


**Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
д.т.н. проф.  Драгунов В.К.



«14» мая 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины 1.3.14. Теплофизика и теоретическая
теплотехника**

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности «Теплофизика и теоретическая теплотехника» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является освоение экспериментальных и теоретических исследований по теплофизическим свойствам веществ, термодинамическим процессам, процессам переноса тепла и массы в сплошных и разреженных, гомогенных и гетерогенных средах, сложному теплообмену и физико-химическим превращениям, обоснованию методов интенсификации тепло- и массообмена и тепловой защиты.

Задачами дисциплины являются:

– изучение основных физических явлений, законов и методов расчета термодинамических процессов, процессов переноса тепла и массы, сложного теплообмена и физико-химических превращений;

– обучение навыкам обоснованного принятия решений при выборе методов экспериментального и теоретического исследования по теплофизике и теоретической теплотехнике.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Теплофизика и теоретическая теплотехника - научная специальность, объединяющая исследования по теплофизическим свойствам веществ, термодинамическим процессам, процессам переноса тепла и массы в сплошных и разреженных, гомогенных и гетерогенных средах. Экспериментальные и теоретические исследования по теплофизике и теоретической теплотехнике имеют целью - установление связей между строением веществ и их феноменологическими свойствами, обоснование методов расчета термодинамических и переносных свойств в различном агрегатном состоянии, выявление механизмов переноса массы, импульса и энергии при конвекции, излучении, сложном теплообмене и физико-химических превращениях, обоснование и проверку методов интенсификации тепло- и массообмена и тепловой защиты.

Области исследований

1. Экспериментальные исследования термодинамических и переносных свойств чистых веществ и их смесей в широкой области параметров состояния.
2. Аналитические и численные исследования теплофизических свойств веществ в различных агрегатных состояниях.
3. Исследование термодинамических процессов и циклов применительно к установкам производства и преобразования энергии.
4. Экспериментальные и теоретические исследования процессов взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом.
5. Экспериментальные и теоретические исследования однофазной, свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей, режимных и геометрических параметров теплопередающих поверхностей.
6. Экспериментальные исследования, физическое и численное моделирование процессов переноса массы, импульса и энергии в многофазных системах и при фазовых превращениях.
7. Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси.
8. Разработка методов исследования и расчета радиационного теплообмена в прозрачных и поглощающих средах.
9. Разработка научных основ и создание методов интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты.

Отрасль науки

- технические науки;
- физико-математические науки.

Введение.

В основу данной программы положены следующие дисциплины: теплофизические свойства веществ; термодинамические процессы; процессы переноса тепла и массы в сплошных и разреженных гомогенных и гетерогенных средах.

Термодинамика.

Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Законы идеального газа. Смеси идеальных газов.

Первый закон термодинамики. Теплота. Опыт Джоуля. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Энтальпия. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Уравнение первого закона термодинамики.

Второй закон термодинамики. Циклы. Понятие термического КПД. Источники теплоты. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Цикл Карно. Теорема Карно. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность.

Дифференциальные уравнения термодинамики. Основные математические методы термодинамики. Уравнение Максвелла. Частные производные внутренней энергии и энтальпии. Теплоемкости.

Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела.

Термодинамические свойства веществ. Термические и калорические свойства жидкостей. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха. Уравнение состояния реальных газов. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии.

Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы. Дросселирование, эффект Джоуля — Томпсона. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля). Процесс смешения. Процессы сжатия в компрессоре.

Процессы истечения газов и жидкостей. Параметры торможения. Сопло, диффузор. Полное и статическое давление. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты.

Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия. Циклы Карно, Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты в цикле.

Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы. Холодильные установки. Цикл воздушной холодильной установки. Цикл парокompрессионной холодильной установки. Цикл парозежекторной холодильной установки. Понятие о цикле абсорбционной холодильной установки. Цикл термоэлектрической холодильной установки. Принцип работы теплового насоса. Методы сжижения газов.

Основы химической термодинамики. Термохимия. Закон Гесса. Уравнения Кирхгофа. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Константы равновесия и степень диссоциации. Тепловой закон Нернста.

Тепло- и массообмен.

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 Польгаузена. 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, среднемассовая 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 среднemasсовой температуры 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 расчет 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.

Основы расчета теплообменных аппаратов и средств тепловой защиты.

Современные теплообменные системы: парогенераторы тепловых электрических станций, ядерные энергетические реакторы, камеры сгорания ракетных двигателей, бланкет термоядерного реактора. Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смешительные.

Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Средний температурный напор. Расчет поверхности теплообмена, конечной температуры теплоносителей. Основы гидравлического расчета теплообменников. Определение мощности, затрачиваемой на прокачку теплоносителей.

Особенности выбора средств и методов тепловой защиты. Способ тепловой защиты от конвективного и совместного (конвективно-лучистого) нагрева.

Проникающее охлаждение. Эффект вдува. Теплообмен между пористой матрицей и фильтрующимся охладителем.

Вопросы для самоконтроля:

1. Термодинамический метод. Термодинамический процесс.
2. Законы идеального газа.
3. Первый закон термодинамики. Теплота и работа.
4. Второй закон термодинамики. Цикл Карно. Понятие термического КПД. Энтропия.
5. Дифференциальные уравнения термодинамики. Уравнение Максвелла. Теплоемкость.
6. Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса.
7. Уравнение состояния. Уравнение состояния реальных газов.
8. Термодинамические свойства веществ. Термические и калорические свойства реальных газов и влажного воздуха.
9. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов.
10. Критическая точка. Термодинамические свойства веществ в окрестности критической точки.
11. Термодинамические свойства вещества в метастабильном состоянии.
12. Термодинамические процессы. Дросселирование, эффект Джоуля — Томпсона. Процесс Джоуля.
13. Процессы истечения газов и жидкостей. Сопло, диффузор. Число Маха.

14. Термодинамические циклы тепловых машин. Циклы Отто, Дизеля, Брайтона, Ренкина. Регенерация теплоты.
15. Холодильные циклы. Принцип работы теплового насоса.
16. Термохимия. Закон Гесса. Уравнения Кирхгофа.
17. Химическое равновесие. Тепловой закон Нернста.
18. Уравнение сохранения энергии, закон Фурье, краевые условия задач теплопроводности.
19. Теплопроводность через плоскую стенку. Число Био. Коэффициент теплопередачи.
20. Теплопроводность через цилиндрическую стенку, критический диаметр изоляции.
21. Теплопередача через ребренную стенку.
22. Регулярный режим охлаждения (нагревания) тел.
23. Конвективный теплообмен в однокомпонентной среде. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде.
24. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика).
25. Приведение уравнений переноса к безразмерному виду, критерии подобия, их физический смысл.
26. Теплообмен при внешнем обтекании тела. Система уравнений теплового пограничного слоя.
27. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Автомодельное решение Польгаузена.
28. Переход от ламинарного течения к турбулентному.
29. Осредненные уравнения движения и энергии для турбулентного течения. Кажущиеся напряжения турбулентного трения, турбулентный тепловой поток.
30. Структура пристенной турбулентной области.
31. Аналогия Рейнольдса для теплообмена при турбулентном течении в пограничном слое.
32. Теплообмен на проницаемой поверхности.
33. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.
34. Теплообмен при течении жидкости в каналах. Среднемассовая скорость и температура.
35. Стабилизированный теплообмен в канале при граничных условиях 2-го рода. Интеграл Лайона.
36. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы.
37. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах.
38. Основные закономерности гидродинамики и теплообмена в магнитном поле. Задача Гартмана.
39. Теплообмен при свободной конвекции. Приближение Буссинеска.
40. Свободная конвекция на вертикальной плоской поверхности.

41. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы.
42. Свободная конвекция в замкнутых объемах.
43. Математическое описание и модели двухфазных сред.
44. Универсальные условия совместности на межфазных границах.
45. Специальные условия совместности для процессов тепло- и массообмена.
46. Неравновесность на межфазных границах, квазиравновесное приближение.
47. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности. Решение Нуссельта.
48. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра.
49. Конденсация движущегося пара.
50. Качественные закономерности капельной конденсации.
51. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева.
52. Основные закономерности роста и отрыва паровых пузырьков.
53. Теплообмен при пузырьковом кипении в большом объеме, теплообмен при пленочном кипении.
54. «Кривая кипения». Кризисы кипения в большом объеме.
55. Режимы течения двухфазных потоков в трубах.
56. Кипение жидкости, недогретой до температуры насыщения.
57. Кризис теплоотдачи при кипении в трубах.
58. Совместные процессы тепло- и массопереноса. Перенос энергии и импульса в смеси.
59. Расчет интенсивности переноса энергии и массы компонента при умеренных и высоких скоростях массообмена.
60. Тепло- и массообмен при химических превращениях. Диффузия, сопровождаемая гомогенной или гетерогенной химической реакцией.
61. Процессы на поверхности тела, обтекаемого гиперзвуковым потоком газа.
62. Сублимация поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком.
63. Термическое разложение тела, обтекаемого высокотемпературным потоком химически активного газа.
64. Химическое взаимодействие на поверхности тела, обтекаемого высокотемпературным газовым потоком.
65. Разрушение композиционных материалов в высокотемпературном газовом потоке. Взаимодействие процессов горения и испарения.
66. Основные понятия и законы излучения.
67. Интегральная и спектральная плотности потока излучения.
68. Абсолютно черное тело.
69. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана — Больцмана, Кирхгофа, Ламберта).

70. Зональный метод расчет теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.
71. Излучение и поглощение в газах.
72. Парогенераторы тепловых электрических станций.
73. Ядерные энергетические реакторы.
74. Камеры сгорания ракетных двигателей,
75. Бланкет термоядерного реактора.
76. Теплообменные аппараты: рекуперативные, регенеративные, смесительные.
77. Средний температурный напор в теплообменнике.
78. Конструкторский и поверочный расчеты теплообменных аппаратов.
79. Основы гидравлического расчета теплообменников.
80. Тепловые трубы.
81. Способ тепловой защиты от конвективного и совместного (конвективно-лучистого) нагрева.
82. Теплообмен между пористой матрицей и фильтрующимся охладителем.

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

Раздел 1 Термодинамика

1. Первый закон термодинамики. Теплота, внутренняя энергия и работа. Опыт Джоуля. Энтальпия. Обобщенные силы и обобщенные координаты.
2. Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Цикл Карно. Теорема Карно. Энтропия.
3. Термодинамическое равновесие. Условия фазового равновесия. Фазовые переходы. Уравнение Клапейрона — Клаузиуса.
4. Дифференциальные уравнения термодинамики. Уравнение Максвелла. Теплоемкость.
5. Термические и калорические свойства веществ. Критическая точка. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния реальных газов. Термодинамические свойства веществ на линии фазовых переходов и в критической точке.
6. Основные термодинамические процессы - изохорный, изобарный, изотермический. Политропные процессы.
7. Термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия. Цикл Карно. Циклы теплосиловых установок. Регенерация теплоты в цикле.
8. Химическое равновесие и второй закон термодинамики. Константы равновесия. Термохимия. Закон Гесса. Уравнения Кирхгофа.
9. Обратные тепловые циклы и процессы. Циклы холодильных установок. Циклы воздушной и пароконденсационной холодильных установок. Тепловой насос.
10. Процессы истечения газов и жидкостей. Сопло, диффузор. Уравнение Бернулли. Число Маха. Показатель адиабаты. Струйные аппараты.
11. Дросселирование, эффект Джоуля — Томпсона. Адиабатическое расширение реального газа в вакуум (процесс Джоуля). Процессы смешения. Процессы сжатия в компрессоре.

12. Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Законы идеального газа. Смеси идеальных газов.

Раздел 2 Теплообмен

1. Процессы конденсации. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности: анализ решения Нуссельта. Конденсация на поверхности горизонтального цилиндра. Конденсация движущегося пара.
2. Кипение жидкостей. Условия зарождения парового зародыша в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности нагрева. Закономерности роста и отрыва паровых пузырьков. «Кривая кипения». Кризисы кипения в большом объеме.
3. Режимы течения двухфазных потоков в каналах. Характер изменения среднemasсовой температуры жидкости, температуры стенки, расходного массового паросодержания по длине обогреваемого канала. Кризисы теплоотдачи при кипении в трубах.
4. Теплообмен при свободной конвекции. Приближение Буссинеска. Свободная конвекция на вертикальной плоскости, на поверхности горизонтального цилиндра и сферы. Расчет коэффициентов теплоотдачи. Свободная конвекция в замкнутых объемах.
5. Теплообмен излучением в поглощающих и излучающих средах. Уравнение переноса энергии излучения в излучающе-поглощающей среде. Методы расчета теплообмена.
6. Переход к турбулентности. Осредненные уравнения Рейнольдса. Структура пристенной турбулентной области. Аналогия Рейнольдса.
7. Система уравнений теплового пограничного слоя. Анализ теплообмена при ламинарном течении в пограничном слое методами размерностей. Автомодельное решение Польгаузена. Соотношения для расчета коэффициентов теплоотдачи при различных числах Прандтля.
8. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана — Больцмана, Кирхгофа, Ламберта).
9. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Критерии подобия и их физический смысл. Тройная аналогия.
10. Уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Краевые условия задач теплопроводности и методы аналитического решения. Теплопроводность через плоскую и цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Число Био. Расчет теплопередачи через ребренную стенку.
11. Стабилизированный теплообмен при течении жидкости в трубе и граничных условиях 2-го рода. Среднemasсовая температура. Интеграл Лайона. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов. Особенности теплообмена в околоскритической области.

12. Теплообмен излучением в диатермичной среде. Зональные методы расчета теплообмена в системе тел, разделенных прозрачной средой.

Раздел 3 Вопрос по тематике диссертации

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин . – 5-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд. дом МЭИ, 2008 . – 496 с. - ISBN 978-5-383-00263-6.
2. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок : учебное пособие для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / А. А.

Александров . – 2-е изд., стереот . – М. : Изд. дом МЭИ, 2006 . – 158 с. - ISBN 5-903072-60-7 .

3. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. В. Ягов . – М. : Изд. дом МЭИ, 2014 . – 542 с. - ISBN 978-5-383-00854-6.

4. Тепломассообмен : учебник для вузов по направлению "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев . – М. : Изд. дом МЭИ, 2011 . – 562 с. - ISBN 978-5-383-00563-7.

5. Задачник по тепломассообмену : учебное пособие для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко . – 3-е изд., стер . – М. : Изд. дом МЭИ, 2010 . – 196 с. - ISBN 978-5-383-00468-5 .

6. Механика двухфазных систем : учебное пособие для вузов по направлению "Техническая физика" / Д. А. Лабунцов, В. В. Ягов . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд. дом МЭИ, 2007 . – 384 с. - ISBN 978-5-383-00036-7.

7. Кн.2: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / А. А. Александров, и др. ; Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 2007 . – 564 с. - ISBN 978-5-383-00017-5 .

8. Кн.4 : Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / Б. Г. Борисов, и др. ; Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 2007 . – 632 с. - ISBN 978-5-383-00019-9 .

9. Введение в механику жидкости : учебное пособие для вузов по направлениям "Техническая физика", "Теплоэнергетика" / Е. П. Валуева, В. Г. Свиридов . – 2-е изд., перераб . – М. : Изд. дом МЭИ, 2007 . – 212 с. - ISBN 978-5-383-00109-7 .

10. Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей : учебник для вузов по направлению "Энергетическое машиностроение" и "Теплоэнергетика и теплотехника" / А. Е. Зарянкин . – М. : Изд. дом МЭИ, 2014 . – 590 с. - ISBN 978-5-383-00903-1 .

11. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов по специальности "Атомные электрические станции и установки" / П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская . – 2-е изд., перераб . – М. : Энергоатомиздат, 2008 . – 256 с. - ISBN 978-5-86656-210-7 .

Дополнительная литература:

12. Сложные термодинамические системы / В. В. Сычев . – 5-е изд., доп . – М. : Изд. дом МЭИ, 2009 . – 296 с. - ISBN 978-5-383-00418-0 .

13. Системные методы расчета краевых задач тепломассопереноса: прямые и обратные задачи нестационарной теплопроводности и термоупругих напряжений. Гидродинамика и теплообмен в каналах сложного профиля / П. В. Цой . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 568 с. - ISBN 5-7046-1296-2 .

14. Тепловые процессы в наноструктурах : учебное пособие для вузов по курсам "Тепловые процессы в наноструктурах", "Проблемы и перспективы

наноэнергетики", "Физико-химия наночастиц и наноматериалов", по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. С. Дмитриев, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд. дом МЭИ, 2012 . – 303 с. - ISBN 978-5-383-00708-2 .

15. С.Седлов, Ю.А.Кузма-Кичта // Гидродинамика и теплообмен при кипении водных растворов. Издательский дом МЭИ, 2007. 164 с. ISBN: 978-5-383-00111-0.

16. Попов И.А., Махьянов Х.М., Гуреев В.М. Физические основы и промышленное применение интенсификации теплообмена: Интенсификация теплообмена: монография / под общ. ред. Ю.Ф. Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 560 с. ISBN 978-5-93962-383-4.

17. Теплообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов по специальностям "Теплофизика" и "Атомные электрические станции и установки" направления "Техническая физика" / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев, и др. . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 548 с. - ISBN 5-7046-0843-4.

18. Конденсаторы паротурбинных установок / В. А. Федоров, О. О. Мильман . – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013 . – 560 с. - ISBN 978-5-7038-3826-6 .

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: *(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)*

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Промежуточная аттестация проводится на основании представленного аспирантом отчета, в котором отражены основные результаты научной деятельности в соответствии с индивидуальным планом.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры инженерной теплофизики
к.т.н., доцент

Я.И.Листратов

Заведующий кафедрой инженерной теплофизики
к.ф-м.н., доцент

Д.Н.Герасимов

«СОГЛАСОВАНО»

Заведующий кафедрой общей физики и ядерного синтеза
Д.т.н, профессор

А.В.Дедов

Заведующий кафедрой низких температур
К.т.н., доцент

Ю.Ю.Пузина

Заведующий кафедрой теоретических основ теплотехники
к.т.н, доцент

К.А.Орлов

Заведующий кафедрой тепломассообменных процессов и установок
Д.т.н, профессор

А.Б.Гаряев

Директор ИТАЭ

А.В. Дедов