

Государственный научный центр Российской Федерации –  
федеральное государственное унитарное предприятие  
"Исследовательский центр имени М.В.Келдыша"  
(ГНЦ ФГУП "Центр Келдыша")

УТВЕРЖДАЮ

ВРИО генерального директора



В.В. Кошляков

«03» 2017 г.

## ПРОГРАММА

вступительных испытаний поступающих на обучение по программам  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по специальной дисциплине

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ: 24.06.01 АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

НАПРАВЛЕННОСТЬ: 01.04.14 ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

Форма проведения вступительных испытаний:

Вступительные испытания проводятся в устной форме. Для подготовки ответов поступающий использует экзаменационные листы.

Руководитель направления подготовки  
доктор технических наук, профессор

А.М. Губертов

«27» 03 2017 г.

## 1. Теплопроводность

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.

## 2. Конвективный теплообмен при ламинарном течении сжимаемого газа

Уравнения пограничного слоя на плоской пластине. Пограничный слой на теле сложной формы. Начальные и граничные условия для уравнений пограничного слоя. Система уравнений для ламинарного пограничного слоя. Граничные условия на внешней границе пограничного слоя. Граничные условия на внутренней границе. Тройная аналогия процессов переноса количества движения, энергии и вещества в пограничном слое на поверхности пластины.

Связь между решениями уравнений для плоских и осесимметричных течений, преобразования Степанова - Манглера. Преобразование Стьюартсона. «Подобные» решения уравнений пограничного слоя при сверхзвуковых скоростях потока.

Химические реакции в пограничном слое. Термодинамическое равновесие.

Трение и теплообмен при химических реакциях в пограничном слое. Интегральные соотношения импульсов и энергии. Приближенный метод интегрирования уравнений пограничного слоя, основанный на использовании подобных решений. Метод расчета конвективного теплообмена, основанный на использовании эффективной длины.

Основные особенности трехмерного пограничного слоя. Вторичные течения. Выбор системы координат. Уравнение трехмерного пограничного слоя. Граничные условия. Влияние завихренности внешнего потока. Линии растекания и стекания. Тепло- и массообмен в общем случае трехмерного обтекания критической точки. Трехмерный отрыв пограничного слоя. Основные понятия.

## 3. Конвективный теплообмен при турбулентных режимах течения в пограничном слое

Возникновение турбулентного режима течения и его особенности. Осреднение уравнений движения вязкой жидкости. Турбулентный пограничный слой на пластине при  $Pr = 1$ ,  $Pr_T = 1$ ,  $Le = 1$ ,  $Le_T = 1$ . Аналогия Рейнольдса.

Применение методов теории размерностей и подобия. Основные результаты экспериментальных исследований. Развитый турбулентный пограничный слой в трубах и плоских каналах.

Закон влияния стенки Прандтля (особенности течения в турбулентном пограничном слое на малых расстояниях от стенки). Закон убывания скорости Кармана (особенности профиля скорости в турбулентном пограничном слое на больших расстояниях от стенки). Закон влияния стенки для энтальпии (особенности профиля осредненной энтальпии вблизи стенки).

Закон убывания энтальпии на больших расстояниях от стенки. Логарифмические законы турбулентного трения и теплообмена. Гипотеза Прандтля о длине пути перемешивания. Степенные профили скорости и разности энтальпий. Степенная формула Блазиуса для коэффициента трения для несжимаемых потоков.

Интегральные соотношения импульсов и энергии для турбулентного пограничного слоя. Замкнутая система уравнений турбулентного пограничного слоя для несжимаемых течений в случае непроницаемой стенки. Турбулентный пограничный слой на поверхности непроницаемой пластины при ступенчатом распределении температуры стенки.

Эквивалентные числа Рейнольдса для динамического и теплового турбулентного пограничного слоя в несжимаемых потоках  $Z$  и  $Z_T$ . Трение и теплообмен при турбулентных режимах в случае сжимаемых потоков. Метод эффективной длины для турбулентного пограничного слоя.

#### 4. Теплообмен за счет излучения и поглощения лучистой энергии

Поле излучения. Величины, описывающие взаимодействие между излучением и средой. Уравнение переноса лучистой энергии. Термодинамика излучения. Закон Кирхгофа. Закон излучения Стефана-Больцмана. Основные уравнения радиационной газовой динамики. Радиационный теплообмен на поверхности тела. Уравнения Навье-Стокса с учетом излучения. Лучистый теплообмен между твердыми телами в непоглощающей среде. Роль экранов, экранно-вакуумная изоляция.

#### 5. Основы расчета теплообменных аппаратов и средств тепловой защиты

Современные теплообменные системы: ядерные энергетические реакторы, камеры сгорания ракетных двигателей. 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. Способы тепловой защиты от конвективного и совместного (конвективно-лучистого) нагрева.

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

#### Основная литература

В.Я. Лихущин. Теория теплообмена. Курс лекций. Под редакцией А.М. Губертова, А.В. Иванова. Центр Келдыша, М., 1998 г

В.С.Авдеевский и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике. 1975 г..

Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

А.М. Губертов, В.В. Миронов, Л.И. Волкова и др., под редакцией А.С. Коротева. Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твердого топлива. Москва, Машиностроение, 2004 г. с. 511.

#### Дополнительная литература

Теоретическая механика. Термодинамика. Теплообмен. / Энциклопедия. Машиностроение. Т. 1–2 Под общ. Ред. К.К. Колесникова, А.И. Леонтьева. М.: Машиностроение, 1999.

Шпильрайн Э.Э., Кессельман П.М. Основы теории теплофизических свойств веществ. М.: Энергия, 1977.

Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных сред. М.: Изд-во МЭИ, 2000.

Новиков И.И. Термодинамика. М.: Машиностроение, 1984.

Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. М.: Атомиздат, 1979.

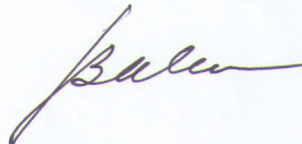
Теплообмен в ядерных энергетических установках / Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А. Соловьев С.Л. – 2-е изд., перер. и доп.М.: Изд-во МЭИ, 2003.

Доктор технических наук



Л.И. Волкова

Доктор технических наук  
старший научный сотрудник



Ф.С. Завелевич