

**Приложение 6**  
утверждено  
приказом ФИЦ КазНЦ РАН  
18.04.2022 № 9-А

### **Программа вступительного экзамена**

при приеме на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

по дисциплине:

## **ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

### ***1. Пояснительная записка***

Программа вступительного экзамена при приеме на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по теплофизике и теоретической теплотехнике разработана в соответствии с государственными образовательными стандартами высшего образования уровней *специалист, магистр*.

Цель испытаний – определить способность поступающих использовать теоретические основы разделов теплофизики и теоретической теплотехники при решении профессиональных задач.

Вступительный экзамен по специальной дисциплине проводится в устной форме по вопросам программы. Поступающим предлагаются два основных вопроса из программы, на подготовку ответов отводится один час, тезисы ответа записываются поступающими на бланках ответа. Помимо основных вопросов члены комиссии могут задать поступающим дополнительные вопросы, не требующие длительной подготовки.

### ***2. Программа вступительных испытаний***

#### **1. Термодинамика**

Термодинамика и ее метод. Параметры состояния. Определение термодинамической системы. Термические параметры, приборы для измерения давления, температуры. Понятие о термодинамическом процессе. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа, реального газа. Газовые смеси.

Первый закон термодинамики. Теплота. Эквивалентность теплоты и работы. Закон сохранения и превращения энергии. Внутренняя энергия и внешняя работа. Рабочая диаграмма. Уравнение первого закона термодинамики. Энтальпия.

Теплоемкость. Определение массовой, объемной, молярной теплоемкости газа. Зависимость теплоемкости от характера процесса. Изохорная и изобарная

теплоемкости. Отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме. Теплоемкость жидкости и твердого вещества.

Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Формулировка второго закона термодинамики. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Изменение энтропии в необратимых процессах.

Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатный процесс. Политропные процессы.

Циклы. Понятие термического КПД. Источники теплоты. Цикл Карно. Цикл с подводом теплоты по изохоре. Цикл с подводом теплоты по изобаре. Цикл со смешанным подводом теплоты. Холодильные циклы. Обратные тепловые циклы и процессы. Холодильные установки.

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

## 2. Тепломассообмен

*Теплопроводность.* Механизм теплопроводности веществ в твердом (кристаллическом и аморфном), жидком и газообразном состояниях. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат. Краевые условия. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме и одномерном температурном поле. Расчетные соотношения для плоской и цилиндрической стенок. Многослойные стенки. Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты. Контактное термическое сопротивление. Критический диаметр изоляции.

Стационарная теплопроводность при двумерном температурном поле. Численные методы расчета температурных полей. Применение ЭВМ для расчета температурных полей.

Основы теории подобия физических явлений. Константы и числа подобия. Уравнения подобия. Получение критериев подобия на основе теории размерностей и из анализа математической формулировки задачи. Теплопроводность при нестационарном режиме. Критерии подобия для уравнения теплопроводности. Число Био. Число Фурье. Аналитический метод расчета нестационарной теплопроводности. Метод регулярного теплового режима.

*Конвективный теплообмен.* Механизм передачи теплоты при конвективном теплообмене. Формула Ньютона для теплоотдачи. Локальный и средний коэффициент теплоотдачи. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сплошной среде. Эмпирические законы переноса (Ньютона, Фурье, Фика). Дифференциальные уравнения движения вязкой жидкости. Уравнение энергии и его частные формы. Уравнение неразрывности. Дифференциальное уравнение массообмена. Влияние турбулентности на процессы переноса. Уравнение движения, энергии и массообмена, записанные с использованием осредненных характеристик процесса. Коэффициенты турбулентного переноса количества движения, теплоты и вещества.

Теплообмен при внешнем обтекании тела. Понятие о гидродинамическом и тепловом пограничном слое. Уравнение ламинарного пограничного слоя. Дифференциальные уравнения для турбулентного пограничного слоя. Полуэмпирические теории турбулентного переноса. Современные подходы к моделированию турбулентности. Распределение скоростей и температур в турбулентном пограничном слое. Интегральные соотношения импульсов, энергии и массы для пограничного слоя.

Переход ламинарного течения в турбулентное, влияние на турбулентный переход параметров набегающего потока, характеристик обтекаемой поверхности. Получение расчетных соотношений для коэффициентов трения и теплоотдачи на основе интегральных соотношений импульсов и энергии с использованием законов трения и теплообмена.

Теплоотдача при внешнем обтекании одиночной трубы и пучка труб. Теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра и пучков труб.

Физические основы теплоотдачи в коротких и длинных трубах. Математическое описание, среднемассовая скорость и температура. Возможные режимы течения. Характеристики динамического и теплового начального участка. Профили скорости, температуры, при ламинарном и турбулентном течении. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в начальном термическом участке круглой трубы. Начальный гидродинамический участок. Стабилизированный теплообмен при ламинарном течении. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении, расчетные формулы. Влияние переменности свойств жидкости на теплообмен при течении капельных жидкостей и газов в трубах. Результаты опытного исследования теплоотдачи. Влияние шероховатости поверхности трубы на теплоотдачу. Влияние внешней турбулентности на теплоотдачу в трубах.

Теплообмен при свободной конвекции. Механизм и математическое описание. Развитие пограничного слоя на вертикальной плоской поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи. Свободная конвекция на поверхности горизонтального цилиндра и сферы.

Теплообмен при фазовых превращениях. Пленочная и капельная конденсация. Теплообмен при пленочной конденсации на вертикальной поверхности. 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 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.

*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). Излучение реальных тел.

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

### **3. Теплопередача в технических устройствах. Теплообменные аппараты. Системы охлаждения и тепловой защиты**

Тепловая изоляция. Влияние формы стенки на эффективность тепловой изоляции. Теплопередача через ребристую стенку. Условия удовлетворительной работы ребер. Коэффициент эффективности ребер и его оценка для прямых ребер постоянной толщины, суживающихся и круглых ребер.

Задачи интенсификации теплообмена в каналах. Эффективность различных способов интенсификации теплообмена и влияние интенсификаторов на гидравлическое сопротивление каналов. Современные подходы.

Виды теплообменных аппаратов. Рекуперативные, регенеративные и смешительные теплообменные аппараты. Основные уравнения рабочего процесса рекуперативных теплообменников. Расчет рабочей поверхности теплообменника и конечных температур теплоносителей. Гидравлический расчет теплообменников. Способы оценки эффективности теплообменных аппаратов. Выбор параметров теплообменных аппаратов.

Жидкостные и воздушные (конвективные) системы охлаждения элементов энергетических установок. Тепловая защита стенок с помощью тугоплавких, оплавающих и сублимирующих покрытий. Пористое завесное охлаждение.

#### **3. Критерии оценки знаний**

<b>Отлично</b>	Демонстрирует глубокие, специализированные знания по материалам дисциплины
<b>Хорошо</b>	Знает материал дисциплины, но допускает некоторые ошибки
<b>Удовлетворительно</b>	Демонстрирует фрагментарное, не систематическое знание материала дисциплины
<b>Неудовлетворительно</b>	Не имеет знаний по материалам дисциплины

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания

- при поступлении в рамках контрольных цифр – *хорошо*
- при поступлении по договорам об оказании платных образовательных услуг – *удовлетворительно*

#### **4. Рекомендуемая литература**

1. Теория теплообмена /Под ред. А.И. Леонтьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997.
2. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. Изд. 4-е. М.: Энергоатомиздат, 1983.
3. Мухачев Г.А., Щукин В.К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высшая школа. 1991. 480 с.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М.: Высшая школа. 1988. 479 с.
5. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
6. Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен. / Энциклопедия. Машиностроение. Т. 1-2 / Под общ. Ред. К.К. Колесникова, А.И. Леонтьева. М.: Машиностроение, 1999.
7. Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. М.: Энергия, 1977.
8. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных сред. М.: Изд-во МЭИ, 2000.
9. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1970. 659с.
10. Вукалович М.П., Новиков И.И. Термодинамика. М.: Машиностроение. 1972. 700 с.
11. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. Л.: Госэнергоиздат. 1961. 680 с.
12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Физматлит. 1969. 742 с.
13. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидравлическое сопротивление: Справочное пособие. М.: Энергоатомиздат. 1990. 367 с.
14. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / Под ред. В.С.Авдеевского, В.К.Кошкина. М.: Машиностроение, 1992. 528 с.