

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских

«21» февраля 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Проектирование комбинированных реактивных двигателей»

**Специальность** 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

**Специализация** Проектирование жидкостных ракетных двигателей

**Квалификация выпускника** инженер

**Нормативный период обучения** 5 лет и 6 м.

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2023

Автор программы



/ В.А.Митрофанов /

Заведующий кафедрой  
Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2023

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины** – обеспечить систематизацию и закрепление студентами углубленных знаний о данной специальности в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования.

Дисциплина «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» является теоретическим и прикладным фундаментом для изучения дисциплин данной специальности, связанных с динамикой космических полетов, термодинамикой, гидро- и газодинамикой, теплообменом, прочностью, особенностями проектирования ЖРД и агрегатов, производственной и экспериментальной отработкой ЖРД и агрегатов.

Изложение учебного материала дисциплины, согласно представленного в рабочей программе календарно-тематического плана, учитывает специфику деятельности специалиста в области создания ЖРД и обеспечивает взаимную увязку основных дисциплин, читаемых на кафедре ракетных двигателей, перед выполнением дипломной работы. Поэтому при преподавании дисциплины упор делается на прикладные аспекты применения перечисленных выше законов.

**1.2. Задачи освоения дисциплины** изучение конструкции, ПГС, основных характеристик и перспектив развития комбинированных реактивных двигателей; изучение особенностей применения двигателей в РН; изучение схем, конструкции, основных характеристик и перспектив развития агрегатов комбинированных реактивных двигателей.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» относится к дисциплинам базовой части блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - способен конструировать агрегаты пневмогидравлических схем двигателей и энергетических установок летательных аппаратов

ПК-2 - способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по двигателям и энергетическим установкам летательных аппаратов и их составным частям

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	<b>Знать</b> классификацию комбинированных реактивных двигателей; основные требования, предъявляемые к ВРД и ЖРД, их параметрам, системам и основным

	узлам.
	<b>Уметь</b> выполнять расчеты основных параметров ВРД и ЖРД
	<b>Владеть</b> основами по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования
ПК-2	<b>Знать</b> основные виды ЖРД, виды РДТТ, КВРД, все виды РН, используемые разными странами в настоящее время
	<b>Уметь</b> осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода; читать ПГС, разбираться в узлах и агрегатах двигателя, пользоваться базовыми формулами, для расчёта двигателя
	<b>Владеть</b> принципами и методами менеджмента исследований и разработок

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		9
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	экзамен
Общая трудоемкость:		
академические часы	180	180
зач.ед.	5	5

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

## очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Введение	История создания РН и РД. Структура ракетно-космической отрасли РФ и зарубежных стран.	2	2	-	10	14
2	Характеристики основных РН мира и применяемых на них ЖРД	РН Р7, Восток, Восход, Союз, Молния, протон, Зенит, Энергия, Циклон, Союз-2, Ангара, Атлас, Дельта, Спейс-Шаттл, Ариан-4, Ариан-5, Великий поход, Н-2, PSLV РД: РД107, РД108, Рд100, РД253, РД0210, РД0212, РД170, РД120, 11Д58М, РД0120, РД261, РД262, РД0124, РД191, РД0124А, РД0146, RS27, RL10, РД180, LR87, RL91, RS68, Викинг, НМ7, Вулкан, Винчи, YF-20, YF-22, YF-73, YF-75, LE-5, LE-7	4	4	4	12	24
3	ЖРД на долгохранимых компонентах топлива, особенности ПГС, конструкции и основные характеристики, перспективы развития	ПГС ЖРД РД0210, РД0212. Основные характеристики, особенности конструкции двигателей и агрегатов. Перспективы развития	2	2	4	14	22
4	Кислородно-углеводородные ЖРД, особенности ПГС, конструкции и основные характеристики, перспективы развития	ПГС кислородно-керосиновых ЖРД РД0110, РД0124 и кислородно-метановых ЖРД РД0134, РД0149, РД0162. Особенности конструкции двигателей и агрегатов. Перспективы развития	2	2	2	12	18
5	Кислородно-водородные ЖРД, особенности ПГС, конструкции и основные характеристики, перспективы развития	ПГС кислородно-водородных ЖРД открытой (Вулкан), замкнутой (РД0120, SSME) и безгазогенераторной (RL10, РД0146, Винчи) схем. Особенности конструкции двигателей и агрегатов. Перспективы развития	2	2	2	14	20
6	Перспективы развития агрегатов ЖРД	Кольцевые КС (Аэроспайк, Ястреб), регулируемые КС (критическое сечение, km), регулируемые сопла, дросселирование КС, повышение оборотов, ТНА, применение перспективных материалов и техпроцессов.	2	2	2	14	20
7	Новые направления разработки нетрадиционных ЖРД, перспективы создания	Трехкомпонентные ЖРД (РД0750, РД0163), ЯРД, ГПВРД, комбинированные РВД, СЭДУ, ЖВРД. Перспективы создания.	4	4	4	14	26
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>90</b>	<b>144</b>

### 5.2 Перечень лабораторных работ

№1,2,3. Предварительный расчет принципиальной схемы двигателя

№ 4,5,6. Расчет основных параметров комбинированных реактивных двигателей и их агрегатов

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-4	Знать классификацию комбинированных реактивных двигателей; основные требования, предъявляемые к ВРД и ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выполнять расчеты основных параметров ВРД и ЖРД	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть основами по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-2	Знать основные виды ЖРД, виды РДТТ, КВРД, все виды РН, используемые разными странами в настоящее время	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода; читать ПГС, разбираться в узлах и агрегатах двигателя, пользоваться базовыми формулами, для расчёта двигателя	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть принципами и методами	Опрос на	Выполнение работ	Невыполнение

менеджмента исследований и разработок	практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	в срок, предусмотренный в рабочих программах	работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
---------------------------------------	--	--	--

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 9 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-4	Знать классификацию комбинированных реактивных двигателей; основные требования, предъявляемые к ВРД и ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам.	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь выполнять расчеты основных параметров ВРД и ЖРД	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть основами по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-2	Знать основные виды ЖРД, виды РДТТ, КВРД, все виды РН, используемые разными странами в настоящее время	Тест	Выполнение теста на 90- 100%	Выполнение теста на 80- 90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода; читать ПГС, разбираться в узлах и агрегатах двигателя, пользоваться базовыми формулами, для расчёта двигателя	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть принципами и методами менеджмента исследований и разработок	Решение прикладных задач в	Задачи решены в полном	Продемонстрирован верный ход	Продемонстрирован верный ход	Задачи не решены

		конкретной предметной области	объеме и получены верные ответы	решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	решения в большинстве задач	
--	--	-------------------------------	---------------------------------	--	-----------------------------	--

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

#### 1. Чему равна работа цикла ЖРД

1.  $k/(k-1) \cdot RT \cdot (1-1/e)$
2.  $k/(k-1) \cdot RT \cdot ((e-1)/\eta_e) \cdot (m \vartheta \eta_c \eta_p / e - 1) \eta_k$
3.  $V_{\Pi}^2/2$
4.  $1-1/e$

#### 2. Чему равна работа цикла ВРД

1.  $k/(k-1) \cdot RT \cdot (1-1/e)$
2.  $k/(k-1) \cdot RT \cdot ((e-1)/\eta_c) \cdot (m \vartheta \eta_c \eta_p / e - 1) \eta_k$
3.  $V_{\Pi}^2/2$
4.  $1-1/e$

#### 3. Чему равна работа цикла ТРД

1.  $k/(k-1) \cdot RT \cdot (1-1/e)$
2.  $k/(k-1) \cdot RT \cdot ((e-1)/\eta_c) \cdot (m \vartheta \eta_c \eta_p / e - 1) \eta_k$
3.  $V_{\Pi}^2/2$
4.  $1-1/e$

#### 4. Выражение для реактивной тяги ЖРД

1.  $G(V_a - V_{\Pi}) + (P_a - P_h)F_a$
2.  $G V_a + (P_a - P_h)F_a$
3.  $m dV/dt$

#### 5. Выражение для реактивной тяги ВРД

1.  $G(V_a - V_{\Pi}) + (P_a - P_h)F_a$
2.  $G V_a + (P_a - P_h)F_a$
3.  $m dV/dt$

#### 6. Выражение для КПД цикла ЖРД

1.  $1-1/e$
2.  $((e-1)/\eta_c) * (m\vartheta \eta_c \eta_p / e - 1) \eta_k / (\vartheta - ((e-1)/\eta_c - 1))$
3.  $2V_{\Pi}/V_a / (1 + (V_{\Pi}/V_a)^2)$
4.  $2 / (1 + V_a/V_{\Pi})$

7. Выражение для КПД цикла ВРД

1.  $1-1/e$
2.  $((e-1)/\eta_c) * (m\vartheta \eta_c \eta_p / e - 1) \eta_k / (\vartheta - ((e-1)/\eta_c - 1))$
3.  $2V_{\Pi}/V_a / (1 + (V_{\Pi}/V_a)^2)$
4.  $2 / (1 + V_a/V_{\Pi})$

8. Выражение для полетного КПД ЖРД

1.  $1-1/e$
2.  $((e-1)/\eta_c) * (m\vartheta \eta_c \eta_p / e - 1) \eta_k / (\vartheta - ((e-1)/\eta_c - 1))$
3.  $2V_{\Pi}/V_a / (1 + (V_{\Pi}/V_a)^2)$
4.  $2 / (1 + V_a/V_{\Pi})$

9. Выражение для полетного КПД ВРД

1.  $1-1/e$
2.  $((e-1)/\eta_c) * (m\vartheta \eta_c \eta_p / e - 1) \eta_k / (\vartheta - ((e-1)/\eta_c - 1))$
3.  $2V_{\Pi}/V_a / (1 + (V_{\Pi}/V_a)^2)$
4.  $2 / (1 + V_a/V_{\Pi})$

10. Выражение для удельной тяги ВРД

1.  $R / (G_B + G_T)$
2.  $G_T / R$
3.  $R / G_B$

**7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

Задача № 1
Определить работу $L_u$ на окружности колеса ступени турбины, если $c_1 = 700$

<p>м/с, <math>\alpha_1 = 20^\circ</math>, <math>u = 500</math> м/с, а выход газа из ступени – осевой.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 410 кДж/кг</li> <li>2. 329 кДж/кг</li> <li>3. 213 кДж/кг</li> </ol>
<b>Задача № 2</b>
<p>Определить полную температуру и полное давление газа на выходе из ступени турбины, если <math>T_0^* = 1650</math> К; <math>p_0^* = 2,0</math> МПа; <math>\eta_{ст}^* = 0,88</math>; а работа на валу ступени турбины <math>L_{ст} = 380</math> кДж/кг.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1113К; 2,1МПа</li> <li>2. 1279К; 1,9МПа</li> <li>3. 1097К; 1,7 МПа</li> </ol>
<b>Задача № 3</b>
<p>Определить работу ступени турбины, если <math>c_1 = 600</math> м/с, <math>c_2 = 340</math> м/с, а действительные теплоперепады в сопловом аппарате и рабочем колесе одинаковы.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 122 кДж/кг</li> <li>2. 144 кДж/кг</li> <li>3. 151 кДж/кг</li> </ol>
<b>Задача № 4</b>
<p>Определить потребное число ступеней в турбине, развивающей мощность <math>N_T = 58000</math> кВт при расходе газа <math>G_T = 100</math> кг/с, если на ее среднем диаметре <math>u_{ср} = 350</math> м/с, а <math>\mu_T = 1,6</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1</li> <li>2. 2</li> <li>3. 3</li> </ol>
<b>Задача № 5</b>
<p>Определить высоту лопатки <math>h_1</math> в выходном сечении соплового аппарата при следующих параметрах газового потока на входе в ступень: <math>p_0^* = 2,2</math> МПа; <math>T_0^* = 1550</math> К; <math>\alpha_1 = 20^\circ</math>; <math>p_1 = 1,15</math> МПа; если коэффициент сохранения полного давления в сопловом аппарате <math>\sigma_{с.а} = p_1^* / p_0^* = 0,99</math>; расход газа <math>G_T = 60</math> кг/с, а средний диаметр проточной части <math>D_{1ср} = 600</math> мм.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 0,035м</li> <li>2. 0,042м</li> <li>3. 0,063м</li> </ol>
<b>Задача № 6</b>
<p>Определить относительное изменение расхода газа через турбину при увеличении частоты ее вращения на 20%, если известно, что давление перед турбиной при этом повысилось на 40%, а режим работы турбины остался подобным исходному.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 12%</li> <li>2. 16%</li> <li>3. 34%</li> </ol>

<b>Задача № 7</b>
<p>Определить как изменится мощность турбины ГТД, если в результате абразивного износа лопаток КПД турбины <math>\eta_m^*</math> уменьшается с 0,9 до 0,85. параметры рабочего процесса турбины:</p> <p><math>T_r^* = 1400 \text{ K}</math>; <math>\pi_m^* = 4</math>, <math>G_r = 100 \text{ кг/с}</math>, <math>K_r = 1,33</math>, <math>R_r = 287 \text{ Дж/(кг K)}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. От 148 кВт до 139 кВт</li> <li>2. От 138 кВт до 149 кВт</li> <li>3. От 148 кВт до 99 кВт</li> </ol>
<b>Задача № 8</b>
<p>Определить, как изменится мощность турбины ГТД, если <math>T_r^* \uparrow</math> от <math>T_{r1}^* = 1400 \text{ K}</math> до <math>T_{r2}^* = 1550 \text{ K}</math>. <math>G_r = 100 \text{ кг/с}</math>, <math>\eta_m^* = 0,9</math>. <math>\pi_m^* = 4</math>, <math>K_r = 1,33</math>, <math>R_r = 287 \text{ Дж/(кг K)}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. От 138 кВт до 149 кВт</li> <li>2. От 148 кВт до 99 кВт</li> <li>3. От 148 кВт до 164 кВт</li> </ol>
<b>Задача № 9</b>
<p>Определить работу <math>L_u</math>, передаваемую воздуху колесом ступени осевого компрессора на среднем радиусе, если окружная скорость равна <math>u = 300 \text{ м/с}</math>, а закрутка воздуха в колесе равна <math>\Delta W_u = 100 \text{ м/с}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 300 кДж/кг</li> <li>2. 250 кДж/кг</li> <li>3. 120 кДж/кг</li> </ol>
<b>Задача № 10</b>
<p>Найти степень повышения полного давления воздуха в ступени осевого компрессора, если <math>L_{ст} = 30 \text{ кДж/кг}</math>; <math>\eta_{ст}^* = 0,87</math> и <math>t_1^* = 25^\circ\text{C}</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 1,34</li> <li>2. 1,22</li> <li>3. 1,15</li> </ol>

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

### Задача 1

Вычислить приращение идеальной скорости ракеты, если при модернизации массу ее конструкции уменьшили на 300 кг. Массовый эквивалент 8,55 (кг·с)/м, удельный импульс в пустоте 3500 м/с.

1. 0,5%.
2. **1%**
3. 2,5%.
4. 3,5%.

### Задача 2

Остатки не вырабатываемого топлива уменьшили с 1,0 до 0,5% от запаса топлива. Найти прирост идеальной скорости ракеты, если начальная масса ракеты 50т, относительная конечная масса 0,3, пустотный удельный импульс 3500 м/с, массовый эквивалент 10 (кг·с)/м.

1. **0,5%**
2. 1,0%.
3. 1,5%.
4. 2,0%.

### Задача 3

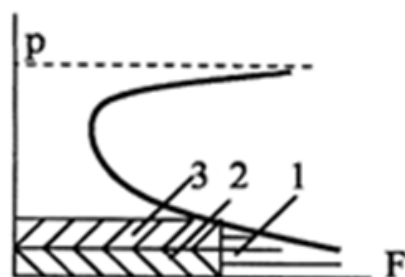
Какие из четырех соотношений определяют мощность ракетного двигателя: 1.  $\dot{m} \cdot w_a^2 / 2$ ; 2.  $P_p I_p / 2$ ; 3.

$\dot{m} \cdot w_a / 2$ ; 4.  $C \cdot K_p$ ?

1. **1;2**
2. 1;4.
3. 2;3.
4. 3;4.

#### Задача 4

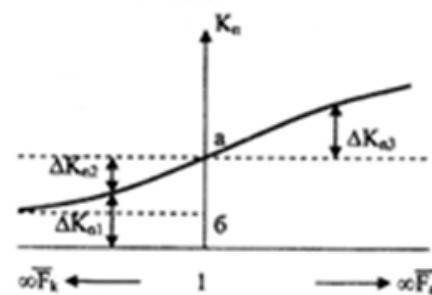
Какая площадь эквивалентна: а) потери тяги из-за конечной величины площади выходного сечения сопла  $F_4$ ? б) снижению тяги в атмосфере при работе сопла на расчётной высоте?



- 1) **1 а)**  
 2) 1+2  
 3) **2+3 б)**  
 4) 1+2+3

#### Задача 5

На оси  $K_n$  графика отсутствует шкала. Какие цифры следует нанести в точках а и б?



Точка	1)	2)	3)	4)
а	<b>1,24</b>	2,0	2,24	2,95
б	<b>1,0</b>	1,2	2,0	2,24

### Задача 9

Какие значения имеет термический КПД при  $\kappa=1,2$  для отношения давления?

- а)  $\frac{P_{co}}{P_a} = 100$  ?   б)  $\frac{P_{co}}{P_a} = 1000$
- 1) 0,43;   2) 0,53;  
3) **0,68 а)**   4) **0,78 б)**

### Задача 10.

Чему равно отношение статических давлений при расширении для камер  $\bar{F}_{K1} \rightarrow \infty$  и  $\bar{F}_{K2} \rightarrow 1$ , если  $p_{k1} = p_{k2}$ ?

- 1)  $p_2/p_1 = 1$ .  
2)  **$p_2/p_1 = \varepsilon_K$**   
3)  $p_2/p_1 = 1/\varepsilon_K$ .  
4)  $p_2/p_1 <> 1$ .

### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

### 7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Вывод и объяснение формулы Циолковского.
2. Формула Циолковского с учётом земного притяжения.
3. Первая, вторая и третья космическая скорости, их объяснение и вывод формул.
4. История создания РД.
5. Структура ракетно-космической отрасли РФ и зарубежных стран.
6. Описание основных характеристик ЖРД.
7. Вывод формулы тяги.
8. Формула удельного импульса. Расходный комплекс.
9. Скорость потока, давление, тепловой поток и температура в камере ЖРД.
10. Расходная и дроссельная характеристики.
11. Варианты ПГС ЖРД, используемые в настоящее время.
12. Число Рейнольдса и его критические значения.
13. РН Р7, Восток, Восход, Союз, Молния, протон, Zenit, Энергия, Циклон, Союз-2, Ангара, Атлас, Дельта, Спейс-Шаттл, Ариан-4, Ариан-5, Великий поход, Н-2, PSLV. Основные характеристики.

14. Российские двигатели, используемые в настоящее время, их основные характеристики и области применения.
15. Основные типы двигателей, используемые в других странах мира, их особенности.
16. ПГС ЖРД РД0210, РД0212. Основные характеристики, особенности конструкции двигателей и агрегатов. Перспективы развития.
17. Термодинамическая и газодинамическая характеристики, тепловой поток в камере.
18. Камера ЖРД. Оценка теплового состояния камеры ЖРД.
19. Способы охлаждения камеры ЖРД.
20. Основные характеристики ТНА. Мощность насоса. Мощность турбины.
21. Уравнение баланса мощностей насоса и турбины.
22. Виды насосов и турбин, применяемых в ЖРД. КПД насосов и турбин в ЖРД.
23. ПГС кислородно-керосиновых ЖРД РД0110, РД0124.
24. ПГС кислородно-метановых ЖРД РД0134, РД0149, РД0162.
25. Особенности конструкции двигателей и агрегатов кислородно-углеводородных ЖРД. Перспективы развития.
26. РН различных стран, их характеристики и особенности.
27. ПГС кислородно-водородных ЖРД открытой (Вулкан) и замкнутой (РД0120, SSME) схем.
28. ПГС кислородно-водородных ЖРД безгазогенераторной (RL10, РД0146, Винчи) схемы.
29. Кольцевые КС (Аэропайк, Ястреб).
30. Регулируемые КС (критическое сечение, km).
31. Регулируемые сопла, дросселирование КС.
32. Перспективные возможности повышения оборотов ТНА.
33. Применение перспективных материалов и техпроцессов в ЖРД.
34. Перспективные виды топлива. Разработки и внедрение новых видов топлива, их преимущества и недостатки
35. Сравнение новых видов топлива с видами топлива, используемыми в настоящее время.
36. Трехкомпонентные ЖРД (РД0750, РД0163), ЯРД, ГПВРД.
37. Ракетные двигатели на твёрдом топливе. Области их применения, преимущества и недостатки.
38. Комбинированные РВД, СЭДУ, ЖВРД. Перспективы создания.
39. Разработки различных вариантов КРД в странах мира. Успехи и неудачи, связанные с разработками КРД.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов

за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
2	Характеристики основных РН мира и применяемых на них ЖРД	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
3	ЖРД на долговечных компонентах топлива, особенности ПГС, конструкции и основные характеристики, перспективы развития	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
4	Кислородно-углеводородные ЖРД, особенности ПГС, конструкции и основные характеристики, перспективы развития	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
5	Кислородно-водородные ЖРД, особенности ПГС, конструкции и основные характеристики, перспективы развития	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
6	Перспективы развития агрегатов ЖРД	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
7	Новые направления разработки нетрадиционных ЖРД, перспективы создания	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий

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

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики

выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспеченнос ть
<b>8.1.1. Основная литература</b>				
8.1.1.1	Васильев А.П. Кудрявцев В.М. Кузнецов В.А.	Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей: учебник / А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов и др. Высш. школа, 1983. 703 с.	1983 печат.	1,0
8.1.1.2	Добровольский М.В.	Жидкостные ракетные двигатели: учебник / М.В. Добровольский. Москва: издательство «МАШИНОСТРОЕНИЕ», 1968. 908 с.	1968 печат.	1,0
8.1.1.3	Усманский С.П.	Ракеты-носители. Космодромы: учебник / С.П. Усманский. Москва: «Рестарт+», 2001. 216 с.	2001 печат.	1,0
<b>8.1.2 Методические разработки</b>				
8.1.2.1	В.Д. Горохов Д.П. Шматов	Методические указания к выполнению практических и самостоятельных работ по дисциплине «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО	2015 электр. изд.	1,0

		"Воронежский государственный технический университет"; сост. В.Д. Горохов, Д.П. Шматов. Воронеж, 2015. 58 с. (399-2015)		
--	--	---	--	--

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

1. Microsoft Win Pro 10
2. Acrobat Pro 2017
3. 7 zip
4. Google Chrome
5. LibreOffice
6. Mozilla Firefox
7. OpenOffice
8. <http://www.edu.ru/> - образовательный портал
9. <http://window.edu.ru>, <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
10. [elibrary.ru](http://elibrary.ru)
11. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
12. [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru) – электронная библиотека
13. <http://www.knigafund.ru> - Электронно-библиотечная система «КнигаФонд» - учебная и научная литература.

**9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Аудитория № 153 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованная специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя, оборудованная мультимедиа-проектором и экраном, для проведения лекционных и практических занятий.

Аудитории № 154, № 149 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованные специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя для проведения лекционных и практических занятий.

Специализированная аудитория, оснащенная персональными компьютерами и специальным программным обеспечением для лабораторных работ - учебная аудитория № 134 (ул. Ворошилова, 20, 7 эт.), укомплектованная специализированной мебелью и оборудованная техническими средствами обучения: персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к

сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Проектирование комбинированных реактивных двигателей» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета параметров двигателей и критериев оптимизации комбинированных ВРД и РД. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной

	<p>литературой, а также проработка конспектов лекций;</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
<p>Подготовка к промежуточной аттестации</p>	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			