выражения и формулировки первого закона термодинамики. Уравнение первого закона термодинамики для процессов в объеме и стационарном потоке.

Второй и третий законы термодинамики. Процессы обратимые и необратимые. Термодинамические циклы. Квазициклы и разомкнутые процессы. Коэффициенты преобразования для прямых и обратных циклов. Термический КПД прямого цикла. Обратимые и необратимые циклы. Внешняя и внутренняя необратимость. Цикл Карно. Теорема Карно. Формулировки второго закона термодинамики. Энтропия. Энтропийные диаграммы состояния. Каскадные и регенеративные циклы. Возрастание энтропии в необратимых процессах. Термодинамическая шкала температур. Объединенное уравнение второго и первого законов термодинамики для систем в объеме и в потоке. Энтропия и термодинамическая вероятность. Эксергия. Виды эксергии. Эксергетический баланс системы. Эксергетический КПД.

Тепловая теорема Нернста. Энтропия при абсолютном нуле температур. Следствия из теоремы Нернста. Недостижимость абсолютного нуля.

Дифференциальные уравнения термодинамики. Свойства полного дифференциала функции состояния. Уравнения Максвелла. Частные производные внутренней энергии и энтальпии. Связь между термическими и основными калорическими величинами. Частные производные теплоемкостей. Связь между изобарной и изохорной теплоемкостями.

2. Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы

Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Критерии термодинамического равновесия при различных условиях взаимодействия системы с внешней средой. Характеристические функции, Изохорно-изотермический и изобарно-изотермический потенциал. Уравнения Гиббса-Гельмгольца. Химический потенциал, объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики для систем с переменным количеством вещества. Условия устойчивости и равновесия в изолированной системе.

Фазовые переходы в индивидуальных веществах и в растворах. Условия фазового равновесия, правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

3. Термодинамические свойства веществ

Расчет термодинамических свойств веществ по термическому уравнению состояния.

Реальные вещества как конденсирующиеся системы. Открытие Эндрюсом и Д.И. Менделеевым критической температуры. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки, термические и калорические свойства твердых тел, жидкостей и газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

Вириальное уравнение состояния, термодинамические свойства индивидуальных веществ на линиях фазовых переходов. Двухфазные системы, переход через двухфазную область. Стабильные и метастабильные состояния. Свойства веществ в критической точке.

Термодинамическое подобие веществ, принцип соответственных состояний. Параметры приведения. Обобщенные диаграммы и уравнения состояния для групп веществ, применение обобщенных диаграмм для малоисследованных веществ.

4. Термодинамика стационарного потока

Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона. Кривая инверсии, Адиабатное расширение реального газа с производством работы. Эффект Джоуля. Эксергетический КПД процессов расширения в дросселе и детандере. Процесс сжатия в адиабатных и неадиабатных условиях. Работа сжатия. Эксергетический КПД процессов сжатия.

5. Специальные вопросы термодинамики

Фазовые переходы при неодинаковых давлениях фаз. Уравнение Пойнтинга. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела. Уравнение Лапласа. Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста.

Равновесие термодинамических систем, совершающих помимо работы расширения другие виды работы. Условия равновесия в изолированной однородной системе.

Магнетики. Общие сведения. Основные термодинамические соотношения для магнетиков. Термодинамические процессы в магнетиках. Магнитокалорический, магнестрикционный и магнитоупорный эффекты. Прямой и обратный магнитокалорические циклы.

Диэлектрики. Основные термодинамические соотношения и процессы. Электрокалорический, электрострикционный эффекты, прямой и обратный электрокалорические циклы.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Сформулируйте первое начало термодинамики.
2. Что такое энтальпия?
3. Сформулируйте второе начало термодинамики.
4. В чем заключается статистический смысл второго начала термодинамики?
5. Классификация термодинамических циклов.

6. Что такое энтропия?
 7. Что такое эксергия?
 8. Как определяется эксергетический КПД цикла?
 9. Объединенное уравнение второго и первого начал термодинамики для систем в объеме и в потоке.
 10. Сформулируйте тепловую теорему Нернста и следствия из нее.
 11. Дифференциальные уравнения термодинамики.
 12. Уравнения Максвелла.
 13. Какие бывают теплоемкости? Какая между ними связь?
 14. Каковы критерии термодинамического равновесия при различных условиях взаимодействия системы с внешней средой?
 15. Что такое химический потенциал?
 16. Условия фазового равновесия, правило фаз Гиббса.
 17. Уравнения состояния.
 18. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки.
 19. Основные процессы для получения низких температур и их эксергетический КПД.
 20. Отличие фазовых переходов I и II рода.
- Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Техническая термодинамика / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин – М.: Изд. дом МЭИ, 2008. – 496 с.
2. Леонтович М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика: учебное пособие для вузов – СПб.: Лань, 2008. – 432 с.
3. Основы термодинамики и теплотехники / Ерохин В.Г., Маханько М. Г. – М.: Эдиториал УРСС, 2009 . – 224 с.
4. Техническая термодинамика и теплотехника / Бахшиева Л. Т., и др.; Ред. А. А. Захарова. – М.: АКАДЕМИЯ, 2006. – 272 с.

Дополнительная литература

5. Техническая термодинамика / Кудинов В. А., Карташов Э. М. – М.: Высшая школа, 2007. – 261с.
6. Физическая термодинамика / Глаголев К. В., Морозов А. Н.; Мартинсон Л. К. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 272с.
7. Основы термодинамики : пер. с англ. / Тер Хаар Д., Вергеланд Г. – М.: Вузовская книга, 2006. – 200 с.
8. Таблицы термодинамических свойств хладагентов / В. С. Охотин, А. А. Александров. – М.: Изд. дом МЭИ, 2006 . – 32 с.