

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Мурманский арктический государственный университет»
в г. Апатиты

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.ОД.9 Тепломассообмен

(название дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

основной профессиональной образовательной программы
по направлению подготовки

14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика
направленность (профиль) «Теплофизика»

(код и наименование направления подготовки
с указанием направленности (профиля) (наименования магистерской программы))

высшее образование – бакалавриат

уровень профессионального образования: высшее образование – бакалавриат / высшее образование –
специалитет, магистратура / высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации

бакалавр

квалификация

очная

форма обучения

2016

год набора

Составители:

Кириллов И.Е., канд. техн. наук, доцент
кафедры физики, биологии и инженерных
технологий

Бирюков В.В., ст. преподаватель кафедры
физики, биологии и инженерных
технологий

Утверждено на кафедре физики, биологии
и инженерных технологий

(протокол № 1 от 24 января 2017 г.)

Зав. кафедрой



подпись

Николаев В. Г.

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ИЛИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование раздела, темы	Контактная работа			часов Всего контактных	Из них в интерактивной форме	СРС Кол-во часов на	контроль Кол-во часов на
		ЛК	ПР	ЛБ				
1.	Введение в теплообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология	2	4	-	6	-	14	-
2.	Одномерные стационарные задачи теплопроводности	1	-	2	3	-	14	-
3.	Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности	1	-	2	3	-	14	-
4.	Введение в численные методы решения задач теплопроводности	2	2	1	5	-	14	-
5.	Введение в конвективный теплообмен	1	2	2	5	-	14	-
6.	Внешняя задача конвективного теплообмена	1	-	1	2	-	14	-
	Итого 6 семестр	8	8	8	24	-	84	36
7.	Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)	4	-	-	4	-	9	-
8.	Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя	4	12	-	16	-	7	-
9.	Теплообменные аппараты	4	-	-	4	-	7	-
10.	Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой	6	-	-	6	-	7	-
11.	Основы расчета теплообмена излучением между излучающе-поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств	8	10	-	18	-	7	-
12.	Основные понятия массообмена	6	10	-	16	-	7	-
	Итого 7 семестр	32	32	-	64	-	44	36
	Итого:	40	40	8	88	-	128	72

Содержание разделов дисциплины

Введение в теплообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология

Способы тепло- и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Феноменологический метод изучения явлений тепло- и массообмена.

Определение основных понятий: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока. Вектор плотности теплового потока. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей и твёрдых тел. Тепловое взаимодействие потока жидкости с обтекаемой поверхностью твердого тела. Закон Ньютона-Рихмана. Теплопередача.

Одномерные стационарные задачи теплопроводности

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности.

Перенос теплоты в плоской стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную плоскую стенку. Термические сопротивления. Коэффициент теплопередачи.

Перенос теплоты в цилиндрической стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор эффективной изоляции по её критическому диаметру.

Температурное поле при наличии в теле источников теплоты (пластина, цилиндрический стержень).

Оребрение поверхности нагрева как способ интенсификации процесса теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра. Перенос теплоты по стержню (ребру). Тепловой поток с поверхности стержня (ребра).

Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности

Нестационарные задачи теплопроводности. Метод разделения переменных решения линейного уравнения теплопроводности (Фурье). Безразмерная форма задачи о нестационарном температурном поле в охлаждаемой пластине. Число Био. Безразмерное время (число Фурье).

Температурное поле в процессе охлаждения (нагревания) бесконечно длинного цилиндра и некоторых тел конечных размеров.

Задача об охлаждении (нагревании) полуограниченного тела как модель начального периода нестационарной теплопроводности тела произвольной формы.

Регулярный режим охлаждения. Определение теплофизических свойств материалов методом регулярного режима. Теоремы Кондратьева.

Введение в численные методы решения задач теплопроводности

Итеративные и вариативные методы решения дифференциальных уравнений математической физики; метод конечных разностей и метод конечных элементов.

Метод контрольного объёма (Патанкар) применительно к решению одномерных стационарных и нестационарных задач теплопроводности.

Введение в конвективный теплообмен

Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности. Условия однозначности, уравнение теплоотдачи. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя

Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Релея, число Нуссельта.

Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по числу Прандтля.

Экспериментальное изучение процессов конвективного теплообмена. Тепловое моделирование. Элементы теории подобия и размерности. Пи – теорема.

Турбулентность. Рейнольдсовы преобразования дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля.

Внешняя задача конвективного теплообмена

Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. Задачи Блазиуса и Польгаузена. Аналогия Рейнольдса. Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании трубы и пучка труб.

Теплоотдача при свободном движении жидкости около тел (пластина, труба), находящихся в неограниченном объёме жидкости. Свободная конвекция в ограниченном объёме (щели, зазоры).

Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах)

Теплообмен при движении теплоносителей в трубах и каналах. Первое начало термодинамики для течения в трубах. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи.

Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении в трубе. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Турбулентное движение в трубах. Формулы Михеева и Петухова. Интеграл Лайона

Теплоотдача при течении жидких металлов. Теплообмен сжимаемого газа. Теплообмен при сверх критическом состоянии жидкостей.

Интенсификация конвективного теплообмена при течении теплоносителя в трубах и каналах.

Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя

Теплообмен при конденсации пара. Плёночная и капельная конденсация. Теория Нуссельта. Поправочные коэффициенты к теории Нуссельта по Д.А. Лабунцову (на волновое течение и переменность физических свойств конденсата). Турбулентное течение плёнки конденсата – расчёт коэффициента теплоотдачи (формула Лабунцова). Влияние скорости пара, состояния поверхности, влажности и перегрева пара, примесей воздуха в паре.

Теплообмен при кипении жидкостей. Кривая кипения. Пузырьковое и плёночное кипение. Критический радиус пузырька. Скорость роста пузырька. Отрывной диаметр пузырька. Частота отрыва пузырьков. Расчёт коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объёме. Критические тепловые нагрузки при кипении. Теплоотдача при плёночном кипении.

Кипение в трубах. Режим течения парожидкостной смеси. Гидродинамика и теплообмен при кипении в трубах. Кризисы теплоотдачи первого и второго рода. Расчёт коэффициентов запаса до кризиса.

Теплообменные аппараты

Классификация теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Прямоток, противоток, сложные схемы движения теплоносителей. Конструкторский и поверочный тепловые расчеты рекуперативного теплообменника. Сравнение прямотока и противотока. Гидравлическое сопротивление теплообменных аппаратов.

Понятие о расчёте смесительных теплообменников и о расчёте регенеративных теплообменных аппаратов.

Теплообмен излучением в системе тел, разделенных диатермичной средой

Физическая природа теплового излучения. Классификация потоков излучения. Формула Поляка.

Интегральные и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения. Излучение реальных тел, идеальные тела. Законы излучения абсолютно черного тела. Законы Ламберта, Кирхгофа, понятие диффузной поверхности излучения и серого тела.

Лучистый теплообмен в замкнутой системе серых тел, разделенных диатермичной средой. Угловые коэффициенты излучения. Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами; телом и оболочкой; экранирование излучения.

Теоретические основы современных зональных методов расчёта теплообмена излучением. Интегральные уравнения излучения.

Основы расчета теплообмена излучением между излучающей и поглощающей средой и поверхностями нагрева теплообменных устройств

Приближенный расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе тел, разделенных излучающе-поглощающей средой (серое приближение). Расчет теплообмена в системе типа «газ в оболочке».

Закон Бугера. Определение поглощательной способности и степени черноты среды (продуктов сгорания). Эффективная длина луча.

Понятие о методах расчета сложного теплообмена (радиационно-кондуктивного и радиационно-конвективного).

Основные понятия массообмена

Концентрационная диффузия (массы). Вектор плотности потока массы. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Термо и бародиффузия.

Дифференциальные уравнения совместных процессов массо- и теплообмена. Диффузионный пограничный слой. Аналогия процессов массо- и теплообмена. Диффузионные аналоги чисел Нуссельта и Прандтля.

Соотношения материального и энергетического баланса для межфазной границы. Случай полупроницаемой межфазной границы.

Формула Стефана. Стефанов поток.

Массо- и теплообмен при испарении в парогазовую среду. Адиабатное испарение.

Массо- и теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ, НЕОБХОДИМОГО ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основная литература:

1. Архипов В. Физико-химические основы процессов тепломассообмена: учебное пособие - Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2015 – 199 с. - [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=442086&sr=1
2. Николаев В.Г. Лабораторные работы по курсу тепломассообмена: учебно-методическое пособие. - Апатиты: КФ ПетрГУ, 2013

Дополнительная литература:

1. Цветков Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену: учебное пособие. - М.: МЭИ, 2010 – 196 с.
2. Дмитриев Е. А. Явления переноса массы в примерах и задачах: учебное пособие [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=428677&sr=1
3. Пахомов А. Н. , Гатапова Н. Ц. , Пахомова Ю. В. Основы решения задач теплообмена: учебное пособие - Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015 – 82 с. - [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=444965&sr=1

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

В образовательном процессе используются:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная), комплект мультимедийного оборудования, включающий мультимедиапроектор, экран, переносной ноутбук для демонстрации презентаций; учебно-наглядные пособия; обеспечивающие тематические иллюстрации);

- помещения для самостоятельной работы (оснащены компьютерными столами, стульями, доской аудиторной, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета);

- помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (оснащены наборами инструментов, оборудованием, расходными материалами для монтажа, ремонта и обслуживания информационно-телекоммуникационной сети филиала и вычислительной техники);

- лаборатория информационных технологий (оснащена компьютерными столами, стульями, мультимедийным проектором, экраном проекционным, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета);

- лаборатория тепломассообмена и регулирования тепловых процессов (оснащена: мебель аудиторная (столы, стулья, доска аудиторная)), комплекты лабораторного оборудования: измерительный стенд, вакуумный универсальный пост, тематические иллюстрации, демонстрационный стенд.

7.1 ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

- 1) Microsoft Windows.
- 2) Microsoft Office / LibreOffice.

7.2 ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ

ЭБС «Издательство Лань»[Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Издательство Лань». – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/>;

ЭБС «Электронная библиотечная система ЮРАЙТ» [Электронный ресурс]: электронная библиотечная система / ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ». – Режим доступа: <https://biblio-online.ru/>;

ЭБС «Университетская библиотека онлайн»[Электронный ресурс]: электронно-периодическое издание; программный комплекс для организации онлайн-доступа к лицензионным материалам / ООО «НексМедиа». – Режим доступа: <https://biblioclub.ru/>.

7.3 СОВРЕМЕННЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ

1. Электронная база данных Scopus.

7.4 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

1. Справочно-правовая информационная система Консультант Плюс <http://www.consultant.ru/>

2. Электронный справочник "Информιο" для высших учебных заведений <http://www.informio.ru/>

8. ИНЫЕ СВЕДЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ НА УСМОТРЕНИЕ ВЕДУЩЕЙ КАФЕДРЫ

Не предусмотрено.

9. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ЛИЦ С ОВЗ

Для обеспечения образования инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья реализация дисциплины может осуществляться в адаптированном виде, с учетом специфики освоения и дидактических требований, исходя из индивидуальных возможностей и по личному заявлению обучающегося.