

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК»

ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА ИМ. В.П. ЛАРИОНОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФТПС СО РАН)



«Утверждаю»

Директор ИФТПС СО РАН

В.В. Лепов

2023 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в аспирантуру

**по научной специальности 1.3.14 –
Теплофизика и теоретическая теплотехника**

ТЕРМОДИНАМИКА

Термодинамический метод изучения состояния макроскопических систем. Феноменологический характер термодинамики. Параметры состояния, равновесные и неравновесные термодинамические процессы. Законы идеального газа.

Первый закон термодинамики. Работа и теплота как функции процесса. Энтальпия, понятие о теплоемкости. Калорические и термические свойства вещества. Процесс Джоуля - Томсона.

Циклы (прямые и обратные), тепловые машины. Цикл Карно, коэффициент полезного действия тепловой машины. Формулировки второго закона термодинамики. Термодинамическая шкала температур. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Понятие о вероятности термодинамического состояния и связь вероятности состояния с энтропией.

Характеристические термодинамические функции: внутренняя энергия, энтальпия, свободная энергия, свободная энтальпия. Характеристические функции как термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла.

Дифференциальные соотношения для теплоемкостей. Связь между изобарной и изохорной теплоемкостями, их выражение через производные от энергии и энтальпии по температуре. Зависимость теплоемкости идеальных газов от температуры.

Уравнения состояния термодинамических систем. Термические и калорические уравнения состояния. Термические коэффициенты: изотермической сжимаемости, термической упругости, термического расширения. Уравнения Клапейрона - Менделеева и Ван-дер-Ваальса.

Системы с переменным количеством вещества. Химический потенциал. Термодинамическое равновесие. Принцип минимальности термодинамических функций. Условия термодинамического равновесия в многофазных многокомпонентных системах. Фазовые переходы первого рода. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило фаз Гиббса. Фазовые переходы второго рода.

Термические и калорические свойства чистых веществ. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Метастабильные состояния. Качественное отличие свойств реальных газов от идеальных газов. Температура и точка Бойля. Понятие об общей форме уравнения состояния реальных газов Майера-Боголюбова.

Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов. Термодинамические свойства влажного пара и перегретого пара. Термодинамические диаграммы состояния вещества.

Влажный воздух. Характеристики состояния влажного воздуха. Влажностное содержание, абсолютная и относительная влажность. Диаграмма состояний влажного воздуха.

Элементы химической термодинамики. Применение первого закона термодинамики к химическим процессам. Закон Гесса. Химическое равновесие, закон действующих масс, константа равновесия. Понятие о

влиянии кинетики химических реакций на термодинамические и переносные свойства химически реагирующих систем.

II. ТЕПЛО - И МАССОПЕРЕНОС.

Основы теории подобия и метода размерностей. Безразмерные критерии и числа подобия. П - теорема. Критериальные уравнения тепло-и массопереноса.

Теплопроводность.

Дифференциальное уравнение теплопроводности (диффузии). Законы Фурье, Фика, коэффициенты теплопроводности, температуропроводности, диффузии. Формулировка краевых задач теплопроводности при граничных условиях I, II и III рода, методы их решения. Основные методы измерения теплофизических характеристик и тепловых потоков. Понятие об обратных задачах теплопроводности.

Конвективный теплообмен.

Дифференциальные уравнения конвективного теплопереноса и массопереноса. Закон Ньютона для теплообмена. Коэффициенты теплообмена, теплопередачи.

Теплообмен при вынужденном ламинарном течении жидкости. Температурный и диффузионный пограничные слои. Аналогия Рейнольдса.

Теплообмен при свободной конвекции. Теплообмен в свободном конвективном пограничном слое у вертикальной пластины (задача Польгаузена). Переход свободного конвективного течения из ламинарного в турбулентное, критическое число Релея. Теплопередача при свободном конвективном турбулентном движении.

Теплообмен при вынужденном турбулентном течении жидкости. Переход ламинарного течения в турбулентное течение. Критические значения критерия Рейнольдса для трубы и пограничного слоя на пластине. Полуэмпирические теории турбулентности. Турбулентная вязкость, путь перемешивания Прандтля. Логарифмический профиль скоростей. Турбулентный перенос теплоты. Расчет теплообмена при турбулентном течении жидкости в трубе. Теплопередача в турбулентном пограничном слое. Критериальные уравнения для теплообмена при турбулентных течениях. Аналогия Рейнольдса для ламинарного и турбулентного течений. Влияние шероховатости на теплоотдачу. Теплоотдача при поперечном омывании труб и пучков труб.

Тепло - и массоперенос при фазовых превращениях.

Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара внутри трубы, на горизонтальных трубах и пучках труб. Теплообмен при капельной конденсации.

Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения жидкости. Механизмы теплопереноса при пузырьковом кипении. Зависимость теплового потока от температурного напора. Отрывной диаметр

влиянии кинетики химических реакций на термодинамические и переносные свойства химически реагирующих систем.

II. ТЕПЛО - И МАССОПЕРЕНОС.

Основы теории подобия и метода размерностей. Безразмерные критерии и числа подобия. П - теорема. Критериальные уравнения тепло-и массопереноса.

Теплопроводность.

Дифференциальное уравнение теплопроводности (диффузии). Законы Фурье, Фика, коэффициенты теплопроводности, температуропроводности, диффузии. Формулировка краевых задач теплопроводности при граничных условиях I, II и III рода, методы их решения. Основные методы измерения теплофизических характеристик и тепловых потоков. Понятие об обратных задачах теплопроводности.

Конвективный теплообмен.

Дифференциальные уравнения конвективного теплопереноса и массопереноса. Закон Ньютона для теплообмена. Коэффициенты теплообмена, теплопередачи.

Теплообмен при вынужденном ламинарном течении жидкости. Температурный и диффузионный пограничные слои. Аналогия Рейнольдса.

Теплообмен при свободной конвекции. Теплообмен в свободном конвективном пограничном слое у вертикальной пластины (задача Польгаузена). Переход свободного конвективного течения из ламинарного в турбулентное, критическое число Релея. Теплопередача при свободном конвективном турбулентном движении.

Теплообмен при вынужденном турбулентном течении жидкости. Переход ламинарного течения в турбулентное течение. Критические значения критерия Рейнольдса для трубы и пограничного слоя на пластине. Полуэмпирические теории турбулентности. Турбулентная вязкость, путь перемешивания Прандтля. Логарифмический профиль скоростей. Турбулентный перенос теплоты. Расчет теплообмена при турбулентном течении жидкости в трубе. Теплопередача в турбулентном пограничном слое. Критериальные уравнения для теплообмена при турбулентных течениях. Аналогия Рейнольдса для ламинарного и турбулентного течений. Влияние шероховатости на теплоотдачу. Теплоотдача при поперечном омывании труб и пучков труб.

Тепло - и массоперенос при фазовых превращениях.

Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Теплообмен при пленочной конденсации движущегося пара внутри трубы, на горизонтальных трубах и пучках труб. Теплообмен при капельной конденсации.

Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения жидкости. Механизмы теплопереноса при пузырьковом кипении. Зависимость теплового потока от температурного напора. Отрывной диаметр

пузыря, скорость роста и частота отрыва пузырей. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб.

Кризисы кипения. Механизм теплообмена при пленочном кипении жидкости. Теплообмен при ламинарном движении паровой пленки. Теплообмен при турбулентном движении паровой пленки.

Теплообмен излучением.

Основные законы теплового излучения. Закон Планка, закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа, закон Ламберта. Поглощение, испускание и рассеяние излучения. Индикатриса рассеяния. Угловые коэффициенты излучения.

Интегро-дифференциальное уравнение переноса излучения, двухпотокное приближение. Оптическая толщина среды, приближения оптически тонкого и оптически толстого слоя. Коэффициент лучистой теплопроводности. Совместный перенос теплоты теплопроводностью и излучением.

Гидрогазодинамика

Уравнения движения идеальной жидкости: уравнения неразрывности, Эйлера, энергии. Уравнение Бернулли. Потенциальное движение.

Дозвуковое и сверхзвуковое течения газа. Число Маха. Предельная скорость стационарного истечения газа в пустоту.

Поверхности разрыва. Тангенциальные разрывы и ударные волны. Изменение термодинамических параметров газа при прохождении его через ударную волну. Ударная адиабата. Гидродинамика горения: медленное горение и детонация.

Стационарное течение газа в канале переменного сечения. Расчетные и нерасчетные режимы течения. Сопло Лаваля.

Нестационарное одномерное течение идеального газа. Распространение возмущений конечной интенсивности (возникновение в трубе ударных волн). Волны разрежения. Элементарная теория ударной трубы.

Динамика вязкой жидкости. Связь между тензором напряжений и тензором скоростей деформаций. Реологический закон Ньютона. Ньютоновские вязкие жидкости. Основные реологические законы неньютоновских вязких жидкостей.

Уравнения Навье-Стокса. Ламинарное течение жидкости в трубе. Закон Гагена-Пуазейля. Движения вязкой жидкости при больших значениях критерия Рейнольдса. Вывод уравнений Прандтля для ламинарного пограничного слоя. Толщина вытеснения. Пограничный слой на пластине, автомодельное решение Блазиуса. Метод Кармана-Польгаузена.

III. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ЦИКЛЫ И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ.

Паросиловые циклы: цикл Ренкина, цикл с промежуточным перегревом пара. Понятие о паровых котлах, паровых турбинах осевых и радиальных.

Понятие о теплофикационном цикле.

Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания. Циклы газотурбинных двигателей и понятие о газотурбинных и парогазовых установках, зависимость коэффициента полезного действия установок от термодинамических параметров циклов.

Холодильные (обратные) циклы. Холодильные установки: воздушные, парокompрессионные, абсорбционные. Принцип работы теплового насоса. Понятие о методах получения сжиженных газов.

Термодинамический анализ работы компрессоров. Варианты процесса сжатия в компрессоре. Поршневые и ротационные компрессоры. Многоступенчатые компрессоры. Изображение рабочих процессов компрессора в энтропийных диаграммах. Понятие о работе центробежных и осевых компрессоров.

Физические основы тепловых труб. Устройство и принцип работы тепловых труб. Виды тепловых труб. Особенности процессов тепло - и массопереноса в тепловых трубах.

Классификация и принцип работы теплообменников. Рекуперативные и регенеративные теплообменники. Основные конструкции прямо - и противоточных теплообменников-рекуператоров. Расчет средней разности температур при прямотоке и противотоке. Различные схемы расположения поверхностей теплообмена при перекрестном токе. Теплопередача при перекрестном токе. Принцип действия и конструкции регенераторов.

Уравнения теплового баланса в регенераторах.

Коэффициенты полезного действия и методы сравнения циклов теплосиловых установок. Методы интенсификации теплообмена. Развитые поверхности теплообмена рекуперативных теплообменных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика.- М.: Издательский дом МЭИ, 2008
- 2 Новиков И. И. Термодинамика.- М: Машиностроение, 1984
- 3 Лыков А. В. Теория теплопроводности.- М.: Высшая школа,1967
- 4 Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача.- М: Энергия, 1981
- 5 Цветков Ф. Ф., Григорьев Б. А. Тепломассообмен. М.: Издательство МЭИ,2001
- 6 Зигель Р., Хауэлл Д. Теплообмен излучением. - М.: Мир,1975
- 7 Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука,1970
- 8 Лыков А. В. Теория сушки. - М.: Энергия, 1972
- 9 Гухман А. А.Введение в теорию подобия. - М.: Высшая школа,1963
- 10 Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. - М.: Атомиздат,1979
- 11 Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе.- М: Энергоиздат – 1981