

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

«Теплопередача при низких температурах»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.1

Всего 108 часов;

Семестр 3, 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 методов расчета теплопереноса в различных приложениях.

Задачами дисциплины являются:

- изучение основных процессов теплопередачи и методов их расчета;
- применение методов расчета процессов теплопередачи для решения задач в криогенной технике;
- ознакомление с сопряженными задачами тепломассопереноса, анализ подходов к решению на различных масштабах пространства и времени.

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);
- 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);
- способность к разработке новых методов исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности в области профессиональной деятельности (ОПК-3);
- готовность организовать работу исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4);
- 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:

- современные методы исследования и проведения технических испытаний и (или) научных экспериментов (УК-1);
- способность использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники при ограничениях, вводимых конструкцией и средой эксплуатации машин и аппаратов холодильной и криогенной техники (ОПК-3);
- владение принципами расчета процессов тепломассопереноса в различных устройствах криогенной техники (ПК-2);
- расчетно-теоретические и экспериментальные методики исследования процессов испарения, конденсации, теплопроводности, конвекции, излучения, диффузии, принципы организации научно-исследовательской работы и проведения экспериментальных исследований, способы обработки, анализа и обобщения полученных результатов (ПК-3);

уметь:

- современные методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ОПК-4);
- анализировать, систематизировать и обобщать результаты расчетов процессов теплопередачи (УК-2);
- находить критерии оценки значимости процессов теплопередачи в сложных и сопряженных задачах и системах (ПК-3);

владеть:

- методами решения конструкторских, технологических и технико-экономических проблем по разработке и оценке преобразователей энергии, используемых в холодильной и криогенной технике, в системах кондиционирования и жизнеобеспечения (УК-1, ОПК-3);
- методами расчета процессов теплопередачи в различных системах, включая сложный и сопряженный теплообмен (ПК-2);

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Теплопроводность

Основные положения теории теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, механизм теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Классификация процессов теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме, методы расчета переноса тепла в сложных системах. Расчет передачи тепла вдоль стержней и ребер. Теплопроводность при нестационарном режиме. Классификация нестационарных процессов. Анализ нагрева (охлаждения) полуограниченного массива, пластины, цилиндра и шара. Основы теории регулярного теплового режима. Температурные волны и периодические тепловые процессы. Принципы моделирования процессов теплопроводности.

2. Конвективный теплообмен

Классификация и характеристика процессов конвективного теплообмена. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Основные понятия и соотношения теории пограничного слоя.

Теплообмен при внешнем обтекании тел. Анализ гидродинамики и теплообмена при продольном обтекании пластины на основе соотношений теории пограничного слоя. Расчет теплоотдачи при ламинарном движении теплоносителя в пограничном слое. Теплоотдача пластины при турбулентном пограничном слое. Аналогия Рейнольдса и ее современные модификации.

Теплоотдача в трубах и каналах. Анализ теплообмена при ламинарном режиме движения. Начальный тепловой участок и зона стабилизации теплообмена. Закономерности теплообмена при турбулентном течении.

Теплообмен при естественной (свободной) конвекции. Условие отсутствия естественной конвекции. Анализ теплообмена на основе соотношений теории пограничного слоя. Основные закономерности при ламинарном режиме для вертикальных пластин и горизонтальных труб. Теплоотдача при турбулентном движении теплоносителя в пристенном слое. Анализ процесса естественной конвекции в узких зазорах, методы расчета.

Закономерности теплообмена при поперечном обтекании труб и пучков труб. Основные особенности теплообмена при высоких скоростях движения теплоносителя. Специфика теплообмена жидких металлов. Закономерности теплообмена в сверхкритической области состояния вещества.

Основы теории подобия и моделирования. Свойства подобных процессов. Критерии подобия и уравнения подобия. Обобщение экспериментальных данных и методы моделирования процессов конвективного теплообмена. Теория размерностей.

3. Теплообмен излучением

Основные понятия и законы. Спектр излучения черного тела - закон Планка. Интегральное излучение черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Излучательная способность и степень черноты. Закон Кирхгофа. Интенсивность излучения и закон Ламберта. Теплообмен излучением в диатермической среде. Перенос тепла в системе, ограниченной серыми поверхностями. Теплообмен излучением между произвольно расположенными в пространстве поверхностями. Тепловое излучение газов. Особенности излучения и поглощения. Основное уравнение переноса лучистой энергии в поглощающей среде. Спектральная и интегральная степень черноты объема газа. Метод расчета лучистого теплообмена между газовым объемом и поверхностью твердого тела. Сложный теплообмен как совокупность процессов теплопроводности, конвекции и излучения.

4. Теплообмен при фазовых превращениях

Общие положения. Классификация процессов фазовых превращений. Соотношения баланса полных потоков вещества, импульса и энергии на границе раздела фаз при фазовых переходах. Молекулярно-кинетическая интерпретация процессов фазового превращения.

Теплообмен при конденсации пара. Пленочный и капельный режимы конденсации. Теория Нуссельта и ее последующие уточнения. Теплообмен при турбулентном режиме течения конденсатной пленки. Особенности конденсации пара внутри труб.

Теплообмен при кипении жидкости. Режимы кипения. Механизм и теплоотдача при пузырьковом режиме кипения. Гидродинамическая теория первого кризиса кипения, механизм и теплоотдача при пленочном режиме кипения. Второй кризис процесса кипения.

Особенности теплообмена при плавлении и сублимации. Упрощенные схемы процессов. Анализ условий переноса тепла и закономерности теплообмена.

5. Процессы тепло- и массообмена

Классификация процессов тепло- и массообмена. Закон Фика. Коэффициент диффузии, механизм диффузии в газах и жидкостях, молекулярный перенос энергии в бинарных системах.

Система дифференциальных уравнений конвективного тепло- и массообмена. Граничные условия на проницаемых поверхностях, диффузионный пограничный слой.

Закономерности совместного переноса массы, импульса и энергии. Анализ процессов переноса на основе соотношений теории пограничного слоя. Аналогия процессов переноса массы, импульса и энергии (тройная аналогия).

Влияние поперечного потока вещества на интенсивность процессов переноса. Приближенный расчет процессов теплообмена, массообмена и трения в условиях значительных поперечных потоков. Основные закономерности и соотношения.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 5 семестр – дифференцированный зачет, презентация реферата

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Закон Фурье.
2. Уравнение теплопроводности.
3. Теплопроводность при стационарном режиме.
4. В чем особенность теплопередачи в цилиндрической стенке?
5. Проанализируйте нестационарный процесс теплопроводности в пластине, шаре, цилиндре.
6. В чем заключается приближение пограничного слоя?
7. Расчет теплоотдачи при ламинарном и турбулентном режиме обтекания.
8. Оцените влияние начального участка на теплоотдачу в трубах для ламинарного и турбулентного течения.
9. Условие возникновения естественной конвекции.
10. Ламинарная и турбулентная естественная конвекция около вертикальной стенки
11. Локальный и средний коэффициент теплоотдачи.
12. Основные понятия и законы теплообмена излучением.
13. Чем отличаются пленочный и капельный режимы конденсации?
14. Формула Д.А. Лабунцова для кипения жидкостей.
15. Назовите характерные особенности первого и второго кризиса кипения.
16. В чем особенность процессов теплопередачи, сопровождаемых диффузией?
17. Тройная аналогия. Система дифференциальных уравнений конвективного тепломассопереноса.

Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Основы теплопередачи / Михеев М. А., Михеева И. М. – М.: БАСТЕТ, 2010. – 344 с.
2. Леонтьев А.И. Теория тепломассообмена. М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. 683 с.

3. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 196 с.

Дополнительная литература

4. Аметистов Е.В. Основы теории теплообмена. М.: Издательство МЭИ, 2000. 247 с

5. Теплообмен в ядерных энергетических установках. / Петухов Б. С., Генин Л. Г., Ковалев С. А., и др. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 548 с.

6. Теплотехника : учебник для втузов / Луканин В. Н. и др. – М. : Высшая школа, 2009. – 671 с.