

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Казанский научный центр Российской академии наук**

Утверждаю
Председатель КазНЦ РАН
_____ О.Г.Синяшин
_____ 2016г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
Теплообмен в пористых средах

основная образовательная программа подготовки аспиранта
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль программы Теплофизика и теоретическая теплотехника

Уровень высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Казань 2016

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов к основной образовательной программе высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании Ученого совета КазНЦ РАН Протокол № __ от _____ 2016 г.

Разработчик

Ю.А. Кирсанов

1. Цель изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины «Тепло- и массообмен» является углубление знаний по основам термодинамики и механики сплошных сред, имеющих значение для решения фундаментальных и прикладных задач при выполнении диссертационной работы.

Задачи дисциплины заключаются в изучении явлений переноса:

- массы;
- энергии;
- импульса.

2. Место учебной дисциплины в структуре профессиональной подготовке

Дисциплины «Тепло-и массообмен» относится к вариативной части и является дисциплиной по выбору аспирантов при освоении ООП ВО по направлению подготовки 03.06.01- Физика и астрономия , направленность 01.14.04 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

3. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-1
ПК-1
способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции обучающийся должен знать : -теоретические основы явлений переноса; - математический аппарат, описывающий явления переноса; уметь: - применять общие математические методы к решению фундаментальных и прикладных физических задач переноса; - использовать методы теории	Лекции. Самостоятельная работа обучающихся по изучению теоретического материала	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля

<p>переноса при выполнении диссертационной работы;</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять законы переноса при решении конкретных технологических задач; <p>демонстрировать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - эрудицию и осведомленность в понимании основных проблем теории переноса; - подготовленность к самостоятельному изучению и пониманию специальной, научной, справочной и методической литературы, связанной с проблемами переноса; - квалифицированное применение различных разделов науки в решении задач теории переноса; - умение использования современных информационных технологий в области теории переноса; - способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области теплофизики (в соответствии с профилем аспирантуры) и решать их с помощью современной теории, аппаратуры, оборудования, информационных технологий и использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта; - способность выработать новые идеи. 		
--	--	--

4. Структура учебной дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 1 зачетные единицы (36 часа).

Наименование дисциплины	Объем учебной работы, ч						Вид итогового контроля	
	Всего	Всего аудиторн.	Из аудиторных			Самост. работа		
			Лекц.	Лаб.	Практ.			КСР
Основы расчета теплообменных аппаратов и средств тепловой защиты	36		9		9		9	Зачет

4.1. Содержание дисциплины

4.1.1. Содержание лекционных занятий

№ темы	Содержание	Количество часов
1.	Теплопроводность медленно протекающих процессов. Гипотеза Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности твердых тел и текучих сред. Краевые условия, краевые задачи. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки. Коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в пластине. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.	1
2.	Конвективный теплообмен. Закон Ньютона. Дифференциальные уравнения для импульса, энергии и массы сплошной движущейся среды в размерном и безразмерном видах. Числа подобия, их физический смысл. Массообмен, закон Фика. Тройная аналогия.	1
3.	Теплообмен при внешнем обтекании тела. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Система уравнений теплового пограничного слоя. Условные толщины пограничного слоя. Интегральные уравнения импульса и энергии.	1
4.	Режимы течения потока. Переход ламинарного режима в турбулентное. Уравнения навье-Стокса и Рейнольдса. Структура пристенной турбулентной области, расчетные соотношения для теплоотдачи. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен на проницаемой поверхности. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.	1
5.	Теплообмен при течении жидкости в каналах. Начальный гидродинамический участок, начальный термический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном и турбулентном течении. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при тече-	1

	нии капельных жидкостей и газов в трубах.	
6.	Теплообмен при свободной конвекции на вертикальной плоской поверхности, на поверхности горизонтального цилиндра и сферы, в замкнутых объемах. Теплопередача через прослойку.	1
7.	Теплообмен при фазовых превращениях. Математическое описание и модели двухфазных сред. Универсальные и специальные условия совместности на межфазных границах для процессов тепло- и массообмена. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара.	1
8	Теплообмен излучением. Основные понятия: интегральная и спектральная плотности потока излучения; поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел; абсолютно черное тело. Законы теплового излучения: Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта. Радиационные свойства реальных материалов. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Геометрия излучения, локальные и средние угловые коэффициенты. Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Излучение и поглощение в газах. Основной закон переноса излучения в излучающе-поглощающей среде. Собственное излучение газа. Методы расчета теплообмена.	2
Всего		9

4.1.2. Практические занятия

№ п/п	Содержание	Количество часов
1.	Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки. Коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции.	1
2.	Нестационарное температурное поле в пластине.	1
3.	Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.	2
4.	Конвективный теплообмен при ламинарном и турбулентном режимах..	2
5.	Тепло-гидравлический расчет рекуперативного теплообменника.	1
6.	Расчет регенеративного теплообменника.	2
Всего		9

4.1.3. Самостоятельная работа аспиранта

№ темы	Содержание	Количество часов
1.	Теплопроводность медленно протекающих процессов. Гипотеза Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности твердых тел и текучих сред. Краевые условия, краевые задачи. Стационарная теплопроводность плоской и цилиндрической стенки. Коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в пластине. Регулярный режим охлаждения (нагрева) тел.	1
2.	Конвективный теплообмен. Закон Ньютона. Дифференциальные уравнения для импульса, энергии и массы сплошной движущейся среды в размерном и безразмерном видах. Числа подобия, их физический смысл. Массообмен, закон Фика. Тройная аналогия.	1
3.	Теплообмен при внешнем обтекании тела. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Система уравнений теплового пограничного слоя. Условные толщины пограничного слоя. Интегральные уравнения импульса и энергии.	1
4.	Режимы течения потока. Переход ламинарного режима в турбулентное. Уравнения навье-Стокса и Рейнольдса. Структура пристенной турбулентной области, расчетные соотношения для теплоотдачи. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен на проницаемой поверхности. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.	1
5.	Теплообмен при течении жидкости в каналах. Начальный гидродинамический участок, начальный термический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном и турбулентном течении. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.	1
6.	Теплообмен при свободной конвекции на вертикальной плоской поверхности, на поверхности горизонтального цилиндра и сферы, в замкнутых объемах. Теплопередача через прослойку.	1
7.	Теплообмен при фазовых превращениях. Математическое описание и модели двухфазных сред. Универсальные и специальные условия совместности на межфазных границах для процессов тепло- и массообмена. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение.	1
8.	Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара.	1
9.	Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Теплообмен при пузырьковом и пленочном кипении. Кризис ки-	1

	пения в большом объеме.	
10.	Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Характер изменения среднемассовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.	1
11.	Совместные процессы тепло- и массопереноса. Состав смеси, диффузионные потоки, коэффициент диффузии. Перенос массы, энергии и импульса в смеси. Аналогия процессов тепло- и массообмена. Расчет интенсивности переноса энергии и массы компонента при умеренных и высоких скоростях массообмена.	1
12.	Тепло- и массообмен при химических превращениях. Диффузия, сопровождаемая гомогенной или гетерогенной химической реакцией. Процессы на поверхности тела, обтекаемого гиперзвуковым потоком газа. Сублимация поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком. Коэффициент аккомодации. Зависимость скорости сублимации от температуры поверхности тела.	1
13.	Термическое разложение тела, обтекаемого высокотемпературным потоком химически активного газа. Химическое взаимодействие на поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком. разрушение композиционных материалов в высокотемпературном газовом потоке. Взаимодействие процессов горения и испарения.	1
14.	Теплообмен излучением. Основные понятия: интегральная и спектральная плотности потока излучения; поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел; абсолютно черное тело. Законы теплового излучения: Планка, Вина, Стефана-Больцмана, Кирхгофа, Ламберта. Радиационные свойства реальных материалов.	1
15.	Теплообмен излучением в диатермичной среде. Геометрия излучения, локальные и средние угловые коэффициенты. Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.	1
	Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Излучение и поглощение в газах. Основной закон переноса излучения в излучающе-поглощающей среде. Собственное излучение газа. Методы расчета теплообмена.	1
	Всего	18

5. Образовательные технологии

В процессе обучения предусматриваются следующие образовательных технологий:

1. Сопровождение лекций показом видеоматериала.
2. Использование современных информационных компьютерных технологий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их ответственности результатам обучения.

7.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний учащихся организован как устный групповой опрос (УГО). Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

7.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра в форме зачета. Проводится оценка выполнения индивидуального плана аспиранта, оформляемого на каждый год обучения.

Перечень вопросов к зачету:

Теплопроводность. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности. Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции. Нестационарное температурное поле в плоской пластине, регулярный режим охлаждения (нагрева) тел. Метод перемножения решений.

Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Приведение уравнений к безразмерному виду, критерии подобия. Физический смысл чисел подобия конвективного тепло- и массообмена. Тройная аналогия.

Теплообмен при внешнем обтекании тела. Система уравнений теплового пограничного слоя. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Автомодельное решение Польшаузена. Соотношения для расчета теплообмена при различных числах Прандтля. Условные толщины пограничного слоя. Интегральные уравнения импульса и энергии.

Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние на турбулентный переход параметров набегающего потока, массовых сил, характеристик обтекаемой поверхности. Теоретические и экспериментальные аспекты перехода ламинарного течения в турбулентное. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения. Кажущиеся напряжения турбулентного трения, турбулентный тепловой поток. Структура пристенной турбулентной области. Аналогия Рейнольдса для теплообмена при турбулентном течении в пограничном слое, ее модернизированный вариант (двухслойная схема), расчетные соотношения для теплоотдачи. Конвективный теплообмен при высоких скоростях течения. Адиабатическая температура стенки, коэффициент восстановления, методы расчета теплоотдачи. Теплообмен на проницаемой поверхности. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.

Теплообмен при течении жидкости в каналах. Математическое описание, средне-массовая скорость и температура. Стабилизированный теплообмен при граничных условиях 2-го рода. Профили скорости, температуры, теплового потока при ламинарном и турбулентном течении, интеграл Лайона. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении, результаты исследований для неметаллических жидкостей и жидких металлов, расчетные формулы. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.

Теплообмен при свободной конвекции. Механизм и математическое описание, приближение Буссинеска. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы. Свободная конвекция в замкнутых объемах; теплопередача через прослойку.

Теплообмен при фазовых превращениях. Математическое описание и модели двухфазных сред. Универсальные условия совместности на межфазных границах. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение.

Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: решение Нуссельта, анализ основных допущений. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара. Качественные закономерности капельной конденсации.

Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении. Кризисы кипения в большом объеме.

Режимы течения двухфазных потоков в трубах. Характер изменения среднетемпературы жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.

Совместные процессы тепло- и массопереноса. Общая характеристика процессов переноса массы и энергии. Состав смеси, диффузионные потоки, коэффициент диффузии. Перенос энергии и импульса в смеси.

Аналогия процессов тепло- и массообмена. Расчет интенсивности переноса энергии и массы компонента при умеренных и высоких скоростях массообмена.

Тепло- и массообмен при химических превращениях. Диффузия, сопровождаемая гомогенной или гетерогенной химической реакцией. Процессы на поверхности тела, обтекаемого гиперзвуковым потоком газа.

Сублимация поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком. Коэффициент аккомодации. Зависимость скорости сублимации от температуры поверхности тела.

Термическое разложение тела, обтекаемого высокотемпературным потоком химически активного газа.

Химическое взаимодействие на поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком.

Разрушение композиционных материалов в высокотемпературном газовом потоке. Взаимодействие процессов горения и испарения.

Теплообмен излучением. Основные понятия и законы излучения. Природа излучения. Интегральная и спектральная плотности потока излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способности тел. Абсолютно черное тело.

Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана—Больцмана, Кирхгофа, Ламберта). Излучение реальных тел. Радиационные свойства реальных материалов.

Теплообмен излучением в диатермичной среде. Геометрия излучения (локальные и средние угловые коэффициенты). Зональный метод расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.

Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Излучение и поглощение в газах. Основной закон переноса энергии излучения в излучающе-поглощающей среде. Собственное излучение газа. Методы расчета теплообмена.

Критерии оценивания уровня освоения компетенций

Отлично Наблюдается глубокое и прочное усвоение программного материала;

даются полные, последовательные, грамотные и логически излагаемые ответы с использованием соответствующей терминологии;
аспирант свободно справляется с поставленными задачами, принимает правильно обоснованные решения

Хорошо Аспирант демонстрирует хорошее знание программного материала; грамотно, без существенных неточностей излагает ответ на вопрос; демонстрируется правильное применение теоретических знаний; допускаются отдельные неточности в формулировках ответов.

Удовлетворительно Наблюдается усвоение основного материала; при ответе допускаются неточности;
при ответе присутствуют недостаточно правильные формулировки;
допускается нарушение последовательности в изложении программного материала.

Неудовлетворительно Аспирант не знает программного материала; допускает серьезные ошибки при ответе.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Учебная, учебно-методическая и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. Казанский научный центр РАН располагает библиотекой, включающей научно-техническую литературу по термодинамике, физике, тепло- и массообмену, математике и другим разделам теплофизики, научные журналы и труды конференций.

8.1. Основная литература

1. Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

3. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. М.: Изд. МЭИ, 2003.
4. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
5. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т. 1 / Пер. с англ. под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. М.: Энергоатомиздат, 1987..
- 6 Теплообменные аппараты ТЭС: Справочник в 2 кн. Кн. 1. / Под ред. Ю.Г. Назмеева и В.Н. Шлянникова. М.: Изд-во МЭИ, 2010.
7. Теплообменные аппараты ТЭС: Справочник в 2 кн. Кн. 2. / Под ред. Ю.Г. Назмеева и В.Н. Шлянникова. М.: Изд-во МЭИ, 2010.

8.2. Дополнительная литература

1. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982.
2. Мухачев Г.А., Шукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа. 1991.
3. Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе. М. Энергоиздат, 1981.
4. Шукин В.К., Халатов А.А. Теплообмен, массообмен и гидродинамика закрученных потоков в осесимметричных каналах М.: Машиностроение, 1982. – 200 с.
5. Кирсанов Ю.А. Циклические тепловые процессы и теория теплопроводности в регенеративных воздухоподогревателях. М.: Физматлит, 2007.
5. Полежаев Ю.В. Теплообмен и тепловая защита. Учебник для технических вузов. Препринт. М., 2010

9. Материально- техническое обеспечение

Казанский научный центр РАН располагает материально-технической базой, соответствующей санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы.

№ п/п	Наименование дисциплины	Наименование оборудования
1.	Тепло- и массообмен	1. Научно-исследовательские установки лаборатории ТВТ
		2. Персональные компьютеры.