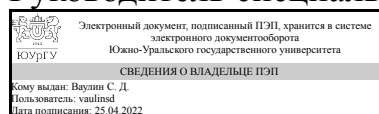


УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель специальности



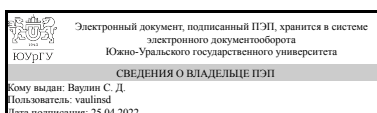
С. Д. Ваулин

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.О.39 Проектирование ракетных двигателей на твердом топливе  
для специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей  
уровень Специалитет  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Двигатели летательных аппаратов

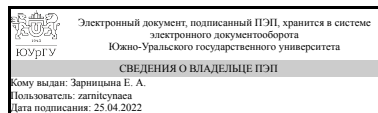
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 979

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



С. Д. Ваулин

Разработчик программы,  
старший преподаватель



Е. А. Зарницына

## 1. Цели и задачи дисциплины

### Краткое содержание дисциплины

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-2 Проектирование, конструирование и расчет двигательных установок летательных аппаратов, в том числе космических, и их составных частей, включая утилизацию жидкостного ракетного двигателя	Знает: основы проектирования, конструктивные схемы и характеристики рабочего процесса ракетных двигателей на твердом топливе; условия эксплуатации и технического обслуживания ракетных двигателей на твердом топливе, о тенденциях создания принципиально новых материалов и технологических процессов для изготовления ответственных элементов ракетных двигателей на твердом топливе Умеет: использовать методы анализа влияния параметров рабочего процесса на эффективность термодинамического цикла ракетных двигателей на твердом топливе Имеет практический опыт: термодинамического и газодинамического расчетов продуктов сгорания твердого топлива, расчета внутренней баллистики двигателя твердого топлива, расчета теплозащитного покрытия; изучения конструкций ракет с двигателями твердого топлива

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.40 Конструирование летательных аппаратов	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
1.О.40 Конструирование летательных аппаратов	Знает: конструкцию, работу и процессы, происходящие в летательных аппаратах Умеет: выбирать требуемые расчетные схемы для решения задач проектирования летательных аппаратов Имеет практический опыт: методами анализа и синтеза, подходами инженерных основ создания летательных аппаратов

## 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 48,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		9	
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108	
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48	
Лекции (Л)	16	16	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16	
Лабораторные работы (ЛР)	16	16	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	51,5	51,5	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Проработка лекционного материала	30	30	
Подготовка к контрольным точкам	21,5	21.5	
Консультации и промежуточная аттестация	8,5	8,5	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен	

## 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Введение	2	2	0	0
2	Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса в РДТТ	6	6	0	0
3	Основы проектирования, расчет основных характеристик и конструктивных параметров РДТТ	40	8	16	16

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Принцип действия и особенности РДТТ. Конструкции с вкладным и скрепленным зарядами. История развития. Классификация РДТТ. Конструктивные схемы. Условия эксплуатации и технического обслуживания. Достоинства и недостатки РДТТ. Характеристики камеры сгорания: тяга, удельный импульс тяги, расходный комплекс и характеристическая скорость, тяговый комплекс, полный импульс тяги мощность. Взаимосвязь параметров ЛА и РДТТ. Постановка задачи проектирования РДТТ.	2
2	2	Твердые топлива: основные требования к твердым топливам, гомогенные топлива, нитраминные топлива, гетерогенные (смесевые) топлива, модифицированные топлива. Эксплуатационные характеристики твердых топлив. Технология изготовления. Виды зарядов твердого топлива	2
3	2	Организация рабочего процесса в ДТТ: горение твердого топлива. Механизм горения: стационарное горение гомогенных топлив, нитраминных топлив, смесевых топлив. Горение металлов. Зависимость скорость горения от различных факторов: давления, начальной температуры, ускорения, скорости	2

		обдува. Эрозионное горение.	
4	2	Нестационарное горение: нестабильное горение, неустойчивость горения, механизм воспламенения ТТ, механизмы горения ТТ	1
5	2	РДТТ как тепловая машина. Термодинамический цикл РДТТ. Анализ влияния параметров рабочего процесса на эффективность термодинамического цикла РДТТ	1
6	3	Методика расчета основных проектных параметров и характеристик РДТТ. Термогазодинамический и тепловой расчет. Термодинамический расчет: внутренняя энергия, энтальпия и теплота, теплота сгорания и образования, термодинамические функции и равновесные состояния, исходные данные и допущения, термодинамический расчет при постоянном давлении, термическая диссоциация термодинамический расчет процесса истечения из сопла	2
7	3	Газодинамический расчет. Потери при работе РДТТ. Основы профилирования сопел РДТТ	2
8	3	Расчет камеры и заряда твердого топлива: общие сведения и исходные данные, определение потребной массы топлива и закона изменения площади поверхности горения во времени, заряд, горящий с торца, одношашечный заряд, звездообразный заряд, щелевой заряд. Расчет воспламенительного состава: выбор типа и массы, упрощенный метод определения массы воспламенителя. Расчет теплозащитного покрытия: выбор типа ТЗП, расчет толщины теплоизоляционного покрытия, расчет абляционного покрытия. Расчет бронирующего покрытия. Расчет гашения заряда ТТ	2
10	3	Конструкции элементов РДТТ: камера сгорания, сопло, соединение элементов камеры сгорания и сопла. Массовые характеристики элементов. Практические рекомендации конструктору. Определение нагрузок, действующих на элементы конструкции. Материалы, используемые в ДТТ и тенденции развития принципиально новых материалов и технологических процессов для изготовления ответственных элементов ДТТ	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	3	Газодинамический расчет	2
2	3	Расчет камеры и заряда твердого топлива	3
3	3	Расчет воспламенительного состава	2
4	3	Расчет теплозащитного покрытия	1
5	3	Расчет бронирующего покрытия. Расчет гашения заряда ТТ	1
6	3	Расчет гашения заряда ТТ	1
7	3	Прочность расчета типовых конструктивных элементов РДТТ: металлические элементы конструкции, конструктивные элементы из композиционных материалов. Определение запасов прочности. Прочность и устойчивость оболочек камер сгорания РДТТ	4
8	3	Влияние параметров ДТТ на идеальную скорость ЛА: удельный импульс, коэффициент массы конструкции ДТТ, относительное количество унесенной массы, плотность топлива, коэффициент заполнения камеры топливом. Разброс параметров ДТТ и способы его уменьшения.	2

## 5.3. Лабораторные работы

№	№	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во
---	---	---	--------

занятия	раздела		часов
1	3	Изучение РДТТ ракеты 9М21	4
2	3	Изучение РДТТ ракеты 4К22	4
3	3	Изучение РДТТ ракеты 3М8	4
4	3	Изучение РДТТ ракеты 3М9	4

#### 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Проработка лекционного материала	см. основную и дополнительную литературу	9	30
Подготовка к контрольным точкам	см. основную и дополнительную литературу, конспект лекций, материалы практических и лабораторных работ	9	21,5

#### 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

##### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	9	Текущий контроль	Защита лабораторных работ	1	20	На защите каждой лабораторной работы студенту задается 5 вопросов. Всего 4 лабораторных работы. Каждый ответ оценивается: 1 балл - правильный ответ, 0, 5 - неполный ответ, 0 баллов - неправильный ответ или нет ответа.	экзамен
2	9	Текущий контроль	Защита практических работ	1	12	На защите каждой практической работы студенту задается 3 вопросов. Всего 4 защиты. Каждый ответ оценивается: 1 балл - правильный ответ, 0, 5 - неполный ответ, 0 баллов - неправильный ответ или нет ответа.	экзамен
3	9	Текущий контроль	Семестровое задание "Расчет основных проектных параметров РДТТ"	2	4	Критерий 1: решение поставленной задачи. 3 балла – ход решения верный, получен верный ответ; 2 балла – не получен верный ответ, частичное применение несоответствующих формул; 1 – частично приведены формулы, касающиеся решения поставленной задачи. Критерий 2: пояснительная записка. 1 балла - ПЗ выполнена в соответствии с	экзамен

						ЕСКД, 0 баллов - ПЗ не выполнена в соответствии с ЕСКД	
4	9	Промежуточная аттестация	Экзамен	-	8	<p>В билете 2 вопроса.</p> <p>Каждый вопрос оценивается: 4 балла - ответ построен логически верно; обнаружено максимально глубокое знание профессиональных терминов, понятий, категорий, концепций и теорий; установлены содержательные межпредметные связи; выдвигаемые положения обоснованы, приведены убедительные примеры; обнаружен аналитический подход в освещении различных концепций; сделаны содержательные выводы; продемонстрировано знание обязательной и дополнительной литературы.</p> <p>3 балла - ответ построен логически верно; представлены различные подходы к проблеме, но их обоснование недостаточно полно; установлены содержательные межпредметные связи; выдвигаемые положения обоснованы, однако наблюдается непоследовательность анализа; выводы правильны; продемонстрировано знание обязательной и дополнительной литературы.</p> <p>2 балла - ответ недостаточно логически выстроен; в плане ответа соблюдается непоследовательно; недостаточно раскрыты профессиональные понятия, категории, концепции, теории; выдвигаемые положения декларируются, но недостаточно аргументируются; продемонстрировано знание обязательной литературы.</p> <p>1 балл - не раскрыты профессиональные понятия, категории, концепции, теории; научное обоснование проблем подменено рассуждениями обыденно-повседневного характера; ответ содержит ряд серьезных неточностей; выводы поверхностны или неверны; не продемонстрировано знание обязательной литературы.</p>	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Экзамен письменный. Студент допускается к экзамену	В соответствии с пп.

	при условии успешного прохождения текущего контроля. Время подготовки 1 час	2.5, 2.6 Положения
--	---	--------------------

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ПК-2	Знает: основы проектирования, конструктивные схемы и характеристики рабочего процесса ракетных двигателей на твердом топливе; условия эксплуатации и технического обслуживания ракетных двигателей на твердом топливе, о тенденциях создания принципиально новых материалов и технологических процессов для изготовления ответственных элементов ракетных двигателей на твердом топливе	+	+	+	+
ПК-2	Умеет: использовать методы анализа влияния параметров рабочего процесса на эффективность термодинамического цикла ракетных двигателей на твердом топливе	+	+	+	+
ПК-2	Имеет практический опыт: термодинамического и газодинамического расчетов продуктов сгорания твердого топлива, расчета внутренней баллистики двигателя твердого топлива, расчета теплозащитного покрытия; изучения конструкций ракет с двигателями твердого топлива	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Ерохин, Б. Т. Теория внутрикамерных процессов и проектирование РДТТ Учеб. для вузов Б. Т. Ерохин. - М.: Машиностроение, 1991. - 559 с. ил.
2. Калинин, В. В. Нестационарные процессы и методы проектирования узлов РДТТ. - М.: Машиностроение, 1986. - 215 с. ил.
3. Липанов, А. М. Проектирование ракетных двигателей твердого топлива Учеб. для вузов по направлению "Авиац. и ракет.-космич. техника" и спец. "Двигатели и энерг. установки космич. техники", "Авиац. и ракет.-космич. теплотехника А. М. Липанов, А. В. Алиев. - М.: Машиностроение, 1995. - 399 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

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

1. Реферативный журнал. Авиационные и ракетные двигатели. 34. [Текст] предм. указ. Рос. акад. наук, Всерос. ин-т науч. и техн. информ. (ВИНИТИ РАН) реферативный журнал. - М.: ВИНИТИ, 1964-1995

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

1. нет

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Шевченко, Г. Ю. Устройство и работа ракетного двигателя на твердом топливе : учебное пособие / Г. Ю. Шевченко, М. Г. Лукишин. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2021. — 74 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/195208">https://e.lanbook.com/book/195208</a>
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Кодолов, В. И. Композиционные полимерные материалы в ракетных двигателях твердого топлива : учебное пособие для вузов / В. И. Кодолов, В. В. Кодолова-Чухонцева, М. Р. Королева. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 176 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/197462">https://e.lanbook.com/book/197462</a>
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Евграшин, Ю. Б. Проектирование и отработка ракетных двигателей на твердом топливе : учебное пособие / Ю. Б. Евграшин. — Пермь : ПНИПУ, 2008. — 354 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/160384">https://e.lanbook.com/book/160384</a>
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Твердотопливные регулируемые двигательные установки / Ю. С. Соломонов, А. М. Липанов, А. В. Алиев, А. А. Дорофеев. — Москва : Машиностроение, 2011. — 776 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/3311">https://e.lanbook.com/book/3311</a>
5	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Волков, В. Т. Исследование и стендовая отработка ракетных двигателей на твердом топливе : монография / В. Т. Волков, Д. А. Ягодников. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2007. — 296 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/106287">https://e.lanbook.com/book/106287</a>
6	Основная литература	Электронный каталог ЮУрГУ	Ракетные двигатели на твердом топливе : термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса [Текст] : учеб. пособие для бакалавров специальности "Проектирование авиац. и ракет. двигателей" и др. / С. Д. Ваулин, Е. А. Зарницына, Е. В. Сафонов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Двигатели летат. аппаратов ; ЮУрГУ. Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ , 2019 <a href="http://lib.susu.ru/">http://lib.susu.ru/</a>
7	Основная литература	Электронный каталог ЮУрГУ	Ракетные двигатели на твердом топливе : основы проектирования, расчет основных характеристик и конструктивных параметров РДТТ [Текст : непосредственный] : учеб. пособие по специальности "Проектирование авиац. и ракет. двигателей" и др. (бакалавриат и магистратура) / С. Д. Ваулин, Е. А. Зарницына, Е. В. Сафонов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Двигатели летат. аппаратов ; ЮУрГУ. Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ , 2019 <a href="http://lib.susu.ru/">http://lib.susu.ru/</a>
8	Основная литература	Электронный каталог ЮУрГУ	Ракетные двигатели на твердом топливе : математическое моделирование рабочих процессов в РДТТ [Текст : непосредственный] : учеб. пособие по специальности "Проектирование авиац. и ракет. двигателей" и др. (бакалавриат и магистратура) / С. Д. Ваулин, Е. А.



			Зарницына, Е. В. Сафонов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Двигатели летат. аппаратов ; ЮУрГУ. Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ , 2019 <a href="http://lib.susu.ru/">http://lib.susu.ru/</a>
9	Основная литература	Электронный каталог ЮУрГУ	Ракетные двигатели на твердом топливе : общие сведения [Текст] : учеб. пособие по специальности "Проектирование авиац. и ракет. двигателей" и др. / С. Д. Ваулин, Е. А. Зарницына, Е. В. Сафонов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Двигатели летат. аппаратов ; ЮУрГУ. Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ , 2019 <a href="http://lib.susu.ru/">http://lib.susu.ru/</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Практические занятия и семинары	100 (2в)	натурные образцы учебной лаборатории "Аэрокосмические технологии", калькулятор
Лекции	100 (2в)	не требуется
Лабораторные занятия	100 (2в)	натурные образцы учебной лаборатории "Аэрокосмические технологии"