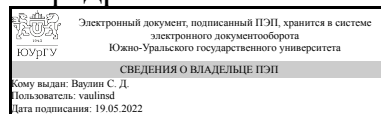


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Заведующий выпускающей
кафедрой



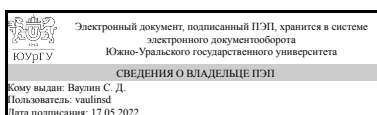
С. Д. Ваулин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.С1.02 Теория и расчет жидкостных ракетных двигателей
для специальности 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
уровень Специалитет
специализация Проектирование жидкостных ракетных двигателей
форма обучения очная
кафедра-разработчик Двигатели летательных аппаратов

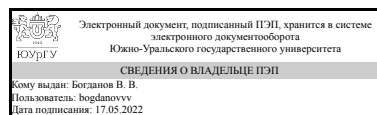
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, утверждённым приказом Минобрнауки от 12.08.2020 № 979

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 жидкостных ракетных двигателей (ЖРД). Задачи дисциплины: - освоение категорийного-понятийного аппарата дисциплины; - изучение основных методов расчета основных узлов и агрегатов ЖРД; - выявление и систематизация основных принципов проектирования узлов и агрегатов ЖРД; - формирование системы научно-практических знаний о методах, законах и основных тенденциях расчета и проектирования ЖРД.

Краткое содержание дисциплины

Введение Основы рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях Теловой расчет двигателя Сопла ЖРД Организация рабочего процесса и характеристики камер сгорания Физическое и математическое моделирование процессов Расчет основных конструктивных параметров и характеристик ЖРД Запуск и останов двигателя Пульсации в ЖРД Регулирование работы ЖРД Особенности космических ЖРДМТ

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: теоретические основы и расчетные методики по проектированию жидкостных ракетных двигателей (ЖРД); основные виды жидкостных ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЖРД; виды ЖРДУ и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования ЖРД Умеет: рассчитывать основные характеристики ЖРД и ЖРДУ, их узлов и агрегатов; формулировать задания для расчета для расчета и конструирования ЖРД и ЖРДУ Имеет практический опыт: расчета ЖРД и математического моделирования ЖРД и ЖРДУ, их узлов и агрегатов

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Нет	Конструирование жидкостных ракетных двигательных установок, Энергодвигательные установки космических летательных аппаратов, Проектирование ракетных двигателей на твердом топливе, Утилизация жидкостных ракетных двигателей, Конструирование летательных аппаратов,

	Двигательные установки космических летательных аппаратов, Конструирование жидкостных ракетных двигателей
--	---

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

Нет

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 з.е., 288 ч., 146,75 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		6	7
Общая трудоёмкость дисциплины	288	144	144
<i>Аудиторные занятия:</i>	128	64	64
Лекции (Л)	64	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	64	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	141,25	71,75	69,5
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к промежуточной аттестации	81,75	46,75	35
Проработка лекционного материала	59,5	25	34,5
Консультации и промежуточная аттестация	18,75	8,25	10,5
Вид 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	Введение	2	2	0	0
2	Общие сведения о ЖРД	6	2	4	0
3	Тепловой расчет ЖРД	24	12	12	0
4	Сопла ЖРД	10	4	6	0
5	Организация рабочего процесса и характеристики камер ДЖТ	14	6	8	0
6	Расчет основных конструктивных параметров и характеристик ЖРД	26	10	16	0
7	Физическое и математическое моделирование процессов в ЖРД	28	12	16	0

8	Запуск и останов ЖРД	2	2	0	0
9	Пульсации в ЖРД	2	2	0	0
10	Регулирование работы ЖРД	6	6	0	0
11	Особенности космических ЖРДМТ	8	6	2	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Краткий исторический очерк	1
2	1	Место дисциплины при подготовке специалиста	1
3	2	Общие сведения о ЖРД	0,5
4	2	Термогазодинамические и энергетические основы рабочего процесса	0,5
5	2	Ускорение потока и преобразование энергии	0,5
6	2	Тяга ЖРД	0,5
7	3	Газодинамический расчет камеры	6
8	3	Потери в камере сгорания	6
9	4	Сопла ракетных двигателей. Общие положения	1
10	4	Особенности течения потока в докритической части сопла	1,5
11	4	Особенности течения в сверхзвуковой части сопла	1,5
12	5	Распыливание и смесеобразование компонентов топлива	2
13	5	Испарение распыленного топлива	2
14	5	Воспламенение и сгорание топлива	2
15	6	Гидравлический расчет тракта охлаждения	2
16	6	Организация тепловой защиты камеры	2
17	6	Определение конвективных и лучистых тепловых потоков	2
18	6	Теплоотдача в охлаждающем тракте	2
19	6	Характеристики ЖРД	2
20	7	Основные уравнения для описания рабочего процесса	6
21	7	Физическое и математическое моделирование процессов в двигателе	6
22	8	Запуск двигателя	1
23	8	Останов двигателя	1
24	9	Пульсации в ЖРД и меры их подавления	2
25	10	Регулирование работы ЖРД	6
26	11	Особенности ЖРДМТ и ДУ с ЖРДМТ	6

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Тяга ЖРД	4
2	3	Тепловой расчет ЖРД. Газодинамический расчет идеальной камеры	6
3	3	Тепловой расчет ЖРД. Определение импульсных потерь в сопловом тракте. Газодинамический расчет реальной камеры	6
4	4	Построение профиля докритической и закритической части камеры ЖРД. Изменение рабочих параметров потока по длине сопла	6
5	5	Расчет жидкостный струйных форсунок (с пересечением и без пересечения струй)	1
6	5	Расчет центробежных форсунок (тангенциальных и шнекоцентробежных)	2

7	5	Расчет двухкомпонентных форсунок	2
8	5	Расчет газовых форсунок	1
9	5	Компоновочный расчет головки	2
10	6	Расчет конвективных тепловых потоков	4
11	6	Расчет лучистых тепловых потоков	4
12	6	Гидравлический расчет тракта охлаждения камеры	4
13	6	Методика расчета охлаждения камеры двигателя	4
14	7	Постановка задачи математического моделирования процессов в узлах ЖРД с применением ЭВМ	4
15	7	Моделирование дозвукового течения в каналах ЖРД	4
16	7	Моделирование сверхзвукового течения в каналах ЖРД	4
17	7	Моделирование двухфазного течения в распылительных устройствах ЖРД	4
18	11	Характерные особенности космических ДУ с ЖРД МТ	2

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

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	7	35
Проработка лекционного материала	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3	6	25
Подготовка к промежуточной аттестации	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3	6	46,75
Проработка лекционного материала	См. учебно-методические материалы в электронном виде, пункты 1, 2, 3	7	34,5

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	6	Текущий контроль	КТ1: Газодинамический расчёт жидкостного ракетного двигателя	1	100	Ответ предоставляется в письменном виде (допускается использование файла электронной таблицы) с использованием "Электронного ЮУрГУ" и	зачет

					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: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	
2	6	Текущий контроль	КТ2: Профилирование соплового тракта жидкостного ракетного двигателя	1	100 Ответ предоставляется в письменном виде (допускается использование файла электронной таблицы) 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: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов.	зачет

						В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	
3	6	Текущий контроль	КТ3: Построение графиков параметров рабочего тела в сопловом тракте жидкостного ракетного двигателя	1	100	Ответ предоставляется в письменном виде (допускается использование файла электронной таблицы) 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: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	зачет
4	6	Текущий контроль	КТ4: Контроль посещаемости занятий дисциплины	0,5	100	Рейтинг выставляется автоматически на основании журнала посещаемости "Электронного ЮУрГУ".	зачет
5	6	Промежуточная аттестация	ПА1: Решение задач	-	100	Результат контроля не может ухудшить итоговый рейтинг по дисциплине. Ответ предоставляется в письменном виде 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:	зачет

					а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.		
6	7	Текущий контроль	КТ5: Компоновочный расчёт форсуночной головки жидкостного ракетного двигателя	1	100	Ответ предоставляется в письменном виде (допускается использование файла электронной таблицы) 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: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	экзамен
7	7	Текущий контроль	КТ6: Расчёт форсунки ядра форсуночной головки камеры жидкостного ракетного двигателя	1	100	Ответ предоставляется в письменном виде (допускается использование файла электронной таблицы) с использованием "Электронного ЮУрГУ" и оценивается по критериям полноты и правильности. Согласно качеству ответа обучающемуся выставляется рейтинг. Обучающийся получает 100 баллов в	экзамен

						случае, если: ход решения чётко изложен, использованы верные формулы, получен верный ответ. За ошибки балл уменьшается согласно приведённому списку: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	
8	7	Текущий контроль	КТ7: Расчёт форсунки пристеночного слоя форсуночной головки камеры жидкостного ракетного двигателя	1	100	Ответ предоставляется в письменном виде (допускается использование файла электронной таблицы) 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: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) ответ представлен с опозданием относительно срока сдачи -- минус 10 баллов. В случае непредоставления ответа обучающийся получает 0 баллов.	экзамен
9	7	Текущий контроль	КТ8: Контроль посещаемости	0,5	100	Рейтинг выставляется автоматически на основании журнала	экзамен

			занятий дисциплины			посещаемости "Электронного ЮУрГУ".	
10	7	Проме- жуточная аттестация	ПА2: Ответ на теоретический вопрос, решение задачи	-	100	Ответ предоставляется в письменном виде очно, либо с использованием "Электронного ЮУрГУ" и оценивается по критериям полноты и правильности. Согласно качеству ответа обучающемуся выставляется рейтинг. Итоговый балл за ПА2 высчитывается по формуле $B = (0,35 \cdot B_t + 0,65 \cdot B_p)$, где B -- результирующий балл ПА2, Bт -- балл, полученный за ответ на теоретический вопрос (максимум 100 баллов), Bп -- балл, полученный за ответ (решение) на практическое задание (максимум 100 баллов). Критерии оценивания ответа теоретический вопрос: Обучающийся получает 100 баллов в случае, если: предоставлен верный ответ на вопрос. Критерии оценивания ответа: а) обучающийся дал полный, исчерпывающий ответ -- баллы не снимаются; б) обучающийся затруднился с ответом на одну из частей вопроса -- минус 40 баллов; в) обучающийся не смог, либо отказался отвечать на вопрос -- минус 100 баллов. Критерии оценивания ответа на практическое задание: Обучающийся получает 100 баллов в случае, если: ход решения чётко изложен, использованы верные формулы, получен верный ответ. За ошибки балл уменьшается согласно приведённому списку: а) допущены ошибки в расчёте -- минус 5 баллов; б) отсутствуют пояснения хода расчёта -- минус 10 баллов; в) использованы неверные формулы (формулы имеют ошибки в переменных) -- минус 15 баллов; г) использованы неверные формулы (использованные формулы не соответствуют постановке задачи) -- минус 30 баллов; д) В случае непредоставления ответа	экзамен

					на практическое задание обучающийся получает 0 баллов.	
--	--	--	--	--	--	--

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Прохождение промежуточной аттестации (ПА1) является необязательным и проводится в случае набора недостаточного количества баллов во время текущего контроля (КТ1 -- КТ4). Прохождение промежуточной аттестации не может снизить итоговый балл обучающегося.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения
экзамен	Прохождение промежуточной аттестации (ПА2) является необязательным и проводится в случае набора недостаточного количества баллов во время текущего контроля (КТ5 -- КТ8). Прохождение промежуточной аттестации не может снизить итоговый балл обучающегося.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПК-2	Знает: теоретические основы и расчетные методики по проектированию жидкостных ракетных двигателей (ЖРД); основные виды жидкостных ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЖРД; виды ЖРДУ и их назначение в составе ЛА; принципы регулирования ЖРД	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПК-2	Умеет: рассчитывать основные характеристики ЖРД и ЖРДУ, их узлов и агрегатов; формулировать задания для расчета и конструирования ЖРД и ЖРДУ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПК-2	Имеет практический опыт: расчета ЖРД и математического моделирования ЖРД и ЖРДУ, их узлов и агрегатов	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

- Добровольский, М. В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования Текст учеб. для вузов по направлению "Авиа-и ракетостроение", специальности "Ракет. двигатели" "Двигатели летат. аппаратов" М. В. Добровольский : под ред. Д. А. Ягодникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 486, [1] с. ил.
- Васильев, А. П. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей Учеб. для авиац. спец. вузов Под ред. В. М. Кудрявцева. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Высшая школа, 1983. - 703 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Махин, В. А. Динамика жидкостных ракетных двигателей Текст В. А. Махин, В. Ф. Присняков, Н. П. Белик. - М.: Машиностроение, 1969. - 834 с. ил.
2. Ракетные двигатели Текст Т. М. Мелькумов и др. - М.: Машиностроение, 1976. - 399 с. ил.
3. 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.

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

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	Основы теории и проектирования жидкостных ракетных двигателей малой тяги : учебное пособие : в 2 частях / А. Г. Минашин, Б. Б. Петрикевич ; под редакцией Б. Б. Петрикевича. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, [б. г.]. — Часть 2 — 2014. — 45 с. — ISBN 978-5-7038-4015-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/62055 (дата обращения: 04.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Внутрикамерные процессы в жидкостных ракетных двигателях : учебное пособие / Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2014. — 101 с. — ISBN 978-5-85546-838-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/63709 (дата обращения: 04.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Математические модели механики сплошных сред : учебное пособие / В. К. Андреев. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 240 с. — ISBN 978-5-8114-1998-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/168854 (дата обращения: 04.02.2022). — 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
Практические занятия и семинары	101 (2)	средства измерения и регистрации расхода, давления и температуры
Лекции	244 (2)	средства измерения и регистрации расхода, давления и температуры
Лабораторные занятия	(2)	лаборатория огневых испытаний
Лекции	100 (2в)	Изделия УЦ РКТ