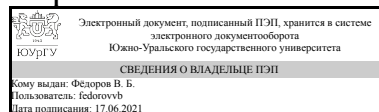


УТВЕРЖДАЮ:  
Декан факультета  
Аэрокосмический



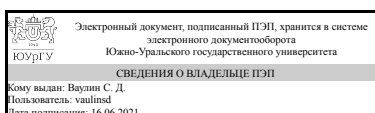
В. Б. Фёдоров

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины В.1.13 Проектирование комбинированных реактивных двигателей для специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
уровень специалист тип программы Специалитет  
специализация Проектирование жидкостных ракетных двигателей  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Двигатели летательных аппаратов

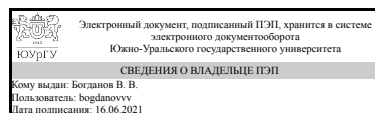
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 16.02.2017 № 141

Зав.кафедрой разработчика,  
д.техн.н., проф.



С. Д. Ваулин

Разработчик программы,  
старший преподаватель



В. В. Богданов

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины: формирование системы профессиональных знаний и практических навыков в области теории, расчета и проектирования комбинированных реактивных двигателей (КРД). Задачи дисциплины: - освоение категорийного-понятийного аппарата дисциплины; - изучение основных методов расчета основных узлов и агрегатов КРД; - систематизация основных принципов проектирования узлов и агрегатов КРД.

## Краткое содержание дисциплины

Основные конструктивные элементы КРД Проектирование КРПДТ Регулирование тягово-импульсных характеристик КРД Расчет характеристик КРД Испытания КРД

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПСК-3.1 способностью рассчитывать и проектировать узлы и агрегаты системы подачи компонентов топлива в камеру сгорания ЖРД	Знать:основные виды жидкостных и твердых топлив; основные характеристики рабочих процессов в КРД
	Уметь:рассчитывать основные характеристики КРД, их узлов и агрегатов
	Владеть:
ПК-6 способностью принимать участие в разработке методических и нормативных документов по проектированию двигателей ЛА и проведении мероприятий по их реализации	Знать:теорию и расчетные методики по проектированию КРД
	Уметь:применять компьютерные технологии для разработки КРД и их отдельных узлов
	Владеть:понятийным аппаратом в среде КРД
ПСК-3.2 способностью выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов	Знать:виды КРД и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования КРД; методы испытаний и отработки КРД
	Уметь:формулировать задания для расчета для расчета и конструирования КРД
	Владеть:методами математического моделирования КРД, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Б.1.31 Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях, Б.1.06 Физика, Б.1.24 Термодинамика и теплопередача, Б.1.29 Гидрогазодинамика авиационных и ракетных двигателей	Производственная практика, преддипломная практика (11 семестр)

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
Б.1.06 Физика	<p>знать: основные физические явления и основные законы физики, границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях; основные физические величины и физические константы, их определение, смысл, способы и единицы их измерения; фундаментальные физические опыты и их роль в развитии науки; назначение и принципы действия важнейших физических приборов, а также основные формулы и методы решения задач, необходимых при проектировании двигателей и энергетических установок летательных аппаратов; уметь: объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий; указать какие законы описывают данное явление или эффект; правильно толковать смысл физических величин и понятий; записывать уравнения для физических величин в системе СИ; работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории; использовать различные методики физических измерений и обработки экспериментальных данных; использовать методы адекватного физического и математического моделирования, а также применять методы физико-математического анализа к решению конкретных естественнонаучных и технических проблем, в частности применять физико-математические методы моделирования и расчета при разработке двигателей и энергетических установок летательных аппаратов; владеть: основными общеприродными законами и принципами в важнейших практических применениях; основными методами физико-математического анализа для решения естественнонаучных задач; навыками правильной эксплуатации основных приборов и оборудования современной физической лаборатории; обработкой и интерпретацией результатов эксперимента; методами физического моделирования в производственной практике; навыками разработки новых и применения стандартных программных средств на базе физико-математических моделей применительно к конкретным задачам проектирования двигателей и энергетических установок летательных аппаратов.</p>
Б.1.29 Гидрогазодинамика авиационных и	Знать: - закономерности движения скоростных

<p>ракетных двигателей</p>	<p>газовых и нестационарных жидкостных сред в системах авиационных и ракетных двигателей; - методы расчета магистралей системы подачи топлива, входных и выходных устройств авиационных и ракетных двигателей, Уметь: - выбирать расчетные модели и схемы для решения задач гидрогазодинамики двигателей; - составлять алгоритмы решения газодинамических задач; - рассчитывать потери при движении газовых и жидкостных сред в различных элементах конструкции авиационного и ракетного двигателя. Владеть: - категориями и понятиями курса; - типовыми методами и алгоритмами газодинамических расчетов; - методами измерения и пересчета параметров газовых и жидкостных потоков в авиационных и ракетных двигателях; - методами расчета характеристик гидравлических магистралей системы подачи топлива в авиационных и ракетных двигателях; - методами расчета параметров газового потока во входных и выходных устройствах двигателей летательных аппаратов; - методами профилирования проточной части входных и выходных устройств.</p>
<p>Б.1.31 Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях</p>	<p>Иметь: - представление о методах получения и свойствах, характеристиках и области применения основных жидких ракетных топлив, об основных тенденциях и направлениях разработки перспективных топлив, процессах, протекающих при сгорании топлива, - представление о методах получения и свойствах, характеристиках и области применения основных жидких ракетных топлив, об основных тенденциях и направлениях разработки перспективных топлив, о процессах, протекающих при сгорании топлива. Знать: - жидкие и твердые ракетные топлива, - законы протекания простых и цепных химических реакций, зависимость скоростей реакций от различных факторов. Кинетические уравнения для моно - би- и тримолекулярных реакций. Изменение концентраций и скоростей реакций во времени. Константы равновесия реакций диссоциации рекомбинации, их зависимость от температуры, область равновесного состояния продуктов сгорания. Владеть: - принципами выбора компонентов топлива и оптимальной топливной пары, основы теории распространения пламени в горючих смесях, основы теории кинетического и диффузионного горения, методы определения элементного состава компонентов топлив, коэффициентов стехиометрического соотношения, условных формул компонентов топлива и топлива в целом, физико-химические основы определения и методики расчёта состава и параметров</p>

	недиссоциированных и диссоциированных равновесных продуктов сгорания для различных топливных композиций при гомогенном и гетерогенном составе продуктов сгорания, особенности термодинамического расчёта состава и температуры продуктов сгорания при соотношениях компонентов, сильно отличающихся от стехиометрии, а также при использовании воздуха в качестве окислителя, определять необходимое соотношение компонентов для камеры сгорания в ядре потока, в пристеночном слое, а также в газогенераторах открытой и замкнутой схем, составлять и использовать программы для определения состава продуктов сгорания, уметь использовать таблицы термодинамических и теплофизических продуктов сгорания.
Б.1.24 Термодинамика и теплопередача	Знать: - основные закономерности теплопроводности, конвективного и радиационного переносов тепла, сложного теплообмена, способы тепловой защиты конструкций ракетных двигателей. Уметь: - использовать способы передачи тепла. Владеть: - навыками расчета элементарных видов теплообмена и сложного теплообмена в элементах ракетных двигателей.

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 7 з.е., 252 ч.

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		9	10
Общая трудоёмкость дисциплины	252	144	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	112	64	48
Лекции (Л)	48	24	24
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	0	0	0
Лабораторные работы (ЛР)	64	40	24
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	140	80	60
Подготовка к промежуточной аттестации	40	20	20
Проработка лекционного материала, оформление лабораторных работ	100	60	40
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	экзамен

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР

1	Основные конструктивные элементы КРД	22	12	0	10
2	Проектирование КРДПТ	46	24	0	22
3	Регулирование тягово-импульских характеристик КРД	25	3	0	22
4	Расчет характеристик КРД	16	6	0	10
5	Испытания КРД	3	3	0	0

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Классификация КРД	4
2	1	Схема ЛА с КРДТ	1
3	1	Конструкции маршевых ступеней КД	2
4	1	Конструктивные схемы и конструкции стартово-разгонных ступеней КРД	2
5	1	Конструкции ГГ с регулируемым расходом	2
6	1	Переходные устройства	1
7	2	Этапы разработки КРДТ	4
8	2	Требования к КРД при проектировании	3
9	2	Формирование основных исходных данных	3
10	2	Термодинамический расчет топлива стартово-разгонной и маршевой ступеней КРД	3
11	2	Расчет равновесных термодинамических характеристик продуктов сгорания ТТ	2
12	2	Распределение массы заряда ТТ по ступеням и геометрические параметры КРД	3
13	2	Расчет характеристик ГГ маршевых ступеней КРД	6
14	3	Высотно-скоростные и тягово-экономические характеристик КРД	2
15	3	Выбор параметров регулирования расхода топлива и законов управления полетом ракеты	1
16	4	Расчет характеристик ВЗУ и сопел	4
17	4	Расчет аэродинамического нагрева КРД	2
18	5	Виды испытаний, испытаний ВЗУ в аэродинамической трубе, определение в аэродинамической трубе характеристик внешнего обтекания ракеты	1
19	5	Испытания двигателя на стенде с присоединенным трубопроводом подачи горячего воздуха	1
20	5	Летные испытания КДУ в составе ракеты	1

## 5.2. Практические занятия, семинары

Не предусмотрены

## 5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	1	Виды КРД	4
2	1	Термодинамические циклы идеальных ВРД и ПРД. Расчет удельных характеристик	6

3	2	Расчет струйных форсунок и форсунок с пересекающимися струйками	3
4	2	Расчет идеальной центробежной форсунки	3
5	2	Газодинамический расчет камеры сгорания	3
6	2	Расчет и профилирование сопла	5
7	2	Камера сгорания	5
8	2	Реактивное сопло	3
9	3	Входной диффузор	4
10	3	Расчет параметров течения газа во входном диффузоре	6
11	3	Расчет параметра течения газа во входном диффузоре	6
12	3	Расчет параметров течения газа во входной диффузоре	6
13	4	Эжекторы	5
14	4	Эжекторы	5

#### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Проработка лекционного материала, оформление лабораторных работ	См. основную и дополнительную литературу	100
Подготовка к промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	См. основную и дополнительную литературу	40

#### 6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Работа в малых группах	Лабораторные занятия	Работа с изделиями УЦ РКТ	40

#### Собственные инновационные способы и методы, используемые в образовательном процессе

Не предусмотрены

Использование результатов научных исследований, проводимых университетом, в рамках данной дисциплины: нет

#### 7. Фонд оценочных средств (ФОС) для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

##### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНЫ	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ПСК-3.2 способностью выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов	Экзамен	-
Все разделы	ПСК-3.1 способностью рассчитывать и проектировать	Экзамен	-

	узлы и агрегаты системы подачи компонентов топлива в камеру сгорания ЖРД		
Виды КРД	ПК-6 способностью принимать участие в разработке методических и нормативных документов по проектированию двигателей ЛА и проведении мероприятий по их реализации	Зачет	-
Камера сгорания и реактивное сопло	ПК-6 способностью принимать участие в разработке методических и нормативных документов по проектированию двигателей ЛА и проведении мероприятий по их реализации	Зачет	-

## 7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
Экзамен	При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Письменный ответ на два вопроса из тем 1 - 5 (время подготовки 40 мин). Оценка за экзамен формируется в системе "Электронный ЮУрГУ" из оценок по защите лабораторных работ, посещаемости: коэффициент ответа на вопрос - 1, коэффициент посещаемости - 1.	Отлично: 85-100% Хорошо: 70-84% Удовлетворительно: 50-69% Неудовлетворительно: 0-49%
Зачет	При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Защита лабораторных работ. Персональная беседа по каждой лабораторной работе (время беседы 10 мин на каждую работу). Оценка за зачёт формируется в системе "Электронный ЮУрГУ" из оценок по защите лабораторных работ, посещаемости: коэффициент защиты ЛР - 1, коэффициент посещаемости - 1.	Зачтено: 50-100% Не зачтено: 0-49%

## 7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
Экзамен	<p>Тема 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификация КРД</li> <li>2. Схема ЛА с КРДТ</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конструкции маршевых ступеней КДУ</li> <li>2. Схема ЛА с КРДТ</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конструктивные схемы и конструкции стартово-разгонных ступеней КРДТ.</li> </ol> <p>Конструкция корпуса стартово-разгонного двигателя</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Схема ЛА с КРДТ</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конструкция ГГ с регулируемым расходом (конструкции ГГ, системы регулирования расхода топлива)</li> <li>2. Схема с КРДТ</li> </ol> <p>Тема 2</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Требования с КРД при проектировании</li> <li>2. Схема ЛА с КРДТ</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Формирование основных исходных данных</li> <li>2. Схема ЛА с КРДТ</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Термодинамический расчет топлива стартово-разгонной и маршевой ступеней КРД</li> <li>2. Схема ЛА с КРДТ</li> </ol>



	1. Распределение массы заряда твердого топлива по ступеням и геометрические параметры КРД (ВЗУ) 2. Схема ЛА с КРДТ 1. Распределение массы заряда твердого топлива по ступеням и геометрические параметры КРД (ГГ, КС) 2. Схема ЛА с КРДТ 1. Расчет характеристик ГГ маршевых ступеней КРД 2. Схема ЛА с КРДТ Тема 3 1. Высотно-скоростные и тягово-экономические характеристики КРД 2. Схема ЛА с КРДТ Тема 4 1. Конструктивные схемы коробчатых ВЗУ 2. Схема ЛА с КРДТ 1. Расчет аэродинамического нагрева КРД 2. Схема ЛА с КРДТ Тема 5 1. Испытания КД (виды испытаний, испытания ВЗУ в аэродинамической трубе, определение в аэродинамической трубе характеристик внешнего обтекания ракеты) 2. Схема ЛА с КРДТ 1. Испытания КД (виды испытаний, испытания двигателя на стенду с присоединенным трубопроводом подачи горячего воздуха, летные испытания КД в составе ракеты) 2. Схема ЛА с КРДТ
Зачет	

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

- Алемасов, В. Е. Теория ракетных двигателей Учебник для вузов  
Под ред. В. П. Глушко. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1989.  
- 464 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

- Нет

*из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:*

- Нет

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование разработки	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)

1	Дополнительная литература	Мазинг Г.Ю., Никитина И.Е. Теория прямооточного воздушного реактивного двигателя Часть 2. Сверхзвуковой прямооточный воздушно-реактивный двигатель	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
2	Дополнительная литература	Мазинг Г.Ю., Никитина И.Е. Теория прямооточного воздушного реактивного двигателя Часть 1	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
3	Основная литература	Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдых и пастообразных топливах. [Электронный ресурс] / В.А. Сорокин [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2010. — 320 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/49100">http://e.lanbook.com/book/49100</a> — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
4	Дополнительная литература	Михальцев, В.Е. Расчет параметров цикла при проектировании газотурбинных двигателей и комбинированных установок. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Е. Михальцев, В.Д. Моляков. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 58 с. — Режим доступа: <a href="http://e.lanbook.com/book/52278">http://e.lanbook.com/book/52278</a> — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный

## 9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых информационных справочных систем:

Нет

## 10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	244 (2)	средства измерения и регистрации расхода, давления и температуры
Самостоятельная работа студента	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ
Лабораторные занятия	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ
Лабораторные занятия		лаборатория огневых испытаний
Лабораторные занятия	101 (2)	лаборатория холодных проливов
Практические занятия	240	Авиационный двигатель

и семинары	(2)	
Контроль самостоятельной работы	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ