



Федеральное агентство по рыболовству  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НР  
Н.А. Кострикова  
02.09.2024 г.

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине  
для подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
(приложение к рабочей программе дисциплины)

## **ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

**Группа научных специальностей.**

**1.3. Физические науки**

**Научная специальность 1.3.14.**

**«ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА».**

**Отрасль науки: технические науки.**

Институт морских технологий, энергетики и строительства.

РАЗРАБОТЧИК: Кафедра строительства.  
ВЕРСИЯ 1.  
ДАТА ВЫПУСКА 01.08.2022.

## 1. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Целью освоения дисциплины «Теплофизика и теоретическая теплотехника» является формирование у обучающегося системы теоретических и практических знаний и навыков, необходимых в преподавательской деятельности аспиранта по основным образовательным программам высшего образования.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

### **Знать:**

- современные проблемы и методологию теоретических и экспериментальных исследований в области теплофизики и теоретической теплотехники;
- молекулярно-кинетическую и статистическую основу теплофизики и термодинамики;
- основные законы, математический аппарат и методы, применяемые в расчетно-теоретических и экспериментальных исследованиях теплофизических свойств, термодинамическом анализе и в теплотехнических расчетах;
- методы решения задач в области теплофизики и теоретической теплотехники;

### **Уметь:**

- проводить анализ состояния экспериментальных и расчетно-теоретических исследований по выбранной теме;
- проводить теплофизические и теплотехнические исследования по заданной или сформулированной самостоятельно теме, используя соответствующий математический аппарат и современные достижения фундаментальной физики;
- выбрать методы решения поставленных задач в области теплофизики и теоретической теплотехники
- использовать результаты экспериментальных исследований в решении поставленных задач;

### **Владеть:**

- математическим аппаратом, применяемом в теплофизике и теоретической теплотехнике;
- методами термодинамического анализа, расчетов теплофизических свойств веществ и фазовых равновесий, методами теплотехнического расчета процессов и оборудования.

## 2 ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ.

2.1 Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

2.2 К оценочным средствам текущего контроля относятся:

- контрольные вопросы к лекционным занятиям и самостоятельному изучению дисциплины.

2.3 К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине относятся:

- вопросы к зачету.

К зачету допускаются аспиранты, получившие положительную оценку по результатам защиты практических работ и получившие допуск (зачет);

### **3 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ**

3.1 В приложении № 1. Представлены контрольные вопросы к лекционным занятиям и самостоятельному изучению дисциплины.

### **4 ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

4.1 Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета. К зачету допускаются аспиранты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины (получившие при этой аттестации оценку «зачтено»).

4.2 В приложении № 2 приведены вопросы к зачету по дисциплине.

4.3 Оценка «зачтено» является экспертной и зависит от уровня освоения аспирантом тем дисциплины (наличия и сущности ошибок, допущенных аспирантом при ответе на вопрос).

4.4 Оценка «не зачтено» ставится в случае неполноты ответа на поставленный вопрос, если тема вопроса раскрыта недостаточно, а так же если ответ содержит информацию несоответствующую поставленному вопросу.

При промежуточной аттестации по дисциплине учитываются оценки аспиранта по практическим занятиям.

## 5 СВЕДЕНИЯ О ФОНДЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ И ЕГО СОГЛАСОВАНИИ

Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине «**Теплофизика и теоретическая теплотехника**» представляет собой образовательный компонент программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО «КГТУ» по научной специальности **1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.**

Авторы – А.А. Герасимов, д.т.н., профессор, профессор кафедры строительства.

Фонд оценочных средств по дисциплине Иностранный язык рассмотрен и одобрен на заседании кафедры строительства (протокол № 1 от 31.08.2022 г.).

Заведующий кафедрой строительства

\_\_\_\_\_ : , к. т. н. доцент, В. А. Пименов

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании методической комиссии института морских технологий, энергетики и строительства (протокол № 6 от 06.09.2022г.)

Председатель учебно-методической комиссии института

\_\_\_\_\_ к.б.н. Н.Р. Ахмедова

Согласовано:

Начальник УПК ВНК

Н.Ю. Ключко

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ

#### Тема 1. Формирование представлений о природе теплоты и строении вещества

Контрольные вопросы.

1. Что такое «теплота»?
2. Что понимают под термином «работа»?
3. Какие способы передачи энергии Вы знаете?

#### Тема 2. Основные понятия и исходные положения термодинамики

Контрольные вопросы.

1. Понятие термодинамической системы, открытые и закрытые системы.
2. Термодинамические и термические параметры системы, независимые параметры.
3. Закон теплового равновесия.
4. Понятие температуры. Какая температурная шкала используется в термодинамике?
5. Принцип самоненарушаемости теплового равновесия.
6. Уравнение состояния.
7. Термодинамический процесс, обратимый и необратимый, работа и теплота процесса

#### Тема 3. Основные законы и уравнения термодинамики

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте и запишите первое начало термодинамики.
2. Дайте понятие внутренней энергии и энтальпии.
3. Какие теплоёмкости Вы знаете и как они связаны?
4. Сформулируйте и запишите второе начало термодинамики?
5. Сформулируйте и запишите теорему Карно?
6. Понятие энтропии.
7. Третье начало термодинамики.
8. Термодинамические потенциалы и характеристические функции.
9. Уравнение Гиббса – Гельмгольца.
10. Термодинамическое равновесие, условия устойчивости термодинамического равновесия?
11. Дифференциальные уравнения термодинамики в частных производных.

#### Тема 4. Основные понятия и исходные положения статистической физики

Контрольные вопросы.

1. Уравнения движения в классической механике, уравнения Гамильтона.
2. Понятие фазового пространства.
3. Теорема Лиувилля.
4. Понятие вероятности, плотность вероятности.
5. Статистическое равновесие.
6. Объяснить понятие бозона и фермиона.

#### Тема 5. Методы равновесной классической статистики

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте и опишите микроканоническое распределение.
2. Сформулируйте и опишите каноническое распределение.
3. Сформулируйте понятие статистического интеграла.

4. Опишите статистическое распределение для системы с переменным числом частиц

Тема 6. Статистическая термодинамика

Контрольные вопросы.

1. Статистический смысл энтропии?
2. Распределение Максвелла-Больцмана?
3. Конфигурационный интеграл?
4. Уравнение состояния?

Тема 7. Основы квантовой статистики

Контрольные вопросы.

1. Когда применяют квантовый подход?
2. Охарактеризуйте статистические распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака?
3. Охарактеризуйте квантовую теорию теплоемкости кристаллов?

Тема 8. Фазовое равновесие и фазовые переходы

Контрольные вопросы.

1. Что понимают под фазовым переходом?
2. Какие фазовые переходы Вы знаете?
3. Запишите условия фазового равновесия чистого вещества и многокомпонентной системы?
4. Охарактеризуйте основные идеи масштабной теории критических явлений?

Тема 9. Термодинамические процессы и циклы

Контрольные вопросы.

1. С какой целью производится термодинамический анализ циклов?
2. Объясните, что понимают под обратимым и необратимым термодинамическим процессом?
3. Охарактеризуйте аппарат дифференциальных уравнений термодинамики в частных производных?
4. Какие задачи решают с использованием дифференциальных уравнений термодинамики в частных производных?

Тема 10. Основы теории флуктуаций

Контрольные вопросы.

1. Вероятность флуктуаций параметров изолированной системы?
2. Флуктуации термодинамических параметров в квазизамкнутой системе?
3. Условия устойчивости флуктуационных процессов
4. Флуктуации температуры, объема и числа частиц в заданном объеме

Тема 11. Метод коррелятивных функций и основные положения неравновесной термодинамики

Контрольные вопросы.

Тема 12. Кинетика газоподобных систем

Контрольные вопросы.

1. Запишите уравнение Больцмана?
2. Сформулируйте H-теорему?
3. Объясните основные положения теории Чепмена – Энскога?

Тема 13. Элементы теории упругости

Контрольные вопросы.

1. Что Вы понимаете по терминами «тензор деформации» и «тензор напряжения»?
2. Сформулируйте обобщенный закон Гука?

Тема 14. Явления переноса массы и импульса в сплошных средах

Контрольные вопросы.

1. Сформулируйте понятие идеальной жидкости?
2. Запишите уравнение Эйлера?
3. Запишите уравнение Навье-Стокса.
4. Охарактеризуйте основные положения теории турбулентности Прандтля?

Тема 15. Элементы газовой динамики

Контрольные вопросы.

1. Запишите формулу Сан-Венана-Вентцеля?
2. Что характеризует число Маха?

Тема 16. Теплопроводность

Контрольные вопросы.

1. Закон Фурье, уравнение теплопроводности, краевые условия?
2. Передача теплоты через плоскую, цилиндрическую и сферическую стенки?
3. Передача теплоты через ребро?
4. Численный метод решения стационарных задач теплопроводности?
5. Температурное поле в процессе нагревания (охлаждения) тел (пластина, цилиндр, шар, параллелепипед)?
6. Численный метод решения нестационарных задач теплопроводности?

Тема 17. Конвективный теплообмен

Контрольные вопросы.

1. Уравнение Навье-Стокса
2. Уравнение энергии
3. Критерии подобия, характеризующие конвективный теплообмен?
4. Теория пограничного слоя?
5. Ламинарный пограничный слой?
6. Турбулентный пограничный слой?
7. Свободная конвекция?
8. Теплообмен при течении в трубах?

Тема 18. Теплообмен при фазовых превращениях

Контрольные вопросы.

1. Виды конденсации?
2. Пленочная конденсация на охлаждаемой вертикальной стенке?
3. Конденсация пара на вертикальной стенке при смешанном режиме течения пленки?
4. Конденсация пара на наружной поверхности горизонтальных труб, пучка труб?
5. Теплообмен при конденсации пара в трубах?
6. Капельная конденсация?

Тема 19. Теплообмен излучением

Контрольные вопросы.

1. Линейчатый спектр, полосатый спектр?

2. Интегральные характеристики энергии излучения?
3. Вектор плотности потока излучения?
4. Закон Кирхгофа, закон Планка, Релея – Джинса, закон смещения Вина, Закон Стефана - Больцмана?
5. Поглощательная и отражательная способности тел?
6. Лучистый теплообмен между пластинами, концентрическими сферами, коаксиальными цилиндрами?
7. Угловые коэффициенты излучения?
8. Расчет теплообмена излучением в произвольной системе тел?



### ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Природа теплоты. Преобразование энергии. Феноменологические и статистические основы термодинамики.
2. Термодинамическая система и окружающая среда. Термодинамическое равновесие. Термодинамические параметры, функции состояния.
2. Основные постулаты. Понятие о термодинамических процессах, процессы равновесные и неравновесные.
3. Внутренняя энергия системы. Основные термодинамические процессы. Теплота и работа как формы обмена энергией – функции процессов. Первый закон термодинамики, его формулировки. Теплоемкости.
4. Уравнение состояния термодинамических систем, термические и калорические уравнения состояния. Вириальная форма уравнений состояния, термические и калорические уравнения состояния. Уравнения Клапейрона-Менделеева и Ван-дер-Ваальса.
5. Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона термодинамики. Условие взаимного превращения тепла и работы в прямом и обратном термодинамических циклах.
6. Принцип адиабатической недостижимости. Голономность пфаффовых форм. Энтропия и термодинамическая температура. Основные уравнения термодинамики для равновесных процессов. Вычисление энтропии. Парадокс Гиббса.
7. Неравенство Клаузиуса. Изменение энтропии в неравновесных процессах. Основное термодинамическое неравенство. Цикл и теоремы Карно.
8. Характеристические термодинамические функции и термодинамические потенциалы. Внутренняя энергия как термодинамический потенциал. Преобразования Лежандра. Выражения для термодинамических потенциалов в интегральной и дифференциальной формах. Соотношение Максвелла. Уравнение Гиббса-Гельмгольца.
9. Тепловая теорема Нернста. Следствия тепловой теоремы: недостижимость абсолютного нуля температур, особенности поведения термических коэффициентов при низких температурах, вырождение идеального газа.
10. Динамические и статистические, феноменологические молекулярно-кинетические зависимости. Статистические ансамбли, фазовое пространство, функции распределения. Теорема Лиувилля. Описание квантовых систем.
11. Микроскопическое распределение. Каноническое распределение Гиббса. Статистический интеграл. Большое каноническое распределение Гиббса для систем с переменным числом частиц. Большая статистическая сумма.
12. Представление внутренней энергии и других термодинамических величин. Статистический смысл энтропии.
13. Статистический интеграл и термодинамические функции идеального газа. Распределение Максвелла-Больцмана. Теорема вириала и закон распределения энергий по степеням свободы.
14. Теплоемкости одно- и многоатомных газов. Статистический интеграл неидеальных газов, конфигурационный интеграл в приближении парных столкновений. Уравнение состояния.

15. Принцип тождественности элементарных частиц. Принцип Паули. Статистические распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Уравнение состояния и статистика квантового идеального газа. Теплоемкость кристаллов, модель Дебая.
16. Классификация термодинамических систем. Основные уравнения термодинамики для сложных систем. Химический потенциал. Условия равновесия. Метастабильные состояния. Равновесие и устойчивость, принцип ЛеШателье-Брауна.
17. Фазовые диаграммы чистого вещества, тройная точка. Равновесие в гомогенной системе. Закон действующих масс. Равновесие в гомогенных многокомпонентных системах. Правило фаз Гиббса.
18. Фазовые переходы первого рода, уравнение Кланейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы второго рода, уравнение Эренфеста, теория Ландау. Критические и закритические явления, критическая точка.
19. Масштабная теория критических явлений. Закон соответственных состояний и термодинамическое подобие.
20. Основные термодинамические процессы и их уравнения, изменение термодинамических функций, теплоты и работы. Исследование диаграмм для расчета процессов. Эффект Джоуля-Томсона.
21. Силовые термодинамические циклы. Влияние параметров циклов на их термический КПД. Паросиловой цикл Ренкина. Циклы холодильной машины и теплового насоса.
22. Распределение Гаусса. Флуктуации термодинамических величин. Формула Пуассона. Корреляция флуктуаций.
23. Броуновское движение. Уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка. Основное кинетическое уравнение для коррелятивных функций.
24. Реакция системы на внешнее динамическое возмущение. Реакция системы на термическое возмущение.
25. Условия локального равновесия. Локальная запись законов сохранения массы, импульса и энергии. Уравнение баланса энтропии. Плотность производства и плотность потока энтропии.
26. Феноменологические соотношения для плотностей потоков тепла, массы и импульса. Соотношения взаимности Онсагера. Замкнутая система дифференциальных уравнений сохранения энергии, массы и импульса.
27. Уравнение Больцмана. H-теорема и закон возрастания энтропии. Уравнение переноса молекулярных признаков (массы, импульса, энергии).
28. Идеи методов Чепмена, Энскога и Грэда, вычисление кинетических коэффициентов.
29. Модель сплошной среды. Тензор деформации. Тензор напряжений. Термодинамика деформирования.
30. Обобщенный закон Гука. Плотность потоков массы, импульса и энергии и соответствующие уравнения сохранения.
31. Перенос массы – уравнение непрерывности с источниками и стоками. Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера. Вихревое движение. Теоремы Гельмгольца и Томсона.
32. Потенциальное движение. Уравнение Бернулли. Парадокс Даламбера. Эффект Магнуса.
33. Вязкая жидкость. Тензор вязких напряжений. Уравнение Навье-Стокса. Диссипация кинетической энергии в вязкой жидкости. Законы подобия.
34. Устойчивость стационарного движения жидкости. Уравнение Рейнольдса для турбулентного движения. Теория турбулентности Прандтля.
35. Движение жидкости в пограничном слое. Уравнение Прандтля. Интегральное уравнение Кармана. Отрыв и турбулизация пограничного слоя. Кризис сопротивления.

36. Динамика разреженного газа. Одномерный поток сжимаемого газа. Формула Сан-Венана-Венцеля. Параметры газа в критической точке. Число Маха.
37. Прямая ударная волна, ударная адиабата, косая ударная волна, ударная поляра, отсоединенная ударная волна. Изменение скоростей и термодинамические функции в ударных волнах.
38. Волна разряжения, изменение термодинамических функций и скоростей. Сопло Лавала.
39. Взаимодействие газового потока с поверхностью. Формула Кнудсена. Режимы течения газа.
40. Основные положения теории разделения изотопов: разделительный элемент, коэффициенты разделения и обогащения. Умножение обогащения в каскаде. Идеальный каскад. Потенциал разделения и разделительная мощность. Первичный эффект разделения в поле центробежных сил. Умножение разделения в противоточной центрифуге. Решение уравнения обогащения в приближении Коэна.
41. Тепловой поток. Уравнение теплопроводности, краевые условия. Стационарная теплопроводность, решение задачи для простейших тел. Объемные и поверхностные источники тепла.
42. Нестационарная теплопроводность. Простейшие задачи для бесконечных и конечных областей. Нелинейная теплопроводность. Автомодельные решения. Тепловые волны. Приближенные численные методы решения.
43. Общие уравнения переноса тепла. Методы подобия и размерности в теории теплообмена. Критерии подобия, критериальные уравнения теплообмена.
44. Теплоотдача при свободной и вынужденной конвекции.
45. Теплообмен в ламинарном пограничном слое, трение и теплообмен при обтекании пластины несжимаемой жидкостью.
46. Теплообмен и трение при турбулентном обтекании плоской пластины.
47. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.
48. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Режимы кипения. Механизм процесса теплообмена при пузырьковом кипении.
49. Кризис кипения. Механизмы теплообмена при пленочном кипении. Теплопередача при ламинарном и турбулентном движении паровой пленки.
50. Основные законы теплового излучения. Формула Планка. Закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа. Лучистый теплообмен между телами. Угловые коэффициенты излучения.
51. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах. Особенности излучения газов и паров. Критерий радиационного подобия.