

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор передовой инженерной
школы радиолокации,
радионавигации и программной
инженерии**

М.А. Кудров

Рабочая программа дисциплины (модуля)

по дисциплине:	Силовые установки БВС
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра силовых установок
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.Н. Варюхин, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры силовых установок 12.03.2024

Аннотация

В курсе с использованием теоретических основ газовой динамики и термодинамики рассматриваются основные физические процессы и явления, протекающие в элементах авиационных силовых установок. Вводятся понятия двигателя, движителя, силовой установки. Рассматриваются законы сохранения массы, импульса, энергии применительно к течению газа в элементах силовой установки. Дается классификация двигателей по способу создания тяги, термодинамическому циклу и по конструкции. Рассматривается схема и принцип работы поршневого двигателя. Приводятся принципиальные схемы основных типов воздушно-реактивных и ракетных двигателей. Даются понятия и выводятся выражения для тяги и эффективной тяги воздушно-реактивного двигателя. Анализируется рабочий процесс и рассматриваются эксплуатационные характеристики турбореактивного двигателя - скоростные, высотные, дроссельные. Анализируется тепловой баланс турбореактивного двигателя, вводятся понятия эффективного, тягового и полного к.п.д. двигателя. В заключительной части курса рассматриваются области применения различных двигателей на летательных аппаратах.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- ознакомить студентов с принципиальными схемами основных типов силовых установок современных и перспективных беспилотных воздушных судов (БВС), дать необходимые знания о характеристиках и способах оценки эффективности силовых установок и их элементов, которые могут быть использованы при разработке, проектировании и создании БВС различного назначения в конструкторских бюро, научно-исследовательских институтах и предприятиях авиационной отрасли.

Задачи дисциплины

- изучение физических процессов и закономерностей, протекающих в элементах авиационной силовой установки БВС;
- усвоение студентами основных понятий, моделей и методик, используемых в теории оценки эффективности силовых установок в составе БВС различного назначения;
- овладение навыками расчётной оценки и анализа эффективности силовых установок в составе БВС различного назначения.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов

	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- фундаментальные понятия и законы газовой динамики, термодинамики, аэродинамики;
- основные типы авиационных и ракетных двигателей и их компоновок на летательных аппаратах различного назначения;
- принципы работы авиационных двигателей различных типов;
- физические процессы, протекающие в элементах авиационной силовой установки и двигателя;
- модели течения и уравнения, применяемые для описания движения газа в силовой установке, двигателе и их элементах;
- параметры, используемые для оценки эксплуатационных характеристик двигателя и силовой установки;
- особенности и основные методы проведения экспериментальных исследований элементов силовых установок.

уметь:

- выделять основные физические явления при построении теоретических моделей и анализе работы авиационных двигателей различных типов;
- понимать физический смысл теоретических моделей фундаментальных процессов;
- применять основные уравнения сохранения для описания физических процессов в элементах силовой установки с ВРД;
- применять метод трубки тока для вывода формулы тяги реактивного двигателя;
- проводить расчёт совершаемой газом термодинамической работы на этапах рабочего цикла ВРД и ПД;
- делать правильные выводы из сопоставления теоретических и экспериментальных результатов исследования;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в рассматриваемых проблемах;
- видеть в технических и прикладных задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для получения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками самостоятельного поиска необходимой информации в научно-технической литературе и Интернете;
- навыками расчётной оценки тяги силовой установки, эффективной тяги по газодинамическим параметрам потока и аэродинамическим характеристикам планера;
- техникой перевода тягово-экономических характеристик двигателя из используемых в практике технических единиц в систему СИ и наоборот;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач в области аэродинамики силовых установок БВС.

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	Силовая установка (СУ) беспилотных воздушных судов (БВС).	4	4		4
2	Двигатели (воздушные винты, вентиляторы).	5	5		5
3	Подходы к оценке эффективности СУ в составе БВС различных типов.	4	4		4
4	СУ БВС на основе поршневых и газотурбинных двигателей.	4	4		4
5	Электрические машины и системы их управления.	4	4		4
6	Химические источники электрической энергии.	4	4		4
7	Гибридные и электрические СУ БВС.	5	5		5
Итого часов		30	30		30

Подготовка к экзамену	0 час.
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.

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

Семестр: 6 (Весенний)

1. Силовая установка (СУ) беспилотных воздушных судов (БВС).

Понятия Беспилотные авиационные системы (БАС). Классификация БАС. Понятия БВС. Понятия СУ, двигатель, движитель. Примеры силовых установок различных типов БВС. Составные части СУ БВС и их назначение. Компоновки СУ на БВС. Требования к СУ с учётом типа БВС. Классификация СУ БВС.

2. Движители (воздушные винты, вентиляторы).

Типы движителей. Основные положения аэродинамики идеального движителя. Кривые аэродинамических характеристик движителей. Расчет основных характеристик.

3. Подходы к оценке эффективности СУ в составе БВС различных типов.

Критерии эффективности. Учёт аэродинамических и весовых характеристик ЛА. Профили полёта. Метод прямого моделирования. Подходы к решению обратной задачи.

4. СУ БВС на основе поршневых и газотурбинных двигателей.

Составные элементы СУ и их назначение. Схемы и принципы работы поршневых и газотурбинных двигателей. Основные характеристики СУ и ее элементов. Расчет основных характеристик СУ и ее элементов. Оценка эффективности СУ в составе БВС различных типов.

5. Электрические машины и системы их управления.

Основные типы ЭМ применяемых на БВС (двигатели и генераторы). Взаимовлияние параметров электрических машин на их характеристики. Расчет основных характеристик. Основные типы силовых электрических преобразователей, используемых для питания и управления ЭМ БВС. Расчет основных характеристик. Принципы и алгоритмы управления электрическими машинами.

6. Химические источники электрической энергии.

Классификация химических источников тока (ХИТ). Основные характеристики различных типов ХИТ и взаимовлияние параметров. Системы контроля и управления ХИТ.

7. Гибридные и электрические СУ БВС.

Основные архитектуры гибридных (ГСУ) и электрических (ЭСУ) силовых установок. Системы электроснабжения и управления ЭСУ и ГСУ. Оценка эффективности ЭСУ и ГСУ в составе БВС различных типов.

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. Силовые установки с поворотом вектора тяги в полете [Текст]/В. Ф. Павленко, -М., Машиностроение, 1987
2. Силовые установки летательных аппаратов с воздушно-реактивными двигателями [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. И. Поликовский, Д. Н. Сурнов ; М-во высш. и сред. спец. образования, Моск. авиац. ин-т им. С. Орджоникидзе .— М. : Машиностроение, 1965 .— 261 с.

Дополнительная литература

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

Не используются

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

Для контроля и коррекции знаний, обучающиеся могут использовать компьютерное тестирование.

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

Студент, изучающий дисциплину "Силовые установки БВС", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению: Прикладные математика и физика
профиль подготовки: Беспилотные авиационные системы
Физтех-школа авиационных и цифровых технологий
кафедра силовых установок
курс: 3
квалификация: бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: А.Н. Варюхин, канд. техн. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Силовые установки БВС» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия и законы газовой динамики, термодинамики, аэродинамики;
- основные типы авиационных и ракетных двигателей и их компоновок на летательных аппаратах различного назначения;
- принципы работы авиационных двигателей различных типов;
- физические процессы, протекающие в элементах авиационной силовой установки и двигателя;
- модели течения и уравнения, применяемые для описания движения газа в силовой установке, двигателе и их элементах;
- параметры, используемые для оценки эксплуатационных характеристик двигателя и силовой установки;
- особенности и основные методы проведения экспериментальных исследований элементов силовых установок.

уметь:

- выделять основные физические явления при построении теоретических моделей и анализе работы авиационных двигателей различных типов;
- понимать физический смысл теоретических моделей фундаментальных процессов;
- применять основные уравнения сохранения для описания физических процессов в элементах силовой установки с ВРД;
- применять метод трубки тока для вывода формулы тяги реактивного двигателя;
- проводить расчёт совершаемой газом термодинамической работы на этапах рабочего цикла ВРД и ПД;
- делать правильные выводы из сопоставления теоретических и экспериментальных результатов исследования;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в рассматриваемых проблемах;
- видеть в технических и прикладных задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для получения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- навыками самостоятельного поиска необходимой информации в научно-технической литературе и Интернете;
- навыками расчётной оценки тяги силовой установки, эффективной тяги по газодинамическим параметрам потока и аэродинамическим характеристикам планера;
- техникой перевода тягово-экономических характеристик двигателя из используемых в практике технических единиц в систему СИ и наоборот;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач в области аэродинамики силовых установок БВС.

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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

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

1. Что понимается под тягой воздушно-реактивного двигателя (ВРД)?
2. Какие основные элементы входят в состав силовой установки с турбореактивным двигателем (ТРД), их назначение?
3. Принципиальная схема и составные элементы ТРД, их назначение.
4. Каковы физические причины возникновения тяги в ТРД?

5. По какому термодинамическому циклу работает ТРД?
6. Как зависит к.п.д. ТРД от степени повышения давления в компрессоре?
7. Как зависит тяга ТРД от скорости полёта?
8. Влияние высоты полёта на тягу ТРД.
9. Как меняется расход воздуха и тяга ТРД по числу оборотов вала компрессора?
10. Чем обусловлено явление «вырождения» ТРД?
11. При каких скоростях полёта может эффективно работать прямоточный воздушно-реактивный двигатель (ПВРД)?
12. Какие существуют принципиальные способы увеличения тяги жидкостного ракетного двигателя (ЖРД)?
13. По какому термодинамическому циклу работает поршневой двигатель (ПД)?
14. Как зависит к.п.д. ПД от степени сжатия?
15. Какое физическое явление ограничивает степень сжатия карбюраторного ПД?

Билет 1

1. Что понимается под тягой воздушно-реактивного двигателя (ВРД)?
2. Какие основные элементы входят в состав силовой установки с турбореактивным двигателем (ТРД), их назначение?

Билет 2

1. Принципиальная схема и составные элементы ТРД, их назначение.
2. Каковы физические причины возникновения тяги в ТРД?

Билет 3

1. По какому термодинамическому циклу работает ТРД?
2. Как зависит к.п.д. ТРД от степени повышения давления в компрессоре?

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.

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

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.