Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение

высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский**

**политехнический университет»**

**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания по специальной дисциплине по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

|  |  |
| --- | --- |
| **Научная специальность** | 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов |
| Направленность (профиль)программы аспирантуры | Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов |
| **Обеспечивающие кафедры:** | Ракетно-космическая техника и энергетические системы (РКТЭС) |
| Авиационные двигатели (АД) |

 Руководитель программы: Бульбович Р.В., профессор кафедры РКТЭС

**Пермь 2022 г.**

**Для поступающих на кафедру**

**«РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»**

**Вопросы**

1. Основные уравнения газовой динамики.
2. Одномерное движение идеального газа. Расчет параметров движения газа по одномерной теории с помощью газодинамических функций.
3. Расход газа через сопло, скорость истечения. Полный импульс, удельный импульс, уравнение тяги.
4. Выбор сопла на заданное значение тяги. Потери удельного импульса в сопле. Основные свойства двухфазных течений.
5. Горение твердых ракетных топлив. Зависимость скорости горения от основных определяющих факторов. Стационарная и нестационарная скорость горения.
6. Твердые ракетные топлива: классификация, состав и требования, предъявляемые к ним. Сравнительная характеристика смесевых и баллиститных твердых ракетных топлив.
7. Термодинамический расчёт процессов в камере сгорания. Условная формула твердого ракетного топлива. Определение мольного состава продуктов сгорания, температуры горения.
8. Определение параметров РДТТ в составе ракеты. Выбор его основных параметров: топлива, материалов конструкции, давлений в камере и на срезе сопла и др.
9. Определение размеров заряда, расчёт поверхности горения при нейтральном законе горения. Расчёт внутрибаллистических характеристик РДТТ.
10. Определение основных параметров сопла Лаваля и его профилирование. Расчётные и нерасчётные режимы работы сопла.
11. Переходные режимы работы двигателя. Процесс воспламенения основного заряда ТРТ. Изменение давления в камере сгорания после полного выгорания топлива.
12. Типы зарядов РДТТ и их основные характеристики. Требования к зарядам РДТТ.
13. Конструкция корпусов РДТТ. Выбор конструкционных материалов: металлы, композитные материалы, их характеристики.
14. Критерии конструктивного совершенства корпуса РДТТ. Весовой анализ энергетических установок.
15. Нагрузки, действующие на РДТТ. Расчётные случаи. Расчёт на прочность корпуса РДТТ.
16. Физико-механические свойства твердых ракетных топлив. Расчет на прочность твердотопливных зарядов. Расчётные нагрузки: температура, давление и массовые силы.
17. Особенности теплообмена в камере сгорания РДТТ. Основные зоны двигателя с точки зрения тепло- и массообменных процессов.
18. Материалы тепловой защиты и требования, предъявляемые к ним. Пассивные и активные теплозащитные материалы. Обоснование выбора потребной толщины теплозащитного покрытия в различных зонах двигателя.
19. Основные требования к сопловым блокам РДТТ. Конструкция односопловых блоков: классический сопловой блок, утопленное сопло, сопло с большой степенью расширения, раздвижные сопловые блоки.
20. Системы управления вектором тяги РДТТ: назначение, классификация, основные характеристики. Выбор типа органа управления. Управляющие сопла РДТТ (поворотные, вращающиеся).
21. Газодинамические органы управления РДТТ, их преимущества и недостатки. Органы управления, использующие вдув газа, перепуск газа из камеры сгорания и впрыск жидкости.
22. Устойчивость процессов в РДТТ. Виды неустойчивости. Механизм возникновения неустойчивого горения. Способы подавления неустойчивого горения.
23. ЖРД с вытеснительной и турбонасосной системами подачи компонентов топлива. Преимущества и недостатки.
24. Жидкие ракетные топлива: классификация, состав и требования, предъявляемые к ним.
25. Характеристика рабочих процессов, происходящих в камере сгорания ЖРД.
26. Смесеобразование в камере сгорания ЖРД. Виды и характеристики форсунок. Требования, предъявляемые к смесеобразующим устройствам.
27. Распределение тепловых потоков в камере сгорания ЖРД. Организация тепловой защиты стенок камеры сгорания и сопла.
28. Расчёт проточного регенеративного охлаждения камеры сгорания ЖРД.
29. Состав и основные характеристики турбонасосных агрегатов ЖРД.
30. Классификация ракетных двигателей. Ядерные двигатели (область применения, примеры конструкции, характеристики, преимущества и недостатки).
31. Задачи, решаемые в рамках ракетно-космической деятельности. Электрические ракетные двигатели (область применения, примеры конструкции, характеристики, преимущества и недостатки).

**Рекомендуемая литература, информационные ресурсы**

1. Ерохин Б.Т. Теория и проектирование ракетных двигателей. Санкт-Петербург: ЛАНЬ, 2015. – 608 с.
2. Дорофеев А.А. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчет и проектирование: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 463 с.
3. Евграшин Ю.Б. Проектирование и отработка ракетных двигателей на твердом топливе. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 354 с.
4. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Черенков А.С. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках: учебное пособие для вузов. – М: Химия, 2000. – 520 с.
5. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П. Теория ракетных двигателей: учеб. для втузов. М.: Машиностроение, 1989. – 462 с.
6. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проек­тирования: учебник для вузов М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 488 с.
7. Губертов A.M., Миронов В.В., Борисов Д.М. и др. Газодинамические и теплофизические процессы в ракетных двигателях твердого топлива. М.: Машино­строение, 2004. – 512с.
8. Ерохин Б.Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ Учебник для высших технических учебных заведений. М.: Машиностроение, 1991. – 560 с.
9. Ерохин Б.Т. Теоретические основы проектирование РДТТ. М.: Машино­строение, 1982. – 206 с.
10. Райзберг Б.А., Ерохин Б.Т., Самсонов К.П. Основы теории рабочих процессов в ракетных системах на твердом топливе. М.: Машиностроение, 1972.
11. Фахрутдинов И.Х., Котельников А.В. Конструкция и проектирование ракетных двигателей твердого топлива: учебник для вузов. – М: Машиностроение, 1987. – 325 с.
12. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 600 с.
13. Бульбович Р.В. Проектная оценка параметров ракетного двигателя твердого топлива / Р.В. Бульбович., Павлоградский В.В. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – 112 с.
14. Бульбович Р.В. Выбор сопла ракетного двигателя на заданное значение тяги на расчетном режиме: учеб.-метод. Пособие / Р.В. Бульбович. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2018. – 59 с.
15. Синюков А.М., Волков Л.И., Львов А.И., Шишкевич А.М. Баллистическая ракета на твёрдом топливе. М.:Воениздат, 1972. – 511 с.

**Для поступающих на кафедру**

**«АВИАЦИОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ»**

**Вопросы**

1. Принцип получения тяги в ТРД. Превращения энергии в ТРД. Параметры ТРД.
2. Работа идеального цикла ТРД. Термический к.п.д. Работа реального цикла ТРД. К.п.д. реального цикла.
3. Процессы, протекающие в осевых компрессорах. Параметры осевых компрессоров. Нормальные и приведенные характеристики осевых компрессоров.
4. Процессы, протекающие в воздухозаборниках ГТД. Параметры воздухо-заборников. Режимы работы воздухозаборников.
5. Процессы, протекающие в камере сгорания ГТД. Параметры камер сгорания.
6. Проблема эмиссии вредных веществ в газотурбинных двигателях.
7. Уравнение совместной работы газовой турбины и реактивного сопла, его практическая значимость
8. Процессы, протекающие в выходных устройствах ГТД. Потери в выходных устройствах.
9. Зависимость удельных параметров ТРД от параметров рабочего процесса.
10. Совместная работа узлов в системе ТРД. Линия совместной работы.
11. Приемистость ТРД. Запуск ТРД. Номенклатура основных режимов работы ТРД.
12. Характеристики ТРД: дроссельная, скоростная, высотная, климатические.
13. Саморегулирование двухвальных ТРД.
14. Двухконтурные ТРДД: схемы и основные параметры, термодинамические преимущества ТРДД перед ТРД. Оптимальное распределение свободной энергии между контурами.
15. Особенности характеристик ТРДД.
16. ТВД и ТВаД: схемы, основные параметры.
17. Особенности совместной работы узлов и характеристик ТВД и ТВаД.
18. Форсирование тяги ТРД. Работа форсажной камеры.
19. Конструктивные схемы ГТД: ТРД, ТДРФ, ТРДД, ТРДДФ, ТВД, ТВаД.
20. Кинематическая схема двигателя.
21. Усилия в ГТД. Силовые схемы.
22. Опоры роторов ГТД. Подшипники.
23. Проблема шума ГТД. Шумоглушение.
24. Требования к компрессорам. Конструктивные схемы компрессоров и вентиляторов.
25. Конструкция ротора компрессора. Лопатки компрессоров. Особенности конструкции и технологии изготовления лопаток вентиляторов.
26. Конструкция статора компрессора. Механизация компрессора.
27. Материалы основных деталей компрессора, технологии их изготовления.
28. Требования к турбинам. Конструктивные схемы турбин.
29. Конструкция роторов турбин.
30. Конструкция статоров турбин.
31. Тепловое состояние и охлаждение турбин.
32. Рабочие и сопловые лопатки турбин. Охлаждение лопаток
33. Радиальные и осевые зазоры в компрессорах и турбинах. Регулирование радиальных зазоров.
34. Материалы основных деталей турбины, технологии их изготовления.
35. Требования к камерам сгорания. Конструктивные схемы камер сгорания.
36. Конструкция, материалы и технология основных элементов камер сгорания.
37. Конструкция форсажных камер. Конструкция и материалы основных элементов.
38. Реактивные сопла. Выходные устройства ГТД наземного применения.
39. Реверсивные устройства.
40. Прочность лопаток ГТД: расчетные схемы, нагрузки, напряженное состояние, критерии и запасы прочности.
41. Прочность дисков ГТД: расчетные схемы, нагрузки, напряженное состояние, критерии и запасы прочности.
42. Колебания лопаток ГТД: Собственные частоты и формы колебаний, факторы, влияющие на собственные частоты колебаний, резонансная диаграмма, демпфирование колебаний лопаток, автоколебания лопаток.
43. Колебания роторов: критические режимы вращения роторов, факторы, влияющие на критические частоты вращения роторов, упруго-демпферные опоры.
44. Вибрации ГТД: типы вибрационных процессов, параметры, спектры вибраций ГТД, измерение и нормирование вибраций.

**Рекомендуемая литература, информационные ресурсы**

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 600 с.
2. Григорьев А. А. Введение в авиационную и ракетную технику : учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Пермь : Изд-во ПНИПУ, 2014. – 175 с.
3. Григорьев А.А. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Теоретические основы: учебное пособие для вузов.
Изд-во ПНИПУ. 2010. – 367 с.
4. Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л. Основы конструиро­вания авиационных двигателей и энергетических установок. Т.1-4. М.: Машиностроение, 2008.
5. Испытания авиационных двигателей : учебник для вузов / Григорьев В.А., Кузнецов С.П., Гишваров А.С., Белоусов А.Н. 2-е изд., доп. Москва: Инновационное машиностроение, 2019. – 541 с.
6. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей : учебное пособие для вузов / Вьюнов С.А., Гусев Ю.В., Карпов А.В., Ковалевская А.Е. Москва: Машиностроение, 1989. – 565 с.
7. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин : учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Изд-во МЭИ, 2000. – 479 с.
8. Кулагин В.В. Теория , расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Основы теории ГТД. 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2003. – 615 с.
9. Нихамкин М.А., Воронов Л.В. Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. Вопросы и задачи: учебное пособие для вузов. Пермь: Изд-во ПГТУ, 2005. – 141 с.

**Пример экзаменационного билета**

|  |  |
| --- | --- |
| ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ |  **УТВЕРЖДАЮ** зав. кафедрой РКТЭС \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Соколовский М.И. «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_\_ г.Вступительные испытания по специальной дисциплине, соответствующей научной специальностиТепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов |
| *Наименование научной специальности* |
| ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №11. Термодинамический расчёт процессов в камере сгорания. Условная формула твердого ракетного топлива. Определение мольного состава продуктов сгорания, температуры горения.

2. Характеристика рабочих процессов, происходящих в камере сгорания ЖРД. |