

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический
университет имени П.А. Соловьёва»**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке и инновациям
РГАТУ имени П.А. Соловьёва

д-р техн.наук, профессор Т.Д. Кожина

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине
«ВИХРЕВЫЕ ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА»

для аспирантов, обучающихся по специальности
01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Форма обучения	Очная	заочная
Лекции	30	30
Практические занятия	60	60
Самостоятельная работа	162	162
Всего	252	252
Форма контроля	экзамен	

Рабочую программу составили:

д-р техн.наук, профессор
к.т.н., доцент

Ш.А. Пиралишвили
А.И. Гурьянов

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ОиТФ
« 13 » декабря 2011 г., протокол № 6.

Заведующий кафедрой ОиТФ
д-р техн. наук, профессор

Ш.А. Пиралишвили

Рыбинск, 2011 г.

ВВЕДЕНИЕ

Программа составлена с учетом паспорта специальности 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника» и учебного плана аспирантов «01.04.14_78_123-0000 рлax»

Научная специальность для технических наук объединяет исследования по теплофизическим свойствам веществ, термодинамическим процессам, процессам переноса тепла и массы в сплошных и разреженных, гомогенных и гетерогенных средах, в том числе при наличии процессов горения. 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.

В соответствии с паспортом специальности достаточно большое внимание требуется уделить проблематике организации процессов горения различных топлив в технических устройствах с обеспечением достаточно высокой полноты сгорания и требуемых характеристик по чистоте выхлопа с предельно возможной минимизацией габаритов топливосжигающих устройств.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Характерные особенности закрученного течения газа в осесимметричной проточной части задиафрагмированной с одной или двух сторон, позволяющего организовать противоточное либо прямоточное течение приосевого вынужденного и периферийного квазипотенциального вихрей позволяет обеспечить достаточно высокое качество смесеподготовки и последующего горения.

С этой точки зрения знания рабочего процесса вихревых горелок, их конструктивное исполнение и области практического применения представляют несомненный интерес для специалиста, занимающегося научными изысканиями в области теплофизики и теоретической

теплотехники в случае разработки им эффективных экологически чистых горелок и камер сгорания.

Рабочая программа по дисциплине «Вихревые горелочные устройства» призвана отразить ее важную роль как основы создания новой техники и новейших промышленных технологий, связанных с протеканием процесса горения в элементах технических устройств с закруткой и противотоком течения, а также их проектирования. Необходимо дать аспирантам исчерпывающее представление о достижениях в области проектирования вихревых противоточных горелочных устройств и камер сгорания, их прикладного значения для обеспечения функционирования энергетических машин авиационного и наземного применения.

Базовыми дисциплинами для курса «Вихревые горелочные устройства» являются: физика процессов горения, общая и молекулярная физика; термодинамика; химическая термодинамика; газовая динамика; механика жидкости и газа; теория теплофизических свойств веществ; вычислительные методы и математическое моделирование физических процессов; теплопередача и тепломассообмен.

Цель преподавания дисциплины

Формирование комплекса знаний и представлений о вихревых горелочных устройствах (ВГУ) и камерах сгорания, их назначении, конструкции, организации рабочего процесса и требованиях предъявляемых к ним. Получение навыков в области конструктивного гидравлического и теплового расчета элементов ВГУ. Ознакомление аспирантов с проблемами защиты окружающей среды, методами расчета и снижения эмиссии загрязняющих атмосферу веществ и шума генерируемого вихревыми горелочными устройствами и камерами сгорания.

Задачи изучения дисциплины

Задачи изучения дисциплины связаны с необходимостью формирования знаний и практических навыков расчета, проектирования и теоретико-экспериментального исследования возможности применения вихревых горелок в перспективных создаваемых устройствах с обеспечением протекания их рабочего процесса при выполнении современных требований по ограничению загрязняющих выбросов, полноте сгорания при возможно минимальных габаритах объема огневой камеры.

Формирование знаний о горелочных устройствах с закруткой течения и противотоком, принципиальных схемах и конструкциях; классификации назначения ВГУ для энергоустановок, технологических процессов и их характеристик, требований, предъявляемых к ВГУ, функции и назначения основных элементов ВГУ; принципов организации рабочего процесса ВГУ; методов расчета характеристик элементов ВГУ; требований к выбросам в атмосферу загрязняющих веществ (СО, СхНу, NOx, сажи) методов их нормирования и меры по снижению их эмиссии.

Умение определять интегральные термодинамические параметры ВГУ; рассчитывать технико-экономические характеристики и показатели работы, аэродинамические параметры ВГУ, потери давления по тракту, параметры течения воздуха и топлива через отверстия в форсунках, и вихревой камере ВГУ; определять оптимальное распределение подачи воздуха по длине вихревой камеры ВГУ с учётом эффективного охлаждения теплонапряженных элементов, обеспечения требуемых параметров ВГУ; рассчитывать конвективные и радиационные тепловые потоки в ВГУ, температуры стенки вихревой камеры, параметры пленочного и конвективного охлаждения.

Владение навыками расчета условий стабилизации пламени в ВГУ, выбора типа стабилизаторов, разработки и подбора систем воспламенения смеси в ВГУ, подачи топлива в ВГУ; навыками проектирования и выбора центробежных, струйных, пневматических, акустических и вихревых форсунок, расчета образования загрязняющих веществ; основами проектирования конструктивных схем противоточных горелочных устройств.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

«ВИХРЕВЫЕ ПРОТИВОТОЧНЫЕ ГОРЕЛОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (ЛЕКЦИОННЫЙ) КУРС

Лекция 1 - (3 часа).

- 1.1. Рабочий процесс ВГУ на основе односторонних вихревых труб. Особенности течения в огневой камере (камере энергетического разделения).
- 1.2. Классификация ВГУ.
- 1.3. Принципиальные схемы и конструкции ВГУ.

- 1.4. Основные технико-экономические характеристики и показатели работы ВГУ.
- 1.5. Области применения ВГУ.
Классификация конструктивных схем ВГУ и их характеристики.
- 1.6. Требования, предъявляемые к ВГУ.
- 1.7. Основные элементы ВГУ.
- 1.8. Влияние различных факторов на процессы, протекающие в ВГУ.

Лекция 2 - (3 часа).

- 2.1. Физические основы горения топлива в вихревых горелках.
- 2.2. Термогазодинамика и массообмен закрученного потока в камере энергоразделения ВГУ.
- 2.3. Самовоспламенение на основе эффекта энергоразделения.
- 2.4. Критериальная основа описания горения в ВГУ.
- 2.5. Механизмы горения в закрученном потоке ВГУ.

Лекция 3 - (3 часа).

- 3.1. Газодинамическая стабилизация пламени на радиальных закрученных струях.
- 3.2. Методика расчета вихревых противоточных горелочных устройств, камер сгорания и воспламенителей.
- 3.3. Воспламенители форсажных камер сгорания ГТД.

Лекция 4 - (3 часа).

- 4.1. Фронтные форсуночно-горелочные модули основных камер сгорания ГТД и энергетических установок.
- 4.2. Нагреватели, плазмотроны, эжекционные и инфракрасные горелки для малой энергетики и технологических процессов.
- 4.3. Модули термической утилизации отходов.
- 4.4. Водород-кислородные камеры сгорания перспективной энергетики.

Лекция 5 - (3 часа).

- 5.1. Рабочие характеристики ВГУ.
- 5.2. Аэродинамика течения в ВГУ.
- 5.3. Потери давления в ВГУ.
- 5.4. Течение в сопловом вводе и вихревой камере ВГУ.

5.5. Конструкции вихревых камер и их характеристики.

Лекция 6 - (3 часа).

- 6.1. Конвективные и радиационные тепловые потоки в ВГУ.
- 6.2. Расчет пленочного охлаждения стенки жаровой трубы.
- 6.3. Стабилизация пламени в ВГУ.
- 6.4. Воспламенение смеси в ВГУ. Способы воспламенения.

Лекция 7 - (3 часа).

- 7.1. Подача топлива в ВГУ.
- 7.2. Виды форсунок.
- 7.3. Особенности ВГУ как загрязнителей окружающей среды.
- 7.4. Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ (СО, СхНу, NOx, сажи), их нормирование.

Лекция 8 - (3 часа).

- 8.1. Конструктивные схемы малоэмиссионных ВГУ.
- 8.2. Источники внешнего шума ВГУ и его количественные характеристики.
- 8.3. Источники шума при горении.
- 8.4. Способы глушения шума ВГУ.

Лекция 9 - (3 часа).

- 9.1. Проблемы защиты окружающей среды.
- 9.2. Воздухоохранные мероприятия на стадиях подготовки топлива, сжигания топлива и охлаждения продуктов сгорания.

Лекция 10 - (3 часа).

- 10.1. Газодинамическая стабилизация пламени на радиальных высокоэнтальпийных закрученных струях.
- 10.2. Методы расчета систем стабилизации пламени.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Расчет температуры горения в ВГУ(4 часа).
2. Расчет аэродинамических параметров ВГУ. Расчет потерь давления по тракту ВГУ (4 часа).
3. Расчет параметров течения воздуха и топлива через отверстия в форсунках (4 часа).
4. Определение теплофизических свойств и состава продуктов сгорания ВГУ с учетом коэффициента избытка воздуха и диссоциации(4 часа).
5. Определение распределения подачи воздуха по вихревой камере ВГУ с учётом эффективного охлаждения теплонапряженных элементов (4 часа).
6. Определение условий воспламенения топливовоздушной смеси в ВГУ (4 часа).
7. Применение моделей турбулентного горения к расчету скорости распространения пламени ВГУ(4 часа).
8. Модели расчета полноты сгорания топлива в ВГУ (4 часа).
9. Определение характеристик распыла топлива форсунками с использованием интегральных зависимостей (4 часа).
10. Расчет эмиссионных характеристик ВГУ по известной среднемассовой температуре горения(4 часа).
11. Определение расходных характеристик ВГУ с использованием критериальных уравнений. Определение срывных характеристик ВГУ с использованием критериальных уравнений (4 часа).
12. Определение эмиссионных характеристик ВГУ с использованием критериальных уравнений (4 часа).
13. Расчет вихревого воспламенителя. Расчет вихревого форсуночно-горелочного модуля перспективной камеры сгорания (4 часа).
14. Расчет эжекционной вихревой горелки (4 часа).
15. Расчет вихревой водород-кислородной камеры сгорания (4 часа).

ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

1. Какие вам известны схемы горелочных устройств?
2. Охарактеризуйте принципиальные схемы и конструкции ВГУ.
3. Какие области применения ВГУ вам известны?
4. Дайте классификацию конструктивных схем КС энергоустановок и их характеристик.
5. Какие требования предъявляются к ВГУ?
6. Расскажите основные принципы организации рабочего процесса ВГУ.
7. Какие факторы влияют на процессы, протекающие в ВГУ?
8. Как рассчитать потери давления в ВГУ?
9. Какие существуют конструкции фронтных устройств?
10. Как найти конвективные и радиационные тепловые потоки в ВГУ?
11. Как рассчитать пленочное охлаждение стенки жаровой трубы ВГУ?
12. Какие бывают типы стабилизаторов пламени в ВГУ?
13. Расскажите о применяемых в ВГУ форсунках.
14. Расскажите, какие выбросы в атмосферу загрязняющих веществ нормируются.
15. Какие вам известны схемы малоэмиссионного горения?
16. Какие вы знаете источники шума при горении и способы их глушения?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. **Пиралишвили, Ш. А.** Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения [Текст] / Ш. А. Пиралишвили, В. М. Поляев, М. Н. Сергеев; под ред. Леонтьева А. И. – М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. – 412 с.
2. **Пиралишвили Ш.А.** Физика процессов горения [Текст] / Ш. А. Пиралишвили, А. И. Гурьянов. Рыбинск: издательство РГАТА имени П.А. Соловьева, 2010. – 194 с.
3. **Законы горения** [Текст]; под общ. ред. Ю. В. Полежаева. – М.: Энергомаш, 2006. – 352с.

4. **Пчелкин, Ю. М.** Камеры сгорания газотурбинных двигателей [Текст] / Ю. М. Пчёлкин. – М.: Машиностроение, 1986. – 208 с.

5. **Сполдинг, Д. Б.** Горение и массообмен: пер. с англ. Р. Н. Газитуллина и В. И. Ягодкина [Текст] / Д. Б. Сполдинг; под. ред. В. Е. Дорошенко. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с.

6. **Лефевр, А.** Процессы в камерах сгорания ГТД [Текст] / А. Лефевр. – М.: Мир, 1986. – 566 с.

7. **Прудников, А. Г.** Процессы смесеобразования и горения в воздушно-реактивных двигателях [Текст] / А. Г. Прудников, М. С. Волынский, В. И. Сагалович. – М.: Машиностроение, Москва, 1971. – 356 с.

Дополнительный

1. **Халатов, А. А.** Теория и практика закрученных потоков [Текст] / А. А. Халатов. – Киев: Наукова думка, 1989. – 192 с.

2. **Ахмедов, Р. Б.** Аэродинамика закрученной струи [Текст] / Р. Б. Ахмедов, Т. Б. Балагуда, Ф. К. Рашидов [и др.]; под ред. Р. Б. Ахмедова. – М.: Энергия, 1977. – 240с.

3. **Суслов, А. Д.** Вихревые аппараты [Текст] / А. Д. Суслов, С. В. Иванов, А. В. Мурашкин [и др.]; под ред. А. Д. Суслова. – М.: Машиностроение, 1985. – 256с.

4. **Гупта, А.** Закрученные потоки: пер. с англ. [Текст] / А. Гупта, Д. Лилли, Н. Сайред. – М.: Мир, 1987. – 588 с.

5. **Гольдштик, М. А.** Вихревые потоки [Текст] / М. А. Гольдштик. – Новосибирск: Наука, 1981. – 366 с.

6. **Lefebvre, H.** Gas Turbine Combustion [Text] / H. Lefebvre. – Formerly of Purdue University, 1998. – 209 p.

7. **Warnatz, J.** Combustion. Physical and mechanical fundamentals, modeling and simulations, experiments, pollution formation [Text] / J. Warnatz, U. Maas, R.W. Dibble. – N.Y.: Springer, 2001. – 351 p.

8. **Гупта, А.** Обзор работ по горению в закрученных потоках [Текст] / А. Гупта // Ракетная техника и космонавтика. – 1977. – №8. – С. 1 – 19.