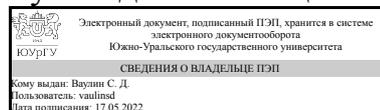


УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель специальности



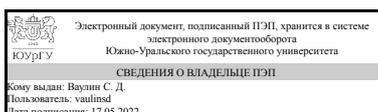
С. Д. Ваулин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.О.44 Проектирование комбинированных реактивных двигателей
для специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
уровень Специалитет
форма обучения очная
кафедра-разработчик Двигатели летательных аппаратов

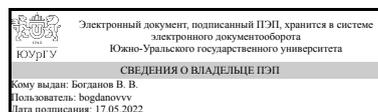
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 979

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



С. Д. Ваулин

Разработчик программы,
старший преподаватель



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 категориально-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
ПК-1 Разработка моделей и проведение тепловых, гидравлических, газодинамических и термохимических расчетов при проектировании узлов и агрегатов двигателей летательных аппаратов, включая элементы автоматики	Знает: основные виды жидкостных и твердых топлив; основные характеристики рабочих процессов в комбинированных реактивных двигателях (КРД); теорию и расчетные методики по проектированию КРД; виды КРД и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования ГРД Умеет: рассчитывать основные характеристики КРД, их узлов и агрегатов; формулировать задания для расчета для расчета и конструирования КРД Имеет практический опыт: владения понятийным аппаратом в среде КРД; методами проектирования 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
1.О.41 Проектирование авиационных газотурбинных двигателей, 1.Ф.06 Теория и расчет газогенераторов, 1.Ф.04 Химическая кинетика и теория горения ракетных топлив, 1.О.42 Автоматика и регулирование авиационных и ракетных двигателей	Не предусмотрены

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

Дисциплина	Требования
------------	------------

1.О.41 Проектирование авиационных газотурбинных двигателей

Знает: основные принципы действия и устройства проектируемых изделий; методологию разделения двигателя, историю отечественной и зарубежной авиационной техники, место и вклад выдающихся ведущих инженеров и конструкторов, конструкторских бюро, научно-исследовательских институтов России и мира в области авиационной техники
Умеет: разрабатывать рабочую проектную документацию, анализировать и сопоставлять конструктивные и компоновочные схемы проектируемых ГТД, способность собирать и анализировать научно-техническую информацию, учитывать современные тенденции развития и вклад выдающихся инженеров в области отечественной и зарубежной авиационной техники; использовать достижения отечественной и зарубежной науки, техники в профессиональной деятельности
Имеет практический опыт: проектирования компоновочных конструктивных и силовых схем основных узлов авиационных ГТД различного типа и назначения; владения методами разработки конструктивных и компоновочных чертежей; выполнения проектировочных расчетов, оценивания ресурса и уровня надежности разрабатываемых в процессе проектирования узлов и деталей, систем и агрегатов авиационных ГТД, формировать и отстаивать свою гражданскую позицию на основе патриотизма, осознания социальной значимости своей будущей профессии, устойчивой мотивации к профессиональной деятельности, осознавать принадлежность к выдающим научно-педагогическим школам страны и приверженность к корпоративным ценностям отечественной авиационной отрасли

1.Ф.04 Химическая кинетика и теория горения ракетных топлив

Знает: методы получения и свойствах, характеристиках и области применения основных жидких ракетных топлив, об основных тенденциях и направлениях разработки перспективных топлив; процессы, протекающие при сгорании топлива; основные законы химической кинетики; основы теории распространения пламени в горючих смесях; основы теории кинетического и диффузионного горения; физико-химические основы определения и методики расчёта состава и параметров недиссоциированных и диссоциированных продуктов сгорания для различных топливных композиций при гомогенном и гетерогенном составе продуктов сгорания, классификацию применяемых ракетных топлив, степень их опасности и вредного воздействия на организм человека и окружающую среду; эксплуатационные,

	<p>экономические и экологические требования, предъявляемые к ракетным топливам Умеет: осуществлять выбор компонентов топлива и оптимальной топливной пары; составлять системы уравнений для конкретной топливной пары, определять коэффициенты в камере и на срезе сопла, правильно подбирать конструкционные материалы и необходимые конструктивные исполнения элементов жидкостных ракетных двигателей для минимизации вероятности возникновения чрезвычайной ситуации и степени её неблагоприятного воздействия на окружающую среду и рабочий персонал Имеет практический опыт: экспериментального и расчётно-теоретического анализа процессов горения и использования современных методик определения параметров процессов в агрегатах двигателя, классификации ракетных топлив, расчета энергетических характеристик топливной пары</p>
<p>1.Ф.06 Теория и расчет газогенераторов</p>	<p>Знает: основные виды жидкостных и твердых топлив; основные характеристики рабочих процессов в газогенераторах; теорию и расчетные методики по проектированию газогенераторов; типы газогенераторов и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования газогенераторов Умеет: рассчитывать основные характеристики газогенераторов и их узлов; формулировать задания для расчета для расчета и конструирования газогенератора Имеет практический опыт: владения методами проектирования и расчета газогенераторов и их узлов с использованием информационных технологий</p>
<p>1.О.42 Автоматика и регулирование авиационных и ракетных двигателей</p>	<p>Знает: законы и принципы автоматического управления и регулирования ракетных двигателей; методы математического описания процессов регулирования в линейных и нелинейных системах; методы исследования устойчивости и качества линейных систем управления; статические и динамические характеристики основных агрегатов и двигательной установки в целом; элементы автоматики, их назначение, принцип действия, методы описания и исследования Умеет: использовать законы линейного управления и регулирования; выбирать методы анализа устойчивости и определения качества регулирования; обосновывать выбор необходимых законов управления двигательной установки и расстановки элементов автоматики пневмогидравлических схем; рассчитывать статические и динамические характеристики узлов и элементов жидкостной</p>

	двигательной установки Имеет практический опыт: владения методами расчета параметров систем автоматического регулирования, оценки качества и исследования устойчивости двигательных установок и их систем
--	---

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч., 74,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		10	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	144	
<i>Аудиторные занятия:</i>	64	64	
Лекции (Л)	32	32	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	24	24	
Лабораторные работы (ЛР)	8	8	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	69,5	69,5	
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к промежуточной аттестации	29,5	29,5	
Проработка лекционного материала, оформление лабораторных работ	40	40	
Консультации и промежуточная аттестация	10,5	10,5	
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	Основные конструктивные элементы КРД	20	8	4	8
2	Проектирование КРД	12	8	4	0
3	Регулирование тягово-импульских характеристик КРД	8	4	4	0
4	Расчет характеристик КРД	20	8	12	0
5	Испытания КРД	4	4	0	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Классификация КРД	1
2	1	Схема ЛА с КРД	1
3	1	Конструкции маршевых ступеней КД	2

4	1	Конструктивные схемы и конструкции стартово-разгонных ступеней КРД	1,5
5	1	Конструкции ГГ с регулируемым расходом	1,5
6	1	Переходные устройства	1
7	2	Этапы разработки КРД	0,5
8	2	Требования к КРД при проектировании	0,5
9	2	Формирование основных исходных данных	0,5
10	2	Термодинамический расчет топлива стартово-разгонной и маршевой ступеней КРД	2
11	2	Расчет равновесных термодинамических характеристик продуктов сгорания ТТ	2
12	2	Распределение массы заряда ТТ по ступеням и геометрические параметры КРД	0,5
13	2	Расчет характеристик ГГ маршевых ступеней КРД	2
14	3	Высотно-скоростные и тягово-экономические характеристик КРД	2
15	3	Выбор параметров регулирования расхода топлива и законов управления полетом ракеты	2
16	4	Расчет характеристик ВЗУ и сопел	4
17	4	Расчет аэродинамического нагрева КРД	4
18	5	Виды испытаний, испытаний ВЗУ в аэродинамической трубе, определение в аэродинамической трубе характеристик внешнего обтекания ракеты	1,5
19	5	Испытания двигателя на стенде с присоединенным трубопроводом подачи горячего воздуха	1,5
20	5	Летные испытания КДУ в составе ракеты	1

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Термодинамические циклы идеальных ВРД и ПРД. Расчет удельных характеристик	2
2	1	Выбор типов и режимов работы конструктивных элементов КРД: воздухозаборник, камера сгорания, сопло	2
3	2	Проектирование стартового РДТТ	2
4	2	Проектирование воздухозаборного устройства маршевого КРД	2
5	3	Проектирование регулятора расхода маршевого КРД	4
6	4	Моделирование газодинамической картины течения в воздухозаборном устройстве маршевого КРД	6
7	4	Моделирование внутрибаллистических процессов газогенератора маршевого КРД	6

5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	1	Виды КРД	2
2	1	Конструкция воздухозаборного устройства с изоэнтропным контуром образующей поверхности предварительного сжатия на примере изделия ЗМ8	3
3	1	Конструкция многоканального воздухозаборного устройства на примере изделия ЗМ9	1

4	1	Конструкция газогенератора и маршевой камеры сгорания КРД на примере изделия ЗМ9	1
5	1	Конструкция стартового РДТТ и соплового блока КРД на примере изделия ЗМ9	1

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к промежуточной аттестации	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3, 4, 5	10	29,5
Проработка лекционного материала, оформление лабораторных работ	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3, 4, 5	10	40

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-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	10	Текущий контроль	КТ1: Расчёт и математическое моделирование внутрибаллистических процессов стартового РДТТ	1	100	<p>Ответ предоставляется в письменном виде в форме пояснительной записки и приложения, содержащего результаты математического моделирования (допускается предоставление результатов моделирования в электронной форме) очно, либо с использованием "Электронного ЮУрГУ" и оценивается по критериям полноты и правильности. Согласно качеству ответа обучающемуся выставляется рейтинг. Обучающийся получает 100 баллов в случае, если: ход решения чётко изложен, использованы верные формулы, получен верный ответ. За ошибки балл уменьшается согласно приведённому списку:</p> <p>а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов;</p> <p>б) отсутствуют пояснения хода</p>	экзамен

					<p>расчёта -- минус 10 баллов;</p> <p>в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов;</p> <p>г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов;</p> <p>д) не представлены результаты математического моделирования, либо представленные результаты не соответствуют постановке задачи -- минус 30 баллов;</p> <p>е) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов.</p> <p>В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.</p>		
2	10	Текущий контроль	КТ2: Расчёт и математическое моделирование воздухозаборного устройства КРД	1	100	<p>Ответ предоставляется в письменном виде в форме пояснительной записки и приложения, содержащего результаты математического моделирования (допускается предоставление результатов моделирования в электронной форме) очно, либо с использованием "Электронного ЮУрГУ" и оценивается по критериям полноты и правильности. Согласно качеству ответа обучающемуся выставляется рейтинг. Обучающийся получает 100 баллов в случае, если: ход решения чётко изложен, использованы верные формулы, получен верный ответ. За ошибки балл уменьшается согласно приведённому списку:</p> <p>а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов;</p> <p>б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов;</p> <p>в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов;</p> <p>г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов;</p> <p>д) не представлены результаты математического моделирования,</p>	экзамен

						либо представленные результаты не соответствуют постановке задачи -- минус 30 баллов; е) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	
3	10	Текущий контроль	КТЗ: Контроль посещаемости занятий дисциплины	0,5	100	Рейтинг выставляется автоматически на основании журнала посещаемости "Электронного ЮУрГУ".	экзамен
4	10	Промежуточная аттестация	ПА1: Письменный ответ на теоретические вопросы дисциплины	-	100	Результат контроля не может ухудшить итоговый рейтинг по дисциплине. Ответ предоставляется в письменном виде очно, либо с использованием "Электронного ЮУрГУ". Обучающийся отвечает на два вопроса (см. ФОС ПА1). Обучающийся получает 50 баллов (за ответ на вопрос) в случае, если: предоставлен верный ответ на вопрос. За неверный ответ на вопрос балл может быть уменьшен в зависимости от допущенных ошибок. Результирующий балл за ПА1 -- сумма баллов, полученных при ответах на два вопроса. Критерии оценивания ответа на вопрос: а) обучающийся дал полный, исчерпывающий ответ -- баллы не снимаются; б) обучающийся затруднился с ответом на одну из частей вопроса, либо ошибся при ответе на дополнительный наводящий вопрос -- минус 25 баллов; в) в случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	экзамен

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	Прохождение промежуточной аттестации ПА1 является обязательным и проводится в случае набора недостаточного количества баллов во время текущего	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

	контроля (КТ1 -- КТ4). Прохождение промежуточной аттестации не может снизить итоговый балл обучающегося.	
--	--	--

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ПК-1	Знает: основные виды жидкостных и твердых топлив; основные характеристики рабочих процессов в комбинированных реактивных двигателях (КРД); теорию и расчетные методики по проектированию КРД; виды КРД и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования ГРД	+	+	+	+
ПК-1	Умеет: рассчитывать основные характеристики КРД, их узлов и агрегатов; формулировать задания для расчета для расчета и конструирования КРД	+	+	+	+
ПК-1	Имеет практический опыт: владения понятийным аппаратов в среде КРД; методами проектирования КРД, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

- Алемасов, В. Е. Теория ракетных двигателей Учебник для втузов 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:

Не предусмотрены

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 ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Теория прямоточного воздушного реактивного двигателя : учебное пособие / Г. Ю. Мазинг, И. Е. Никитина. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, [б. г.]. — Часть 2 : Сверхзвуковой прямоточный воздушно-реактивный двигатель — 2011. — 81 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-

			библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/52280 (дата обращения: 16.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Теория прямоточного воздушного реактивного двигателя : учебное пособие / Г. Ю. Мазинг, И. Е. Никитина. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, [б. г.]. — Часть 1 — 2006. — 68 с. — ISBN 5-7038-2820-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/52281 (дата обращения: 16.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдых и пастообразных топливах / В. А. Сорокин, Л. С. Яновский, В. А. Козлов, Е. В. Суриков. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 320 с. — ISBN 978-5-9221-1239-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/49100 (дата обращения: 16.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Расчет параметров цикла при проектировании газотурбинных двигателей и комбинированных установок : учебное пособие / В. Е. Михальцев, В. Д. Моляков ; под редакцией И. Г. Суровцева. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 58 с. — ISBN 978-5-7038-3814-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/52278 (дата обращения: 16.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Проектирование и отработка ракетно-прямоточных двигателей на твердом топливе : учебное пособие / В. А. Сорокин, Л. С. Яновский, Д. А. Ягодников [и др.] ; под общей редакцией А. Сорокина. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2016. — 317 с. — ISBN 978-5-7038-4579-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/106453 (дата обращения: 16.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

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
Лабораторные занятия	101 (2)	лаборатория холодных проливов
Контроль самостоятельной работы	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ

Лабораторные занятия	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ
Лабораторные занятия		лаборатория огневых испытаний
Самостоятельная работа студента	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ
Практические занятия и семинары	240 (2)	Авиационный двигатель
Лекции	244 (2)	средства измерения и регистрации расхода, давления и температуры