

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ

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

д-р техн.наук, профессор Т.Д. Кожина

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «**ФИЗИКА ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ**»

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

Форма обучения	Очная	заочная
Лекции	12	12
Практические занятия	16	16
Самостоятельная работа	8	8
Всего	36	36
Форма контроля	Экзамен 1	

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.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа по дисциплине «Физика процессов горения» призвана отразить ее важную роль как теоретической основы создания новой техники и новейших промышленных технологий, связанных с протеканием процесса горения в элементах технических устройств. Необходимо дать аспирантам исчерпывающее представление о достижениях в области изучения процессов горения и их прикладного значения для обеспечения функционирования перспективных технических устройств.

Базовыми дисциплинами для курса «Физика процессов горения» являются: 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 изучение основных разделов физики процессов горения, касающихся описания элементов химической кинетики, характерных особенностей процессов воспламенения и развития окислительно-восстановительных реакций горения в неподвижных смесях, ламинарных и турбулентных потоках. Ознакомление с характерными особенностями конструкций и методов расчета камер сгорания различного назначения.

Задачи изучения дисциплины

Сформировать у аспирантов комплекс знаний об основных характеристиках применяемых на практике видов топлив, условиях протекания химических реакций в газовых средах, элементах химической кинетики, механизмах и закономерностях протекания теплового и цепного самопроизвольного и вынужденного воспламенения газовых смесей, законах течения реагирующих газовых смесей, условиях распространения пламени в потоке, стабилизации пламени, механизмах образования загрязняющих веществ при горении ископаемых топлив и методах снижения их выбросов в атмосферу. Привить умение, с использованием основополагающих уравнений теории горения, определять тепловые эффекты химических реакций, скорость химических реакций в зависимости от времени, давления, температуры и состава смеси; рассчитывать характеристики цепных реакций, теплового и цепного воспламенения, распространения пламени в неподвижных смесях и поточных системах; определять скорость горения газовых смесей и концентрационные пределы горения; рассчитывать условия стабилизации пламени в потоке с использованием механических и газодинамических стабилизаторов; определять характеристики распыла топлива, параметры смесеобразования; рассчитывать проектировать горелочные устройства, котлы и камеры сгорания для объектов в области теплоэнергетики и теплотехники, работающие на жидком и газообразном топливах. Помочь овладеть навыками организации горения в элементах технических устройств, с которыми связана будущая деятельность аспирантов, с учетом экологических проблем и программ развития энергосберегающих технологий в России.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «ФИЗИКА ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ (ЛЕКЦИОННЫЙ) КУРС

Лекция 1. (1 час).

- 1.1. Период индукции химических реакций (период задержки самовоспламенения).
- 1.2. Период индукции для цепных реакций.
- 1.3. Период индукции для реакций, подчиняющихся уравнению Аррениуса.

Лекция 2.(1 час).

- 2.1. Вынужденное воспламенение.
- 2.2. Воспламенение искровым разрядом.
- 2.3. Воспламенение в пограничном слое .
- 2.4. Тепловая теория вынужденного воспламенения.

Лекция 3.(1 час).

- 3.1. Течения реагирующей газовой смеси.
- 3.2. Неравновесное течение реагирующей газовой смеси.
- 3.3. Система уравнений для стационарного неравновесного плоского течения .
- 3.4. Течение реагирующей смеси в пограничном слое вблизи твердой поверхности.

Лекция 4.(1 час).

- 4.1. Распространение пламени в ламинарном потоке.
- 4.2. Условия распространения волны реакции горения и структура ламинарного фронта пламени.
- 4.3. Распространение фронта пламени.Закон Михельсона.
- 4.4. Распространение ламинарного пламени на примерегорелки Бунзена .
- 4.5. Сферическое распространение пламени. Эффект Махе.

Лекция 5.(1 час).

- 5.1. Подобие распределения температуры и концентрации во фронте ламинарного пламени.
- 5.2. Теории нормального распространения пламени. Теория Зельдовича-Франк-Каменецкого-Семёнова.

Лекция 6.(1 час).

- 6.1. Зависимость нормальной скорости горения от физических факторов.
- 6.2. Граничные скорости распространения ламинарного пламени. Распространение пламени в турбулентном потоке.
- 6.3. Общие свойства турбулентных потоков.
- 6.4. Параметры турбулентной зоны реакции горения.

Лекция 7. (1 час).

- 7.1. Модели турбулентного горения. Поверхностная модель турбулентного горения. Объемная модель турбулентного горения – модель растянутого ламинарного пламени. Микрообъемная модель турбулентного горения.
- 7.2. Критерии реализации различных механизмов горения в турбулентном потоке.
- 7.3. Диаграмма Борги.

Лекция 8.(1 час).

- 8.1. Стабилизация пламени. Стабилизация пламени на границе зон обратных токов.
- 8.2. Расчет стабилизации пламени на основе модели объемно-изотермического реактора (ОиТР).

Лекция 9.(1 час).

- 9.1. Процессы распыла и смесеобразования. Распыл жидкого топлива.
- 9.2. Испарение жидкого топлива.
- 9.3. Смесеобразование в потоке.

Лекция 10.(1 час).

- 10.1. Образование загрязняющих веществ. Образование оксидов азота NO_x в зоне горения.
- 10.2. Термический механизм Я.Б. Зельдовича.
- 10.3. Быстрое образование NO по механизму Фенимора.

Лекция 11.(1 час).

- 11.1. Влияние температуры и состава смеси на образование NO_x. Преобразование топливного азота в NO.

- 11.2. Методы снижения скорости образования NOx при горении органического топлива.
- 11.3. Образование канцерогенных углеводородов при горении органических топлив.

Лекция 12. (1 час).

- 12.1. Горение в закрученном потоке.
- 12.2. Способы оценки интенсивности закрутки потока.
- 12.3. Интенсификация процессов горения закруткой потока.
- 12.4. Подобие процессов в закрученном потоке с горением.
- 12.5. Горение в вихревых противоточных горелках.
- 12.6. Горелка Шоппе.
- 12.7. Камеры сгорания газотурбинных двигателей.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1. Вывод уравнений расчета адиабатной температуры горения в потоке(1 час).
2. Определение теплофизических свойств и состава продуктов сгорания с учетом коэффициента избытка воздуха и диссоциации(2 часа).
3. Численное решение системы уравнений течения реагирующей газовой смеси в 2D и 3D постановке(2 часа).
4. Определение условий вынужденного воспламенения топливовоздушной смеси искровым разрядом. Расчет энергии насыщения(2 часа).
5. Расчет процесса распространения фронта пламени с использованием закона Михельсона(2 часа).
6. Определение нормальной скорости горения методом горелки Бунзена(1 час).
7. Применение моделей турбулентного горения к расчету скорости распространения пламени(2 часа).
8. Модели расчета полноты сгорания топлива в реагирующем потоке.
9. Определение характеристик распыла топлива форсунками с использованием интегральных зависимостей(1 час).
10. Расчет эмиссионных характеристик горелочных устройств по известной среднемассовой температуре горения(2 часа).

ПЕРЕЧЕНЬ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ

1. От каких параметров зависит скорость химической реакции?
2. Какие требования предъявляются к топливу?
3. Как определить время задержки воспламенения?
4. Для чего увеличивают дисперсность распыла топлива в двигателях?
5. Основные требования, предъявляемые к конструкции камеры сгорания?
6. Какие вы знаете виды теплового взрыва, в чём их отличие?
7. Требования, предъявляемые к форсункам?
8. Какие бывают виды форсунок?
9. От чего зависит теплота сгорания топлива?
10. Что такое коэффициент избытка воздуха?
11. Виды топлива, какие критерии учитывают при его добыче?
12. Чем отличается ламинарное и турбулентное распространение фронта пламени?
13. От каких параметров зависит скорость протекания химической реакции?
14. Что такое энергия активации?
15. Что рассчитывается по закону Аррениуса?
16. Виды воспламенения?
17. От чего зависит протяженность зоны горения?
18. Что такое Стефановский поток?
19. Какие механизмы протекания реакции вы знаете?
20. От каких параметров зависит время испарения капли?
21. Что такое цепная реакция?
22. Чем отличается низшая и высшая теплота сгорания?
23. Для чего служит горелка Бунзена?
24. Как определить скорость распространения ламинарного фронта пламени?
25. Как определить скорость распространения турбулентного фронта пламени ?
26. Для чего нужна стабилизация фронта пламени?
27. Какой вид имеет ламинарный и турбулентный фронт пламени?
28. Как осуществляется стабилизация фронта пламени?
29. Запишите основное уравнение массообмена.

30. Что такое гомогенный реактор?
31. Какие вы знаете схемы ГТД.
32. Какие способы стабилизации пламени распространены на практике?
33. Запишите основное уравнение тепловой теории распространения пламени и проанализируйте его.
34. Как уменьшить эмиссию NO_x и CO при горении углеводородных топлив?
35. Что означает термин «бедное горение»?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основной

1. **Пиралишвили Ш.А.** Физика процессов горения [Текст] / Ш. А. Пиралишвили, А. И. Гурьянов. Рыбинск: издательство РГАТА имени П.А. Соловьева, 2010. – 194 с.
2. **Законы горения** [Текст]; под общ.ред. Ю. В. Полежаева. – М.: Энергомаш, 2006. – 352 с.
3. **Пчелкин, Ю. М.** Камеры сгорания газотурбинных двигателей [Текст] / Ю. М. Пчёлкин. – М.: Машиностроение, 1986. – 208 с.
4. **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.
5. **Лефевр, А.** Процессы в камерах сгорания ГТД [Текст] / А. Лефевр. – М.: Мир, 1986. – 566 с.
6. **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. **Талантов, А. В.** Горение в потоке [Текст] / А. В. Талантов. – М.: Машиностроение, 1978. – 160 с.
2. **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.
3. **Щетинков, Е. С.** Физика горения газов [Текст] / Е. С. Щетинков. – М.: Наука, 1965. – 740 с.
4. **Вильямс, Ф. А.** Теория горения [Текст] / Ф. А. Вильямс. – М.: Наука, 2007. – 616 с.