

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук
(ИТ СО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ



Директор
академик РАН

Д.М.Маркович

27 января 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Тепло-и массообмен в одно- и многофазных средах

Научная специальность 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника

Новосибирск 2025

Дисциплина «Тепло- и массообмен в одно-и многофазных средах» реализуется в рамках образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника по очной форме обучения на русском языке.

Дисциплина «Тепло- и массообмен в одно- и многофазных средах» реализуется во втором и третьем семестре в составе модуля «Теоретическая и прикладная теплотехника» и является базовой для выполнения научно-исследовательской деятельности и подготовки к защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цели дисциплины

Ознакомление слушателей с основными положениями, методами, подходами и классическими задачами термодинамики, теории тепломассообмена. Достижение понимания концептуального единства математических моделей при всем имеющемся их разнообразии в конкретных разделах теплофизики. Изучение современного математического аппарата, используемого при решении задач термодинамики и теплофизики.

Задачи дисциплины

Усвоение понятий, связанных с математическими моделями механики и теплофизики жидкости, газа. Развитие базовых навыков в области общей и технической термодинамики, конвективного тепломассообмена. Умение ориентироваться в ряде основных постановок задач термодинамики и теплофизики и способах их решения.

2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 216 академических часов.

2.1. Структура дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля
		Всего	В контак тной форме				Сам. работа	
				Лек ц.	Конс ульты ции	Контактных часов на аттестацию		
1	Тепло- и массообмен в одно- и многофазных средах.	216	112	96	6	10	104	Зачет

2.2. Содержание дисциплины

2.2.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа
		Лек.				
1	1-е и 2-е начала термодинамики и элементы статистической физики	6				7
2	Термодинамические системы с фазовыми переходами и термодинамика потоков	6				7
3	Циклы тепловых машин	6				7
4	Паротурбинные установки, машины обратного цикла и установки прямого преобразования теплоты в электроэнергию	6				7
5	Элементы теории флуктуаций и случайных процессов	6				7
6	Конвективный теплообмен. Основные положения	6				8
7	Теплообмен при фазовых превращениях	6				8
8	Конвективный перенос в многокомпонентных средах	6				8

2.2.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятий
1	1-е и 2-е начала термодинамики и элементы статистической физики	Основные параметры термодинамической системы. Идеальный газ. Температура. Уравнение состояния идеального и реальных газов. Газовые смеси. Внутренняя энергия. Работа. Теплота. Первое начало термодинамики. Энтропия. Максимальная и минимальная работа. Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения. Статистические суммы канонических распределений. Энтропия – статистическая интерпретация. Якобианы.	Лекции, самостоятельная работа

		Термодинамические потенциалы. Свободная энергия Гельмгольца, потенциал Гиббса, Ω-потенциал. Теплоемкость различных газов. Квантовая природа теплоемкости. Термодинамические коэффициенты. Основные термодинамические процессы. Тепловая и рабочая диаграммы. Политропические процессы. Цикл Карно. Обратимая тепловая машина. Второе начало термодинамики. Изменение энтропии конкретных систем. Тепловой контакт двух тел. Обратимая тепловая машина с холодильником и нагревателем конечной теплоемкости. Эксергия. Обобщенный цикл Карно. Процессы с регенерацией теплоты.	
2	Термодинамические системы с фазовыми переходами и термодинамика потоков	Система с переменным количеством вещества. Химический потенциал. Экстремальные свойства термодинамических функций. Условия равновесия однофазных и двухфазных систем. Равновесие фаз. Правило фаз Гиббса. Метастабильные состояния. Влажный пар. Двухфазная система. Теплоемкость влажного пара. Основные процессы с влажным паром. Уравнение 1-го начала термодинамики для потока. Скорость звука в двухфазных системах. Дросселирование газов и паров. Адиабатический процесс истечения газов. Сопло Лавала. Вязкое течение сжимаемого газа в канале. Процесс истечения парожидкостной смеси из простого сопла. (модель аварии энергоустановок).	Лекции, самостоятельная работа
3	Циклы тепловых машин	Компрессоры. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания: циклы Отто, Дизеля, Сабатэ-Тринклера. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания. Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей. Газотурбинная установка. Прямоточный воздушно-реактивный двигатель. Компрессорный турбореактивный двигатель. Жидкостный ракетный двигатель.	Лекции, самостоятельная работа

4	Паротурбинные установки, машины обратного цикла и установки прямого преобразования теплоты в электроэнергию	Паротурбинные установки. Цикл Карно. Цикл Ренкина. Холодильные циклы. Воздушная холодильная установка. Паровая компрессорная холодильная установка. Пароэжекторная холодильная установка. Абсорбционная холодильная установка. Термоэлектрическая холодильная установка. Принцип работы теплового насоса. Термотрансформаторы. Методы сжижения газов. МГД-генератор и ядерная энергетическая установка. Термоэлектронные (термоэмиссионные) преобразователи. Электрохимические генераторы (топливные элементы). Солнечные батареи.	Лекции, самостоятельная работа
5	Элементы теории флуктуаций и случайных процессов	Биномиальное распределение, распределения Пуассона и Гаусса. Общая формула для вероятности флуктуационного отклонения от равновесного состояния. Термодинамические флуктуации. Флуктуации в классических системах. Флуктуации в квантовых системах, флуктуации неравновесного излучения. Случайные процессы. Эргодичность. Стационарные марковский и гауссовский процессы. Спектральные представления для случайной переменной и корреляционной функции. Смещение во времени случайной величины и формула Эйнштейна. Формула Найквиста. Термодинамические силы и термодинамические потоки в линейном приближении. Производство энтропии в гидродинамических системах (уравнения Навье-Стокса) для смесей химически реагирующих газов. Соотношения взаимности Онзагера для кинетических коэффициентов. Принцип Кюри. Связь между кинетическими коэффициентами различной тензорной размерности. Принцип Ле-Шателье – Брауна с точки зрения неравновесной термодинамики. Теорема о минимуме производства энтропии для стационарных состояний.	Лекции, самостоятельная работа

6	Конвективный теплообмен. Основные положения.	Краевые условия задач теплопроводности. Теплообмен с проницаемыми границами. Аналитические методы решения уравнения теплопроводности. Нестационарное температурное поле в полубесконечном теле (параболическая и гиперболические задачи) и в плоской пластине. Контакт двух полуограниченных тел. Охлаждение (нагревание) шара при граничных условиях 1-го рода. Теорема Дюамеля. Регулярный режим охлаждения (нагревания) тел. Точные решения для распределения температуры в слоистых течениях: течение Куэтта чистого сдвига, течения в плоском канале с градиентом давления между изотермическими стенками. Тепловые волны. Уравнения теплового (температурного) пограничного слоя. Теплообмен при вынужденном обтекании плоской пластины для различных чисел Прандтля. Свободная конвекция у вертикальной пластины для малых и больших чисел Прандтля. Режимы свободной, вынужденной и смешанной конвекции при ламинарном и турбулентном течении. Интегральные уравнения импульса и энергии. Приближенное решение методом интегральных соотношений для случая безградиентного обтекания пластины. Пограничные слои на искривленной стенке и на теле вращения. Уравнение и решение Шведа. Теплообмен при течении жидкости в каналах. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом канала. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении жидкостей с малыми и большими числами Прандтля Интеграл Лайона. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении жидкостей и газов в трубах. 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.	Лекции, самостоятельная работа
---	---	---	---------------------------------------

7	Теплообмен при фазовых превращениях	Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: Решение Нуссельта. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара. Турбулентная пленка. Качественные закономерности капельной конденсации. Автоколебательные процессы при конденсации внутри каналов. Кипение жидкостей. Образования зародышей при фазовых переходах первого рода. Гомогенный и гетерогенный механизмы зарождения паровых пузырьков. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков от поверхности. Теплообмен при пузырьковом и пленочном кипении в большом объеме. Кривая кипения. Кризисы кипения в большом объеме. Критерий устойчивости двухфазных систем. Различные модели кипения и основные критерии подобия при кипении в большом объеме. Особенности вскипания жидкости при ступенчатом «набросе» теплового потока и при сбросе давления.	Лекции, самостоятельная работа
8	Конвективный перенос в многокомпонентных средах	Уравнение переноса в двухкомпонентной среде. Закон Фика и обобщенный закон Фика. Коэффициенты термодиффузии и бародиффузии. Критерии подобия в процессах диффузии: Шервуда, Шмидта, Льюиса. Краевые условия для уравнения диффузии. Особенности задач диффузии в жидких и газовых смесях Диффузионный пограничный слой. Аналогия процессов теплообмена и массообмена. Аналогия Рейнольдса. Тройная аналогия. Массообменные процессы между жидкостью и жидкостью, газом или паром. Абсорбция газа в стекающих пленках жидкости. Интенсификация массоотдачи волнами на свободной поверхности. Массообменные процессы между жидкостью, газом или паром и твердым телом. Механизмы диффузии в пористых телах: свободная, кнудсеновская, поверхностная диффузия. Адсорбция. Изотерма сорбции. Материальный баланс и кинетика адсорбции. Динамика адсорбции. Равновесная и неравновесная адсорбция. Стационарные решения.	Лекции, самостоятельная работа

3. Технология обучения

В ходе реализации учебного процесса по дисциплине проводятся лекционные занятия (в контактной форме и в on-line режиме). Материал лекционного курса увязывается с передовыми исследованиями всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки аспирантов. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе. По темам, изучаемым самостоятельно, проводятся консультации.

4. Правила аттестации аспирантов по учебной дисциплине

По дисциплине «Тепло-и массообмен в одно-и многофазных средах» проводятся текущая и промежуточная аттестации.

Текущий контроль по дисциплине проводится представлением доклада (в форме презентации) на семинаре по одному из разделов программы курса, по результатам которой выставляется оценка «зачтено» или «не зачтено». Оценка «зачтено» по результатам является одним из условий допуска к прохождению промежуточной аттестации.

5. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование	Назначение
1	Презентационное оборудование (мультимедиа-проектор, экран, компьютер для управления)	Для проведения лекционных занятий
2	Компьютер на рабочем месте (с выходом в Internet)	Для организации самостоятельной работы обучающихся

6. Литература

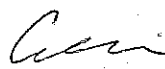
Основная литература

1. Темперли Г., Роулинсон Дж., Рашбрук Дж. (ред.). Физика простых жидкостей. Статистическая теория - М.: Мир, 1971.
2. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя: Пер. с немецк. - М.: Наука, Глав. редакция физ.-мат. лит-ры, 1974.
3. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. - М.: Наука, Глав. редакция физ.-мат. лит-ры, 1977.
4. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. - М.: Наука, 1979.
5. Гордиев Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980.
6. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика (Теоретическая физика, Т. 6). - М.: Наука, 1986.
8. Силин В.П. Введение в кинетическую теорию газов. М.: Изд-во ФИАН, 1998.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 2001.
10. Квасников И.А. Теория равновесных систем. Т. 1: Термодинамика; Т. 2: Статистическая физика. М.: Изд-во УРСС, 2002.

11. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. Уч. пособие для вузов, М: Издательство МЭИ, 2003.
12. Дзюбенко Б.В., Кузьма-Кичта Ю.А., Леонтьев А.И., Федик И.И., Холпанов Л.П. Интенсификация тепло- и массообмена на макро-, микро- и наномасштабах, под ред. Кузьма-Кичты Ю.А. М: «ЦНИИАТОМИНФОРМ», 2008.
13. S.J. Blundell and K.M. Blundell Concepts of Thermal Physics, Department of Rhysics, University of Oxford, UK Second Edition, 2010 Oxford, University Press.

Программа разработана:

д.ф.-м.н., профессор
д.ф.-м.н., профессор РАН

 С.И.Лежнин
 В.В.Терехов

Согласовано:

Зам. директора по научной работе
к.ф.-м.н.

 Д.Ф.Сиковский

Программа утверждена на Ученом совете

*Протокол № 12-2024
от 26 декабря 2024г.*