

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**директор института -
заместитель директора ФАКТ
М.А. Кудров**

| | |
|----------------------------|--|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Теория воздушно-реактивных двигателей |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Авиационные технологии |
| | Физтех-школа авиационных и цифровых технологий |
| | кафедра силовых установок |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.
семинары: 30 час.
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.Е. Макаров, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры силовых установок 20.03.2024

Аннотация

Дисциплина Теория воздушно-реактивных двигателей знакомит студентов с основами теории воздушно-реактивных двигателей (ВРД), дисциплины, лежащей на стыке термодинамики и аэродинамики. Курс содержит как теоретические основы термодинамики, аэродинамики, теплообмена, горения и прочности, так и сведения об их использовании при описании характеристик ВРД.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- знакомство студентов с основами теории воздушно-реактивных двигателей (ВРД), дисциплины, лежащей на стыке дисциплин, связанных с физическими процессами в газотурбинных двигателях (ГТД) и прямоточных воздушно-реактивных двигателях (ПВРД) различного назначения при их работе в различных условиях эксплуатации.

Задачи дисциплины

- формирование у студентов базовых знаний в области теории ВРД;
- приобретение студентами знаний о назначении и особенностях работы ВРД в составе летательного аппарата;
- оказание помощи студентам в преддипломной практике, связанной с физическими процессами в авиационных ВРД.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| | ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов |
| | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия и законы классической физики, лежащие в основе процессов в ВРД;
- порядки численных величин, характерные для различных физических процессов в ВРД;
- современные проблемы физики и вычислительной математики, связанные с описанием и моделированием процессов в ВРД;
- современное состояние дел в проблеме описания и моделирования процессов в ВРД;
- современные способы экспериментального получения характеристик ВРД.

уметь:

- пользоваться полученными знаниями по теории ВРД для понимания основных характеристик ВРД и сравнения различных двигателей;
- проводить оценки тяговых характеристик ВРД с использованием известных интегральных параметров;
- ориентироваться в направлениях развития ВРД и в тенденциях изменения их основных характеристик;
- выводить основные соотношения, связывающие характеристики узлов и элементов ВРД с их тяговыми и топливо-экономическими параметрами;
- пользоваться математической моделью ВРД традиционного типа для расчета его тяго-вых и топливо-экономических характеристик;
- правильно строить дроссельные и высотно-скоростные характеристики ВРД с использованием стандартных приложений MSOffice.

владеть:

- структурой данных, необходимых для моделирования работы ВРД и построения его характеристик;
- навыками самостоятельной работы с математической моделью ВРД традиционного типа;
- навыками обработки результатов применения математической модели ВРД;
- навыками сравнительного анализа характеристик ВРД, полученных для разных условий полета;
- навыками сравнительного анализа характеристик различных ВРД, полученных для заданных условий полета.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| № | Тема (раздел) дисциплины | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. | | | |
|-------------|--|---|----------|-----------------|----------------|
| | | Лекции | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1 | Основные вопросы теории воздушно реактивных двигателей (ВРД). | 3 | 3 | | 3 |
| 2 | Авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) и характеристики его основных узлов. | 3 | 3 | | 3 |
| 3 | Компрессора и турбины: общие сведения; основные уравнения; характеристики и регулирование компрессоров; характеристики и регулирование турбин. | 3 | 3 | | 3 |
| 4 | Определение термодинамических и удельных параметров двигателей. | 3 | 3 | | 3 |
| 5 | Выходные устройства (ВУ). | 3 | 3 | | 3 |
| 6 | Двухконтурные турбореактивные двигатели без форсажной камеры сгорания (ТРДД) и с форсажной камерой сгорания (ТРДДФ). | 5 | 5 | | 10 |
| 7 | Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива двигателей от параметров рабочего процесса и условий полета. | 5 | 5 | | 10 |
| 8 | Параметры, характеризующие эффективность двигателей. | 5 | 5 | | 10 |
| Итого часов | | 30 | 30 | | 45 |

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Подготовка к экзамену | 30 час. |
| Общая трудоёмкость | 135 час., 3 зач.ед. |

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Основные вопросы теории воздушно реактивных двигателей (ВРД).

Принцип действия, классификация, тяга. Удельные параметры. ВРД как тепловая машина (рабочий цикл). ВРД как движитель.

2. Авиационный газотурбинный двигатель (ГТД) и характеристики его основных узлов.

Воздухозаборники (ВЗ): общие сведения; требования к ВЗ; дозвуковые и трансзвуковые ВЗ; сверхзвуковые ВЗ.

3. Компрессора и турбины: общие сведения; основные уравнения; характеристики и регулирование компрессоров; характеристики и регулирование турбин.

Камеры сгорания (КС): общие сведения; характеристика процессов горения; основные типы КС; форсажные КС; эмиссия КС и пути снижения вредных выбросов. Выходные устройства (ВУ): общие сведения; дозвуковые и трансзвуковые ВУ; сверхзвуковые ВУ; ВУ для реверсирования тяги.

4. Определение термодинамических и удельных параметров двигателей.

Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива двигателей от параметров рабочего процесса и условий полета. Одноконтурные турбореактивные двигатели без форсажной камеры сгорания (ТРД) и с форсажной камерой сгорания (ТРДФ).

5. Выходные устройства (ВУ).

Общие сведения; дозвуковые и трансзвуковые ВУ; сверхзвуковые ВУ; ВУ для реверсирования тяги.

Семестр: 2 (Весенний)

6. Двухконтурные турбореактивные двигатели без форсажной камеры сгорания (ТРДД) и с форсажной камерой сгорания (ТРДФ).

Параметры, характеризующие эффективность двухконтурных двигателей и оптимальное рас-пределение свободной энергии между контурами. Определение термодинамических и удельных параметров двигателей.

7. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива двигателей от параметров рабочего процесса и условий полета.

Высотноскоростные и дроссельные характеристики двигателей. Современное состояние и перспективы развития. Высотноскоростные и дроссельные характеристики двигателей. Схемы и области применения.

8. Параметры, характеризующие эффективность двигателей.

Оценка эффективности применения двигателя на самолете. Современное состояние и перспективы развития. Авиационный ГТД в составе самолета. Задачи согласования двигателя и самолета.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей. Под ред. С.М. Шляхтенко. Учебник для ВУЗов – 2-ое изд. Переработанное и дополненное. – М., Машиностроение, 1987.
2. Теория, расчет и проектирование авиационных двигателей и энергетических установок. Под ред. д.т.н., профессора А.В. Сосунова и д.т.н., профессора В.М. Чепкина. – М. Издательство МАИ, 2003.
3. Теория воздушно-реактивных двигателей. Под ред. С.М. Шляхтенко. М., Машиностроение, 1975.

Дополнительная литература

1. Ю.Н. Нечаев. Теория авиационных двигателей. М., ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1990.
2. Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров. Теория авиационных газотурбинных двигателей. Т. 1, 2. М., Машиностроение, 1977.
3. Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров, В.Н. Котовский, А.С. Полев. Теория авиационных двигателей. Т. 1, 2. М., Издательство ВВИА им. Проф. Н.Е. Жуковского, 2006.
4. К.В. Холщевников, О.Н. Емин, В.Т. Митрохин. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. М., Машиностроение, 1986.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Журналы по термодинамике и аэродинамике силовых установок (Двигатель, Техника воздушного флота, Propulsion and Power и др.), доступные через Internet.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, прошедший курс «Теория ВРД», должен

овладеть общим понятийным аппаратом, связанным с авиационными ГТД;

знать базовые понятия теории ВРД, законы сохранения, используемые для моделирования работы авиационных ГТД; ориентироваться в значениях основных параметров и характеристик современных двигателей традиционных схем (ТРД и ТРДД);

научиться применять полученные знания для моделирования параметров и характеристик авиационных ГТД традиционных схем (ТРД и ТРДД);

ориентироваться в современном состоянии отечественного и зарубежного авиадвигателестроения;

знать основные проблемы, связанные с развитием авиадвигателестроения.

В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Для расширения кругозора и выполнения поставленных в курсе задач студентам рекомендуется выполнение самостоятельной работы, включающей:

чтение и конспектирование рекомендованной литературы;

проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе),
подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|----------------------------|---|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра силовых установок |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

Разработчик: В.Е. Макаров, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| | ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов |
| | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Теория воздушно-реактивных двигателей» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия и законы классической физики, лежащие в основе процессов в ВРД;
- порядки численных величин, характерные для различных физических процессов в ВРД;
- современные проблемы физики и вычислительной математики, связанные с описанием и моделированием процессов в ВРД;
- современное состояние дел в проблеме описания и моделирования процессов в ВРД;
- современные способы экспериментального получения характеристик ВРД.

уметь:

- пользоваться полученными знаниями по теории ВРД для понимания основных характеристик ВРД и сравнения различных двигателей;
- проводить оценки тяговых характеристик ВРД с использованием известных интегральных параметров;
- ориентироваться в направлениях развития ВРД и в тенденциях изменения их основных характеристик;
- выводить основные соотношения, связывающие характеристики узлов и элементов ВРД с их тяговыми и топливо-экономическими параметрами;
- пользоваться математической моделью ВРД традиционного типа для расчета его тяго-вых и топливо-экономических характеристик;
- правильно строить дроссельные и высотно-скоростные характеристики ВРД с использованием стандартных приложений MSOffice.

владеть:

- структурой данных, необходимых для моделирования работы ВРД и построения его характеристик;
- навыками самостоятельной работы с математической моделью ВРД традиционного типа;
- навыками обработки результатов применения математической модели ВРД;
- навыками сравнительного анализа характеристик ВРД, полученных для разных условий полета;
- навыками сравнительного анализа характеристик различных ВРД, полученных для заданных условий полета.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Определение термодинамических и удельных параметров двигателей.
2. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива двигателей от параметров рабочего процесса и условий полета.
3. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики двигателей. Современное состояние и перспективы развития.

4. Схемы и области применения.
5. Параметры, характеризующие эффективность двигателей.
6. Особенности определения термодинамических и удельных параметров двигателей.
7. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива двигателей от параметров рабочего процесса и условий полета.
8. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики двигателей.
9. Современное состояние и перспективы развития.
10. Схемы и области применения.
11. Параметры, характеризующие эффективность двигателей.
12. Современное состояние и перспективы развития.
13. Задачи согласования двигателя и самолета.
14. Оценка эффективности применения двигателя на самолете.
15. Современное состояние и перспективы развития.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Принцип действия, классификация, тяга.
2. Удельные параметры.
3. ВРД как тепловая машина (рабочий цикл).
4. ВРД как движитель.
5. Коэффициенты полезного действия ВРД и их взаимосвязь.
6. Воздухозаборники (общие сведения, основные параметры, требования, согласование с двигателем, дозвуковые и трансзвуковые воздухозаборники, сверхзвуковые воздухозаборники).
7. Компрессора (общие сведения, основные параметры, основные уравнения, основные характеристики и регулирование компрессоров).
8. Турбины (общие сведения, основные параметры, основные уравнения, основные характеристики и регулирование).
9. Камеры сгорания (общие сведения, параметры и характеристики процесса горения, основные типы камер сгорания, эмиссия и пути снижения вредных выбросов).
10. Выходные устройства (общие сведения, параметры дозвуковые, трансзвуковые и сверхзвуковые выходные устройства, устройства для реверсирования тяги).
11. Схемы и области применения.
12. Определение термодинамических и удельных параметров двигателей.
13. Зависимость удельной тяги и удельного расхода топлива двигателей от параметров рабочего процесса и условий полета.
14. Высотно-скоростные и дроссельные характеристики двигателей.
15. Схемы и области применения.
16. Параметры, характеризующие эффективность двухконтурных двигателей и оптимальное распределение свободной энергии между контурами.

Билет 1:

1. Принцип действия, классификация, тяга.
2. Воздухозаборники (общие сведения, основные параметры, требования, согласование с двигателем, дозвуковые и трансзвуковые воздухозаборники, сверхзвуковые воздухозаборники).

Билет 2:

1. ВРД как тепловая машина (рабочий цикл).
2. Компрессора (общие сведения, основные параметры, основные уравнения, основные характеристики и регулирование компрессоров).

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

Оценка "зачтено" выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "не зачтено" выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется до 1 часа на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Письменный экзамен не предусмотрен.

Во время проведения экзамена (зачета) обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также обязательной и дополнительной литературой, перечисленной в программе курса, а также имеющимися устройствами отображения информации (ПК, ноутбук и др.).

Зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, лабораторных и других видов работ, предусмотренных программой дисциплины и (или) путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.