

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
(подпись) Юнаков Л. П.  
ФИО  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
Уровень высшего образования	Специалитет
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	
4	8	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  
Михайлов Константин Николаевич, старший преподаватель

\_\_\_\_\_

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  
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ 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-3.4 — способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов
--

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-3.4**

*знания:*

Знаение основных норм прочности твердотопливных двигателей;

*умения:*

Умение составлять схемы нагружения узлов твердотопливных двигателей;

*навыки:*

Навыки расчет прочности узлов твердотопливных двигателей.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ИСПЫТАНИЯ И ДИАГНОСТИКА ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ДУ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач
- ПСК-3.1 — Способен разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, % ПСК-3.4
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		
4	8	<b>Раздел 1. Камера сгорания.</b> Требования к элементам камеры сгорания РДТТ. Материалы камер, металлические и волокнистые композиционные материалы. Нагрузки, действующие на элементы камеры сгорания. Расчет и проектирование элементов камеры сгорания.	30	20	12	8	10	20
4	8	<b>Раздел 2. Тепловое состояние РДТТ.</b> Особенности работы и методы оценки теплозащитных материалов. Теплозащитные и эрозионно стойкие материалы. Температурное состояние конструкций РДТТ.	34	22	12	10	12	40
4	8	<b>Раздел 3. Прочность зарядов РДТТ.</b> Определение контактной прочности вкладного заряда. Расчет на прочность вкладного заряда. Местные напряжения в реальных зарядах.	44	26	10	16	18	40
Всего за 8 семестр			108	68	34	34	40	100
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Камера сгорания.	Методики расчета силовых элементов камеры сгорания.	8
2	Раздел 2. Тепловое состояние РДТТ.	Расчет теплового состояния камеры сгорания твердотопливного двигателя	10
3	Раздел 3. Прочность зарядов РДТТ.	Расчет прочности заряда РДТТ	16
Всего за 8 семестр			34

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Камера сгорания.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	10
2	Раздел 2. Тепловое состояние РДТТ.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	12
3	Раздел 3. Прочность зарядов РДТТ.	Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	18
Всего за 8 семестр			40

### 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
8			ВРЗД			ДР		ВРЗД		ДР				ВРЗД		ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. Б. В. Обносков, В. А. Сорокин, Л. С. Яновский. . Конструкция и проектирование комбинированных ракетных двигателей на твердом топливе. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012, эл. рес.
2. В. И. Кодолов, В. В. Кодолова-Чухонцева, М. Р. Королева. . Композиционные полимерные материалы в ракетных двигателях твердого топлива. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
3. В. П. Белов. . Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012, эл. рес.
4. И. Х. Фахрутдинов. . Ракетные двигатели твёрдого топлива. М.: Машиностроение, 1981, 19 экз.
5. И. Х. Фахрутдинов, А. В. Котельников. . Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива. М.: Машиностроение, 1987, 38 экз.

### 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.

### 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](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. Проектор.

### **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 **ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. 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-3.4 способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с напряженно деформированным состоянием оболочек двигателей на твердом топливе, конструкций прочно-плотных соединений, нагрузок, действующих на РДТТ, тепловое состояние конструкций РДТТ.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 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.
<b>Раздел 1. Камера сгорания.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	В. П. Белов. . Проектирование элементов конструкции ракетных двигателей на твёрдом топливе: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2012 (2) И. Х. Фахрутдинов. . Ракетные двигатели твёрдого топлива: М.: Машиностроение, 1981 (4,5)	10
Итого по разделу 1		10
<b>Раздел 2. Тепловое состояние РДТТ.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	И. Х. Фахрутдинов, А. В. Котельников. . Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива: М.: Машиностроение, 1987 (7) Б. В. Обносов, В. А. Сорокин, Л. С. Яновский. . Конструкция и проектирование комбинированных ракетных двигателей на твердом топливе: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (6) В. И. Кодолов, В. В. Кодолова-Чухонцева, М. Р. Королева. . Композиционные полимерные материалы в ракетных двигателях твердого топлива: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (10)	12
Итого по разделу 2		12
<b>Раздел 3. Прочность зарядов РДТТ.</b>		
Изучение основной и дополнительной литературы по теме раздела	И. Х. Фахрутдинов, А. В. Котельников. . Конструкция и проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива: М.: Машиностроение, 1987 (7) Б. В. Обносов, В. А. Сорокин, Л. С. Яновский. . Конструкция и проектирование комбинированных ракетных двигателей на твердом топливе: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012 (8)	18
Итого по разделу 3		18

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- 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.

#### Вопросы по разделу

Оценивается полнота ответа на вопросы по пройденному материалу. Вопросы по разделу представлены в УМК дисциплины. Контрольное мероприятие считается выполненным при ответе не менее чем на три вопроса из пяти.

#### Экзамен

Экзамен предполагает письменный ответ студента по билетам. Билет включает в себя два вопроса.

Критерии оценки:

"отлично" - полный и точный ответ на 2 вопроса, свободное владение основными терминами и понятиями курса, последовательное и логичное изложение материала курса, законченные выводы и обобщения по теме вопросов, исчерпывающие ответы на вопросы при сдаче экзамена.

"хорошо" - полные и точные ответы на 2 вопроса экзаменационного билета, знание основных терминов и понятий курса, последовательное изложение материала курса, умение формулировать некоторые обобщения по теме вопросов, достаточно полные ответы на вопросы при сдаче экзамена.

"удовлетворительно" - полные и точные ответы на 1 вопрос экзаменационного билета, удовлетворительное знание основных терминов и понятий курса, удовлетворительное знание и владение методами и средствами решения задач, недостаточно последовательное изложение материала курса, умение формулировать отдельные выводы и обобщения по теме вопросов.

"неудовлетворительно" - полный и точный ответ на 1 вопроса экзаменационного билета и менее.

Вопросы по экзамену представлены в УМК дисциплины.

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-3.4	
4	8	Раздел 1. Камера сгорания.	30	20	12	8	10	20	Вопросы по разделу
4	8	Раздел 2. Тепловое состояние РДТТ.	34	22	12	10	12	40	Вопросы по разделу
4	8	Раздел 3. Прочность зарядов РДТТ.	44	26	10	16	18	40	Вопросы по разделу
Всего за 8 семестр			108	68	34	34	40	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	34	40	100	

## Критерии оценивания

### ПСК-3.4

Вопросы открытого типа:

- № 1 Элемент концевой части пера рабочей лопатки компрессора (турбины), предназначенный для снижения напряжений от вибрации и уменьшения перетекания воздуха (газа) называется:
- № 2 Основной нагрузкой, которую, испытывает лопатка турбины является:
- № 3 Как влияет введение упругого элемента в опоры ротора гтд на критическую скорость?
- № 4 От чего зависит критическая скорость ротора?
- № 5 Роторы, работающие на скоростях, меньших, чем критические, принято называть
- № 6 Роторы, работающие на скоростях превышающих критические принято называть
- № 7 Для «жестких» роторов состояние равновесия является
- № 8 Опишите условия протекания прямой прецессии
- № 9 Опишите условия протекания обратной прецессии
- № 10 Опишите условия протекания синхронной прецессии

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Какой параметр является основным при определении прочности узлов твердотопливных ракетных двигателей?
- a) Напряжение
  - b) Температура окружающей среды
  - c) Скорость вращения
  - d) Масса двигателя
- № 2 Что такое критическая скорость ротора?
- a) Максимальная скорость, которую может развить ротор
  - b) Скорость, при которой возникают резонансные колебания ротора
  - c) Скорость, при которой ротор перестает вращаться
  - d) Скорость, при которой ротор начинает вибрировать
- № 3 Какие факторы могут влиять на критическую скорость ротора?
- a) Масса ротора
  - b) Длина ротора
  - c) Жесткость и геометрия ротора
  - d) Все вышеперечисленное
- № 4 Сопоставьте аббревиатуру с соответствующим определением:
- РДТТ
  - ТРТ
  - БТРТ
- A) ракетный двигатель, который использует в качестве топлива твёрдое горючее и окислитель
- B) топливо, состоящее из нитроцеллюлозы и труднолетучих высокоэнергетических пластификаторов или их смесей
- C) твёрдое вещество или смесь отдельных веществ, способная гореть без доступа воздуха, выделяя при этом большое количество газообразного тела, нагретого до высокой температуры
- № 5 Сопоставьте форму днища РДТТ с его характеристикой:
- сферическое
  - эллиптическое
  - торосферическое
  - Бицено
- A) в переходе от днища к обечайке возникают меньшие изгибные напряжения
- B) минимальная масса
- C) Высокий коэффициент заполнения топливом
- D) в переходе от днища к обечайке возникают изгибные напряжения
- № 6 Какие меры предпринимаются для предотвращения работы на критической скорости ротора?
- a) Установка ограничителей скорости
  - b) Проход критической скорости с большим ускорением
  - c) Увеличение длины ротора
  - d) Установка дополнительных лопаток на роторе
- № 7

Выберите зависимость, определяющую величину нормального напряжения, действующего в сечениях стержня при относительной деформации  $\epsilon$  и модуле упругости  $E$

$\epsilon \cdot E$

$E/\epsilon$

$\epsilon/E$

№ 8 Выберите зависимость, определяющую величину деформации стержня длиной  $l$  с площадью поперечного сечения  $F$  и модулем упругости  $E$ , под действием нормальной силы  $P$

$(P \cdot l)/(E \cdot F)$

$(E \cdot F)/(P \cdot l)$

$(E \cdot P)/(l \cdot F)$

№ 9 Выберите зависимость, определяющую величину нормального напряжения, действующего в сечении стержня площадью  $F$  под действием нормальной силы  $N$

$N/F$

$F/N$

$F \cdot N$

$((F \cdot N)^2)/2$

№ 10 Изгибающие моменты от газодинамических сил определяются:

Статическими давлениями

Распределением температуры по высоте лопатки

Треугольниками скоростей