

**Государственная корпорация по космической деятельности
"РОСКОСМОС"**

**Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения»
(ФГУП ЦНИИмаш)**

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ФГУП ЦНИИмаш,
кандидат технических наук,
С.В. Коблов
2019 г.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ В
АСПИРАНТУРУ
НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

24.06.01 Авиационная и ракетно-космическая техника

Направленность/профиль 05.07.01

Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов

Королев, 2019

1. Основы теоретической газовой динамики

Основные понятия, определения. Модель сплошной среды. Границы применимости гипотезы сплошности. Число Кнудсена. Законы сохранения массы, импульса и энергии. Первый и второй законы термодинамики. Модель совершенного газа. Уравнение состояния. Влияние физико-химических процессов в газе при больших скоростях полёта. Вязкая и невязкая модели течения. Критерии подобия (числа Маха, Рейнольдса, Струхала, Прандтля и др.).

Основные уравнения газовой динамики. Лагранжевы и эйлеровы системы координат. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса. Постановка начальных и граничных условий. Примеры точных решений. Распространение малых возмущений в газовой среде. Характеристики и их свойства. Простейшие интегралы уравнений газовой динамики. Понятие о современных численных методах решения уравнений Эйлера и Навье-Стокса.

Одномерные изэнтропические установившиеся течения газа. Одномерное течение в канале переменного сечения. Сопло Лавала. Влияние подвода тепла. Параметры газа при изэнтропическом течении. Течение Прандтля - Майера. Уравнение Бернулли. Линейная теория сверхзвуковых течений. Формула Аккерета.

Сверхзвуковые течения. Теория скачков уплотнения. Природа ударных волн. Соотношения на скачке уплотнения в совершенном газе. Процессы изэнтропического и ударного сжатия (адиабата Гюголио). Изменение энтропии и полного давления на скачке уплотнения. Ударная поляра. Отражение скачков уплотнения от твердой и свободной границ. Взаимодействие скачков уплотнения. Взаимодействие скачков уплотнения с волной разряжения. Условия на контактных разрывах. Влияние физико-химических превращений в газе на параметры течения за скачком уплотнения.

Учёт вязких эффектов. Асимптотические свойства течений при больших числах Рейнольдса. Уравнения ламинарного пограничного слоя, их свойства. Перенос возмущений и постановка граничных условий. Ламинарный пограничный слой (ЛПС) на плоской пластине в несжимаемом потоке (задача Блазиуса) и при больших скоростях. Влияние градиента давления. Явление отрыва. Слабое и сильное взаимодействие. Устойчивость ЛПС по отношению к малым возмущениям. Переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Представление о турбулентном пограничном слое. Основные характеристики ламинарного и турбулентного погранслоя.

Гиперзвуковые течения. Сильные ударные волны. Гиперзвуковая теория малых возмущений. Теория Ньютона-Буземана. Обтекание тонких заостренных тел. Обтекание сферы. Особенности обтекания тонких затупленных тел. Энтропийный эффект. Влияние физико-химических процессов на обтекание затупленных тел. Представление о равновесных и неравновесных течениях.

2. Аэродинамика летательных аппаратов

Аэродинамические характеристики. Главный вектор аэродинамических сил, момента, понятие о центре давления. Общее выражение для аэродинамических коэффициентов сил и моментов (теория размерностей и подобия). Примеры зависимостей аэродинамических коэффициентов сил и моментов от числа Маха и угла атаки. Понятия устойчивости и управляемости летательного аппарата.

Аэродинамика крыла. Теория профиля в дозвуковом потоке сжимаемого газа. Теорема Жуковского о подъёмной силе. Теория вихревой несущей нити. Индуктивное сопротивление. Тонкая пластина в сверхзвуковом потоке. Линейная теория тонкого профиля и крыла конечного размаха в сверхзвуковом потоке. Шарнирные моменты рулевых поверхностей.

Аэродинамика корпуса летательного аппарата. Аэродинамические характеристики корпусов при дозвуковой скорости. Особенности обтекания при околосзвуковой скорости. Критическое число Маха. Особенности АДХ корпусов при околосзвуковой скорости.

Острый конус в сверхзвуковом потоке. Затупленный конус в сверхзвуковом потоке. АДХ корпусов и мотогондол с воздухозаборниками. Влияние струй маршевых двигателей на АДХ РН. Обтекание затупленных тел гиперзвуковым потоком. Влияние свойств реального газа на аэродинамические характеристики тел при гиперзвуковой скорости.

Аэродинамическая интерференция. Природа аэродинамической интерференции. Подъемная сила комбинации корпуса и крыла. Влияние угла крена на интерференцию между корпусом и крылом. Органы управления. Аэродинамический расчет рулей. АДХ летательного аппарата. Подъемная сила, лобовое сопротивление. Поляры первого и второго рода. Моменты тангажа, рыскания, крена.

Экспериментальная аэродинамика. Методы и средства аэродинамического и теплового моделирования. Экспериментальная база ЦНИИмаш для аэродинамических и тепловых исследований и её возможности. Основные виды измерений. Требования к моделям.

3. Процессы теплообмена летательных аппаратов

Конвективный теплообмен. Механизмы переноса тепла (молекулярный, конвективный, излучение) при аэродинамическом нагреве летательных аппаратов. Автомодельные задачи ламинарного пограничного слоя (пластина (конус), критическая точка). Соотношения для теплового потока к стенке. Характерные толщины пограничного слоя. Коэффициенты теплообмена. Влияние высоких температур. Законы подобия в задачах теплообмена. Обобщение на более сложные тела (понятие о методе эффективной длины). Связь между трением и теплообменом. Влияние энтропийных эффектов на теплообмен.

Переход ламинарного течения в турбулентное. Приближенные методы расчета и соотношения для теплообмена в турбулентном пограничном слое. Теплообмен при физико-химических процессах (диссоциация и др.) в газе. Учёт переноса энергии за счёт диффузии в смеси реагирующих газов. Уравнение энергии. Химически равновесный пограничный слой. Понятие о неравновесных течениях. Условия замороженных процессов. Влияние каталитических реакций на стенке.

Влияние вдува и шероховатости на теплообмен. Особенности трехмерного пограничного слоя. Линии растекания и стекания потока.

Особенности течений с ростом высоты полёта. Теплообмен при свободномолекулярном режиме обтекания тел.

Методы экспериментального исследования теплообмена.

Теплопередача в элементах конструкций летательных аппаратов. Основные понятия и уравнения теории теплопроводности. Краевые условия в задачах теплопроводности. Методы решения задач теплопроводности. Автомодельные решения. Численное решение задачи теплопроводности.

Перенос тепла излучением внутри элементов конструкции. Излучение чёрного тела. Простейшие примеры. Условия равновесия на стенке, равновесно-радиационные температуры поверхности. Аэродинамический нагрев поверхности при постоянном тепловом потоке.

Тепловая защита летательных аппаратов. Методы тепловой защиты (ТЗП). Типы теплозащитных материалов. Перенос тепла внутри теплозащитных покрытий. Термическое сопротивление слоя термоизоляции. Нестационарная теплопроводность. Теплофизические характеристики материалов. Аэротермохимическое разрушение и унос теплозащитных материалов. Понятие эффективной энтальпии.

Методы экспериментального исследования теплозащитных покрытий и материалов ТЗП летательных аппаратов.

Основная литература

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
2. Аэрогидромеханика. Учеб. для вузов. Е.Н. Бондарев, В.Т. Дубасов, Ю.А. Рыжов и др. М.: Машиностроение, 1993.
3. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. т. 1, 2. М.: Физматгиз, 1963.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973.
5. Лунев В.В. Течение реальных газов с большими скоростями. М.: Физматлит, 2007.

6. Липницкий Ю.М., Красильников А.В., Покровский В.Н., Шманенков В.Н. Нестационарная аэродинамика баллистического полета. М.: Физматлит, 2003.
7. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высш. школа, 1967.
8. Авдеевский В.С., Галицкий Б.М. и др. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике / Под ред. В.К. Кошкина. М.: Машиностроение, 1975.
9. Ю.В. Полежаев, Юревич Ф.Б. Тепловая защита / М.: Энергия, 1976.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Иностран. л-ра., 1975.
11. Краснов Н.Ф. и др. Основы прикладной аэрогазодинамики. Ч. I, II. – М.: Высшая школа, 1991.
12. Никитин П.В. Тепловая защита. / М.: Изд-во МАИ, 2006.
13. Землянский Б.А., Лунёв В.В., Власов В.И. и др. Конвективный теплообмен летательных аппаратов. Под редакцией Б.А. Землянского. – М.: Физматлит. 2014, 380 с.
14. Методологические основы научных исследований при обосновании направлений космической деятельности, облика перспективных космических комплексов и систем и их научно-технического сопровождения: В 5 томах.– М.: ИТК «Дашков и К», 2016. Том 4: Землянский Б.А., Анфимов Н.А., Балыко Ю.П., Залогин Г.Н. и др. Методология исследований аэротермодинамики и тепловых режимов в обеспечении разработки изделий ракетно-космической техники. 384с.
15. Дегтярь В.Г., Сон Э.Е. Гиперзвуковые летательные аппараты: В 2 томах. М.: Янус-К, 2018. Том 1. 984 с.

Критерии оценивания ответа на вступительном экзамене по специальности

«отлично» - знания глубокие, всесторонние. Ответ полный, без замечаний, продемонстрированы знания по специальной дисциплине. Логичное, последовательное изложение материала. Свободное владение и корректное использование терминов и понятий. Содержательность, смысловая и структурная завершенность высказываний. Соблюдение литературного языка, преобладание научного стиля изложения.

«хорошо» - знание материала в пределах программы. Ответ полный, с незначительными замечаниями. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа. Неточности в определении понятий, использование профессиональной терминологии не в полном объеме. Соблюдение норм литературного языка.

«удовлетворительно» - фрагментарные, поверхностные знания материала. Ответ не полный, с существенными замечаниями. Нарушение логики изложения. Плохое владение понятиями, редкое использование профессиональной терминологии. Слабое знакомство с рекомендованной литературой.

«неудовлетворительно» - незнание либо отрывочные представления материала. Ответ на поставленный вопрос не дан. Беспорядочное и неуверенное изложение материала. Затруднения в определении основных понятий, некорректное использование профессиональной терминологии. Неумение логически определенно и последовательно изложить ответ