


УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета


Юнаков Л. П.
(подпись) ФИО
« 31 » 05 20 22

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Направление/специальность подготовки	24.04.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Аэродинамика, гидродинамика и процессы теплообмена двигателей летательных аппаратов
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
5	9	4	144	68	34	0	34	76	0	0	76	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

24.04.05 Двигатели летательных аппаратов

год набора группы: 2022

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ
АППАРАТОВ

Левихин Артем Алексеевич, к.т.н., заведующий кафедрой



Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.



Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1.01 — способен осуществлять сбор, анализ и систематизацию исходных информационных данных для проектирования космической и ракетной техники, анализировать состояние и перспективы развития как космической и ракетной техники в целом, так и ее отдельных направлений
ПСК-1.05 — способность составлять описание принципов действия и устройства проектируемых деталей и узлов машиностроительных конструкций с обоснованием принятых технических решений

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-1.01

знания:

- основные факторы, определяющие совершенство процессов преобразования исходной химической энергии в полезную работу;

-физические основы возникновения реактивной силы и метода ее расчета;

умения:

-рассчитать основные геометрические характеристики камеры ЖРД, как основного силового элемента ДУ;

ПСК-1.05

знания:

- идеальные характеристики ракетных двигателей;

- физические основы возникновения реактивной силы и метода ее расчета;;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕОРИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.04.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания физико-математической подготовки бакалавра и служит основой для освоения дисциплин: **РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.01	ПСК-1.05
5	9	Раздел 1. Физические принципы, основные параметры и характеристики ракетных двигателей. 1.1 Тяга камеры РД. Составляющие тяги. Выражение тяги через газодинамические функции. 1.2 Удельные параметры камеры РД; удельный импульс, расходный комплекс. Удельный импульс и тяга РД. 1.3 Характеристики РД; дроссельная и расходная характеристики камеры РД и РД в целом; высотная характеристика; характеристика по составу топлива.	58	32	12	20	26	30	30
5	9	Раздел 2. Анализ работы РД с учетом реальных условий протекания процессов. 2.1 Системы коэффициентов для учета реальных условий протекания процессов. 2.2 Закон сохранения энергии применительно к камере РД. 2.2 Методы определения теоретических параметров камеры РД: аналитический метод, графический метод, графоаналитический метод. 2.3 Учет тепловых потерь при работе РД. 2.4 Влияние конденсированной фазы на импульсные характеристики РД. 2.5 Нарушение изобаричности процессов в КС. 2.6 Влияние неравномерности распределения компонентов топлива по сечению камеры на импульсные характеристики РД.	44	20	12	8	24	35	35
5	9	Раздел 3. Сопла ракетных двигателей. 3.1 Назначение и типы сопел. 3.2 Энергетические и геометрические характеристики сопла. Общие задачи профилирования сопла. 3.3 Профилирование дозвуковой части круглого осесимметричного сопла. 3.4 Профилирование сверхзвуковой части круглого осесимметричного сопла. 3.5 Построение оптимального контура круглого осесимметричного сопла при заданных ограничениях. 3.6 Особенности импульсных характеристик штыревых и тарельчатых сопел.	42	16	10	6	26	35	35
Всего за 9 семестр			144	68	34	34	76	100	100
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Физические принципы, основные параметры и характеристики ракетных двигателей.	Определение тяги камеры РД различного назначения	6
2		Исследование составляющих тяги камеры РД	4
3		Определение удельных характеристик РД различного назначения	4
4		Определение характеристик РД различного назначения	6
5	Раздел 2. Анализ работы РД с учетом реальных условий протекания процессов.	Аналитический метод расчета теоретических параметров РД	4
6		Оценка влияния тепловых потерь при работе РД на его импульсных характеристики	4
7	Раздел 3. Сопла ракетных двигателей.	Профилирование сверхзвуковой части круглого осесимметричного сопла	6
Всего за 9 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Физические принципы, основные параметры и характеристики ракетных двигателей.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	18
2		Проработка материалов практических	8

		занятий	
3	Раздел 2. Анализ работы РД с учетом реальных условий протекания процессов.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	20
4		Проработка материалов практических занятий	4
5	Раздел 3. Сопла ракетных двигателей.	Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	22
6		Проработка материалов практических занятий	4
Всего за 9 семестр			76

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
9						ДР				ДР			Контр.Р.			ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- вопросы к экзамену.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Дорофеев. . Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014, эл. рес.
2. А. А. Дорофеев. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014, эл. рес.
3. Б. Т. Ерохин. Теория и проектирование ракетных двигателей. СПб.: Лань, 2015, эл. рес.
4. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
3. <http://e.lanbook.com> — ЭБС Лань.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
- <http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Плакаты принципиальных схем различных РД;
2. Плакаты с изображением конструктивных схем элементов РД общего и специального назначения;
3. Препарированные натурные образцы отдельных элементов РД..

6.3. Прочее:

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ТЕОРИЯ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.04.05 *Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-1.01 способен осуществлять сбор, анализ и систематизацию исходных информационных данных для проектирования космической и ракетной техники, анализировать состояние и перспективы развития как космической и ракетной техники в целом, так и ее отдельных направлений;

ПСК-1.05 способность составлять описание принципов действия и устройства проектируемых деталей и узлов машиностроительных конструкций с обоснованием принятых технических решений.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением теории, расчета и проектирования ракетных и реактивных двигателей на химическом топливе, тенденций развития и путей их совершенствования.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- контрольная работа;
- вопросы к экзамену.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Физические принципы, основные параметры и характеристики ракетных двигателей.		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	Б. Т. Ерохин. Теория и проектирование ракетных двигателей: СПб.: Лань, 2015 (1, 2) А. А. Дорофеев. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014 (1)	18
Проработка материалов практических занятий	М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (1, 6)	8
Итого по разделу 1		26
Раздел 2. Анализ работы РД с учетом реальных условий протекания процессов.		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (3, 4) А. А. Дорофеев. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014 (2)	20
Проработка материалов практических занятий		4
Итого по разделу 2		24
Раздел 3. Сопла ракетных двигателей.		
Углубленная проработка разделов курса по конспектам лекций и рекомендуемой литературе	М. В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (2) А. А. Дорофеев. Основы теории тепловых ракетных двигателей. Теория, расчёт и проектирование: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014 (2)	22
Проработка материалов практических занятий		4
Итого по разделу 3		26

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- контрольная работа;
- вопросы к экзамену;
- экзамен.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Контрольная работа

Контрольная работа содержит семь задач и оценивается с помощью системы оценок «зачтено», «не зачтено». «Зачтено» выставляется при правильном решении пяти и более задач контрольной работы.

Контрольные задачи входят в УМК дисциплины.

Вопросы к экзамену

1. Тяга камеры ракетного двигателя.
2. Вывод формулы тяги камеры двигателя в пустоте.
3. Тяга камеры в атмосфере.
4. Составляющие тяги камеры ракетного двигателя.
5. Выражение тяги камеры через газодинамические функции.
6. Удельный импульс камеры сгорания.
7. Расходный комплекс камеры РД.
8. Тяговый комплекс камеры РД.
9. Количественная оценка докритической (дозвуковой) составляющей тяги.
10. Количественная оценка сверхкритической (сверхзвуковой) составляющей тяги.
11. Дроссельная характеристика камеры РД.
12. Расходная характеристика камеры РД.
13. Дроссельная характеристика ракетного двигателя.
14. Регулирование тяги по дроссельной (расходной) характеристике РД.
15. Высотная характеристика камеры РД.
16. Высотная характеристика идеальнорегулируемого сопла.
17. Определение оптимального давления на срезе нерегулируемого сопла.
18. Характеристика РД по составу топлива.
19. Системы коэффициентов для оценки совершенства рабочего процесса в камере РД.
20. Общая форма уравнения сохранения энергии применительно к камере РД.
21. Аналитический метод расчета теоретических параметров РД.
22. Графический метод определения теоретических параметров РД.
23. Графоаналитический метод определения теоретических параметров РД.
24. Влияние теплообмена между компонентами топлива в баках и окружающей средой на импульсные характеристики камеры.
25. Независимое охлаждение камеры РД.
26. Регенеративное охлаждение камеры РД.
27. Равновесное движение двухфазного рабочего тела по соплу РД.
28. Отсутствие механического взаимодействия между фазами и его влияние на импульсные характеристики РД.
29. Отсутствие теплообмена между фазами и его влияние на импульсные характеристики РД.
30. Неравновесное движение двухфазного рабочего тела по соплу РД.
31. Нарушение изобаричности процессов в камере сгорания.
32. Влияние неравномерности распределения компонентов топлива по сечению камеры РД на импульсные характеристики.

33. Назначение и типы сопел РД. Общие задачи профилирования сопла.
34. Автомодельные и неавтомодельные режимы работы сопла.
35. Оптимальный режим работы сопла.
36. Геометрические характеристики круглого осесимметричного сопла (сопла Лавалья).
37. Коэффициент расхода сопла.
38. Особенности профилирования дозвуковой части круглого осесимметричного сопла.
39. Физическая картина течения газа в сверхзвуковой части сопла Лавалья.
40. Потери на трение в свехзвуковой части круглого осесимметричного сопла.
41. Потери на рассеяние в круглом осесимметричном сопле.
42. Построение оптимального контура сверхзвуковой части сопла заданной массы.
43. Построение оптимального контура сверхзвуковой части сопла на заданную степень расширения.
44. Построение оптимального контура сверхзвуковой части сопла заданной длины.
45. Построение оптимального контура сверхзвуковой части сопла заданной массы.

Экзамен

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Допуск к экзамену при условии выполнения всех контрольных мероприятий (сдача контрольных работ). Экзамен предполагает ответы студента на 2 теоретических вопроса и решение задачи. Оценивается правильность решения задачи, а также полнота и правильность ответов.

Оценка «удовлетворительно»: правильно решена задача и полнота ответа на вопросы билета: 55-70% по каждому вопросу.

Оценка «хорошо»: правильно решена задача и полнота ответа на вопросы билета: 70-85% по каждому вопросу.

Оценка «отлично»: правильно решена задача и полнота ответа на вопросы билета: выше 85% по каждому вопросу

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-1.01	ПСК-1.05	
5	9	Раздел 1. Физические принципы, основные параметры и характеристики ракетных двигателей.	58	32	12	20	26	30	30	Контрольная работа
5	9	Раздел 2. Анализ работы РД с учетом реальных условий протекания процессов.	44	20	12	8	24	35	35	Контрольная работа
5	9	Раздел 3. Сопла ракетных двигателей.	42	16	10	6	26	35	35	Вопросы к экзамену
Всего за 9 семестр			144	68	34	34	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100	