ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Декан факультета
Аэрокосмический

ЮУрГУ
Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Фёдоров В. Б.
Пользователь: fedorovvb
Дата подписания: 17.06.2021

В. Б. Фёдоров

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины Б.1.31 Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях
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.

ЮУрГУ
Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Ваулин С. Д.
Пользователь: vaulinsd
Дата подписания: 16.06.2021

С. Д. Ваулин

Разработчик программы,
старший преподаватель

ЮУрГУ
Электронный документ, подписанный ПЭП, хранится в системе электронного документооборота Южно-Уральского государственного университета
СВЕДЕНИЯ О ВЛАДЕЛЬЦЕ ПЭП
Кому выдан: Богданов В. В.
Пользователь: bogdanovvv
Дата подписания: 16.06.2021

В. В. Богданов

Челябинск

1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины: формирование системы профессиональных знаний и практических навыков в области проектирования жидкостных ракетных двигателей. Задачи дисциплины: - представление обучающимся сведений, являющихся базовыми при изучении дисциплин специализации; - формирование у обучающихся представления о физической, химической и термодинамической природе протекающих в камере сгорания ракетных двигателей и газогенераторов процессов; - выработка у обучающихся навыков определения состава и свойств рабочего тела (продуктов сгорания) ракетных двигателей на основе принципа подвижного равновесия с использованием современных средств ЭВМ; - предоставление обучающимся сведений об энергетических, эксплуатационных, конструкционных, экономических и экологических свойствах наиболее распространённых и перспективных ракетных топлив, в том числе об их степени токсичности и влиянии на организм человека и окружающую среду.

Краткое содержание дисциплины

Вводная лекция по химической кинетике Источники энергии и рабочие тела ракетных двигателей. Химическая кинетика как раздел физической химии. Теоретические методы определения скорости химической реакции. Зависимость скорости реакции от температуры, давления и рода реагирующих веществ. Молекулярность и порядок химических реакций реакций. Изменение скорости и концентраций во времени химических реакций, время полураспада. Энергия активации, её физический смысл, методы определения энергии активации и констант изотермических реакций. Равновесие обратимых химических реакций Константы равновесия, выраженные через концентрации и через парциальные давления. Уравнение Вант-Гоффа и равновесие экзотермических и эндотермических реакций. Особенности протекания цепных химических реакций. Неизотермические химические реакции: самовоспламенение простых химических реакций температура самовоспламенения. Время индукции. Развитие цепных реакций во времени, самовоспламенение таких реакций. Элементы теории горения, понятие о кинетическом и диффузионном горении. Понятие о кривой выгорания на основе одномерной модели. Теоретическое определение нормальной скорости распространения пламени в ламинарном потоке. Экспериментальные методы определения нормальной скорости Распространение пламени в турбулентных потоках при различной степени турбулентности. Особенности гомогенного диффузионного пламени. Структура диффузионного факела Понятие о детонационном горении. Вводная лекция по теории горения ракетных топлив Элементный состав компонентов топлив и топлив. Стехиометрическое соотношение компонентов Определение стехиометрического соотношения для топливных пар разного состава Понятие о полной энтальпии индивидуальных веществ, системы отсчёта. Полная энтальпия смесей, растворов, компонентов топлива и топлива. Стандартная энтальпия и приведение её к условиям входа в камеру. Расчёт параметров продуктов сгорания (П.С.) известного состава Система уравнений для определения равновесных температуры и состава П.С. при заданных температуре и давлении. Алгоритм определения равновесного состава и температуры гомогенных продуктов сгорания в камере и на срезе сопла. Методы решения системы уравнений для определения состава продуктов сгорания Решение системы уравнений так

называемым «точным» способом. Блок-схема программы для определения парциальных давлений в камере Блок-схема программы для определения парциальных давлений на срезе сопла. Общая блок-схема программы термодинамического расчёта камеры. Особенности составления системы уравнений для определения состава гетерогенных продуктов сгорания Особенности термодинамического расчёта при $\alpha << 1$. Особенности термодинамического расчёта при $\alpha >> 1$ (расчёт для случая, когда окислитель – простое вещество). Особенности термодинамического расчёта при $\alpha >> 1$.расчёт для случая, когда окислитель и горючее содержат азот. Особые случаи терморасчёта: окислитель –атмосферный воздух. Особые случаи терморасчёта: расчёт недиссоциированных или слабо диссоциированных продуктов сгорания. Область применения системы уравнений для расчёта равновесного состава. Выбор оптимального α в камере сгорания, в пристеночном слое, для газогенераторов двигателей открытой и замкнутой схем. Основные и конструкционные требования, предъявляемые к ракетным топливам. Эксплуатационные, экономические и экологические требования, предъявляемые к ракетным топливам. Классификация ракетных топлив по составу. Краткая характеристика кислородных окислителей. Краткая характеристика азотосодержащих окислителей. Краткая характеристика фторных окислителей. Краткая характеристика хлор- и фторсодержащих окислителей. Краткая характеристика спиртов как горючих. Краткая характеристика аммиака и аминных горючих. Гидразин и его производные. Краткая характеристика. Углеводороды как ракетные горючие, краткая характеристика. Водород, бороводороды и металлы как ракетные горючие.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ПСК-3.5 способностью разрабатывать конструкторские и организационные мероприятия по минимизации воздействия жидкостных ракетных двигателей на биосферу земли в процессе всего жизненного цикла	Знать:классификацию применяемых ракетных топлив, степень их опасности и вредного воздействия на организм человека и окружающую среду
	Уметь: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
	Владеть:
ПСК-3.2 способностью выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов	Знать:принципы термодинамического равновесия продуктов сгорания в камере жидкостного ракетного двигателя
	Уметь:проводить термодинамический расчёт жидкостного ракетного двигателя, определять: состав, кажущуюся молекулярную массу, температуру продуктов сгорания в характерных сечениях камеры двигателя
	Владеть:

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Б.1.24 Термодинамика и теплопередача, Б.1.07 Информатика и программирование, Б.1.08 Химия, Б.1.06 Физика	Б.1.38 Теория и проектирование жидкостных ракетных двигателей, Б.1.37 Теория и проектирование турбонасосных агрегатов

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

Дисциплина	Требования
Б.1.07 Информатика и программирование	Знать: основные принципы построения и визуализации алгоритмов. Уметь: пользоваться средствами ЭВМ для реализации расчётных алгоритмов. Владеть: навыками программирования на современных языках программирования: "Fortran 2003", Си.
Б.1.24 Термодинамика и теплопередача	Знать: о фундаментальном единстве естественных наук, о соотношении порядка и беспорядка в природе, об упорядоченности строения объектов природы и т. д. Уметь: использовать законы термодинамики, тепловые свойства рабочих тел, закономерности протекания термодинамических процессов и характеристик идеальных циклов тепловых машин. Владеть: навыками расчёта параметров газовых смесей и термодинамических циклов.
Б.1.06 Физика	Знать: основные физические явления и основные законы физики, границы их применимости; основные физические величины и физические константы, их определение и смысл, способы и единицы их измерения. Уметь: объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления и эффекты с позиций фундаментальных физических взаимодействий; работать с приборами и оборудованием современной физической лаборатории. Владеть: навыками обработки и интерпретации результатов эксперимента, методами физического моделирования в производственной практике.
Б.1.08 Химия	Знать: основы строения вещества, типы химических связей, реакционную способность и методы химической идентификации веществ. Уметь: определять термодинамическую возможность протекания процесса, определять реакционную способность веществ, проводить стехиометрические и физико-химические расчёты параметорв химических реакций. Владеть: навыками безопасной работы с химическими системами, использования

	приборов и оборудования для проведения экспериментов; физико-химическими методами анализа.

4. Объём и виды учебной работы

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

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	6
Общая трудоёмкость дисциплины	252	144	108
Аудиторные занятия:	112	64	48
Лекции (Л)	40	24	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	40	24	16
Лабораторные работы (ЛР)	32	16	16
Самостоятельная работа (СРС)	140	80	60
Проработка лекционного материала	90	80	10
Курсовая работа	50	0	50
Вид итогового контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	экзамен,КР

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Вводная лекция по химической кинетике	0,5	0,5	0	0
2	Источники энергии и рабочие тела ракетных двигателей.	0,5	0,5	0	0
3	Химическая кинетика как раздел физической химии.	0,5	0,5	0	0
4	Теоретические методы определения скорости химической реакции.	0,5	0,5	0	0
5	Зависимость скорости реакции от температуры, давления и рода реагирующих веществ.	0,5	0,5	0	0
6	Молекулярность и порядок химических реакций реакций.	0,5	0,5	0	0
7	Изменение скорости и концентраций во времени химических реакций, время полураспада.	0,5	0,5	0	0
8	Энергия активации, её физический смысл, методы определения энергии активации и констант изотермических реакций.	1	1	0	0
9	Равновесие обратимых химических реакций	1,5	1,5	0	0
10	Константы равновесия, выраженные через концентрации и через парциальные давления.	1	1	0	0
11	Уравнение Вант-Гоффа и равновесие экзотермических и эндотермических реакций.	1	1	0	0
12	Особенности протекания цепных химических реакций.	1	1	0	0
13	Неизотермические химические реакции: самовоспламенение простых химических реакций температура самовоспламенения. Время индукции.	0,5	0,5	0	0
14	Развитие цепных реакций во времени, самовоспламенение	1	1	0	0

	таких реакций.				
15	Элементы теории горения, понятие о кинетическом и диффузионном горении.	5	1	0	4
16	Понятие о кривой выгорания на основе одномерной модели.	0,5	0,5	0	0
17	Теоретическое определение нормальной скорости распространения пламени в ламинарном потоке.	0,5	0,5	0	0
18	Экспериментальные методы определения нормальной скорости	8,5	0,5	0	8
19	Распространение пламени в турбулентных потоках при различной степени турбулентности.	1	1	0	0
20	Особенности гомогенного диффузионного пламени. Структура диффузионного факела	1	1	0	0
21	Понятие о детонационном горении.	1	1	0	0
22	Вводная лекция по теории горения ракетных топлив	0,5	0,5	0	0
23	Элементный состав компонентов топлив и топлив.	4,5	0,5	4	0
24	Стехиометрическое соотношение компонентов	6,5	1,5	4	1
25	Определение стехиометрического соотношения для топливных пар разного состава	7	1	4	2
26	Понятие о полной энтальпии индивидуальных веществ, системы отсчёта.	5,5	0,5	4	1
27	Полная энтальпия смесей, растворов, компонентов топлива и топлива.	5,5	0,5	4	1
28	Стандартная энтальпия и приведение её к условиям входа в камеру.	3,5	0,5	2	1
29	Расчёт параметров продуктов сгорания (П.С.) известного состава	4	1	1	2
30	Система уравнений для определения равновесных температуры и состава П.С. при заданных температуре и давлении.	5	1	4	0
31	Алгоритм определения равновесного состава и температуры гомогенных продуктов сгорания в камере и на срезе сопла.	2	2	0	0
32	Методы решения системы уравнений для определения состава продуктов сгорания	2	1	1	0
33	Решение системы уравнений так называемым «точным» способом.	3	1	2	0
34	Блок-схема программы для определения парциальных давлений в камере	2,5	0,5	2	0
35	Блок-схема программы для определения парциальных давлений на срезе сопла.	2,5	0,5	2	0
36	Общая блок-схема программы термодинамического расчёта камеры.	6,5	0,5	6	0
37	Особенности составления системы уравнений для определения состава гетерогенных продуктов сгорания	0,5	0,5	0	0
38	Особенности термодинамического расчёта при $\alpha << 1$.	0,5	0,5	0	0
39	Особенности термодинамического расчёта при $\alpha >> 1$ (расчёт для случая, когда окислитель – простое вещество).	0,5	0,5	0	0
40	Особенности термодинамического расчёта при $\alpha >> 1$.расчёт для случая, когда окислитель и горючее содержат азот.	0,5	0,5	0	0
41	Особые случаи терморасчёта: окислитель – атмосферный воздух.	0,5	0,5	0	0
42	Особые случаи терморасчёта: расчёт недиссоциированных или слабо диссоциированных продуктов сгорания.	0,5	0,5	0	0
43	Область применения системы уравнений для расчёта	0,5	0,5	0	0

	равновесного состава.				
44	Выбор оптимального α в камере сгорания, в пристеночном слое, для газогенераторов двигателей открытой и замкнутой схем.	1	1	0	0
45	Основные и конструкционные требования, предъявляемые к ракетным топливам.	8	2	0	6
46	Эксплуатационные, экономические и экологические требования, предъявляемые к ракетным топливам.	8	2	0	6
47	Классификация ракетных топлив по составу.	0,5	0,5	0	0
48	Краткая характеристика кислородных окислителей.	0,5	0,5	0	0
49	Краткая характеристика азотосодержащих окислителей.	0,25	0,25	0	0
50	Краткая характеристика фторных окислителей.	0,25	0,25	0	0
51	Краткая характеристика хлор- и фторсодержащих окислителей.	0,25	0,25	0	0
52	Краткая характеристика спиртов как горючих.	0,25	0,25	0	0
53	Краткая характеристика аммиака и аминных горючих.	0,25	0,25	0	0
54	Гидразин и его производные. Краткая характеристика.	0,25	0,25	0	0
55	Углеводороды как ракетные горючие, краткая характеристика.	0,25	0,25	0	0
56	Водород, бороводороды и металлы как ракетные горючие.	0,25	0,25	0	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Вводная лекция	0,5
2	2	Источники энергии и рабочие тела ракетных двигателей.	0,5
3	3	Химическая кинетика как раздел физической химии.	0,5
4	4	Теоретические методы определения скорости химической реакции.	0,5
5	5	Зависимость скорости реакции от температуры, давления и рода реагирующих веществ.	0,5
6	6	Молекулярность и порядок химических реакций реакций.	0,5
7	7	Изменение скорости и концентраций во времени химических реакций, время полураспада.	0,5
8	8	Энергия активации, её физический смысл, методы определения энергии активации и констант изотермических реакций.	1
9	9	Равновесие обратимых химических реакций	1,5
10	10	Константы равновесия, выраженные через концентрации и через парциальные давления.	1
11	11	Уравнение Вант-Гоффа и равновесие экзотермических и эндотермических реакций.	1
12	12	Особенности протекания цепных химических реакций.	1
13	13	Неизотермические химические реакции: самовоспламенение простых химических реакций температура самовоспламенения. Время индукции.	0,5
14	14	Развитие цепных реакций во времени, самовоспламенение таких реакций.	1
15	15	Элементы теории горения, понятие о кинетическом и диффузионном горении.	1
16	16	Понятие о кривой выгорания на основе одномерной модели.	0,5
17	17	Теоретическое определение нормальной скорости распространения пламени в ламинарном потоке.	0,5
18	18	Экспериментальные методы определения нормальной скорости	0,5
19	19	Распространение пламени в турбулентных потоках при различной степени турбулентности.	1

20	20	Особенности гомогенного диффузионного пламени. Структура диффузионного факела	1
21	21	Понятие о детонационном горении.	1
22	22	Вводная лекция	0,5
23	23	Элементный состав компонентов топлив и топлив	0,5
24	24	Стехиометрическое соотношение компонентов	1,5
25	25	Определение стехиометрического соотношения для топливных пар разного состава	1
26	26	Понятие о полной энтальпии индивидуальных веществ, системы отсчёта.	0,5
27	27	Полная энтальпия смесей, растворов, компонентов топлива и топлива.	0,5
28	28	Стандартная энтальпия и приведение её к условиям входа в камеру.	0,5
29	29	Расчёт параметров продуктов сгорания (П.С.) известного состава	1
30	30	Система уравнений для определения равновесных температуры и состава П.С. при заданных температуре и давлении.	1
31	31	Алгоритм определения равновесного состава и температуры гомогенных продуктов сгорания в камере и на срезе сопла.	2
32	32	Методы решения системы уравнений для определения состава продуктов сгорания	1
33	33	Решение системы уравнений так называемым «точным» способом.	1
34	34	Блок-схема программы для определения парциальных давлений в камере	0,5
35	35	Блок-схема программы для определения парциальных давлений на срезе сопла.	0,5
36	36	Общая блок-схема программы термодинамического расчёта камеры.	0,5
37	37	Особенности составления системы уравнений для определения состава гетерогенных продуктов сгорания	0,5
38	38	Особенности термодинамического расчёта при $\alpha << 1$.	0,5
39	39	Особенности термодинамического расчёта при $\alpha >> 1$ (расчёт для случая, когда окислитель – простое вещество).	0,5
40	40	Особенности термодинамического расчёта при $\alpha >> 1$.расчёт для случая, когда окислитель и горючее содержат азот.	0,5
41	41	Особые случаи терморасчёта: окислитель –атмосферный воздух.	0,5
42	42	Особые случаи терморасчёта: расчёт недиссоциированных или слабо диссоциированных продуктов сгорания.	0,5
43	43	Область применения системы уравнений для расчёта равновесного состава.	0,5
44	44	Выбор оптимального α в камере сгорания, в пристеночном слое, для газогенераторов двигателей открытой и замкнутой схем.	1
45	45	Основные и конструкционные требования, предъявляемые к ракетным топливам.	2
46	46	Эксплуатационные, экономические и экологические требования, предъявляемые к ракетным топливам.	2
47	47	Классификация ракетных топлив по составу.	0,5
48	48	Краткая характеристика кислородных окислителей.	0,5
49	49	Краткая характеристика азотосодержащих окислителей.	0,25
50	50	Краткая характеристика фторных окислителей.	0,25
51	51	Краткая характеристика хлор- и фторсодержащих окислителей.	0,25
52	52	Краткая характеристика спиртов как горючих.	0,25
53	53	Краткая характеристика аммиака и аминных горючих.	0,25
54	54	Гидразин и его производные. Краткая характеристика.	0,25
55	55	Углеводороды как ракетные горючие, краткая характеристика.	0,25
56	56	Водород, бороводороды и металлы как ракетные горючие.	0,25

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	23	Определение массового состава, условных и удельных формул компонентов и топлива.	4
2	24	Практические занятия по определению массового состава, условных формул компонентов и топлива, стехиометрических коэффициентов и полной энтальпии горючего, окислителя и топлива.	2
3	24	Составление системы уравнений для конкретной топливной пары, определение коэффициентов, составление блок-схемы программы решения системы и блок-схемы программы для определения равновесных параметров в камере и на срезе сопла..	2
2	25	Практические занятия по определению массового состава, условных формул компонентов и топлива, стехиометрических коэффициентов и полной энтальпии горючего, окислителя и топлива.	1
3	25	Составление системы уравнений для конкретной топливной пары, определение коэффициентов, составление блок-схемы программы решения системы и блок-схемы программы для определения равновесных параметров в камере и на срезе сопла..	2
4	25	Определение коэффициентов стехиометрического соотношения мольных (к0) и массовых (К0) для разных топливных пар. Сравнительный анализ по К0 различных окислителей с эталонным горючим.	1
2	26	Практические занятия по определению массового состава, условных формул компонентов и топлива, стехиометрических коэффициентов и полной энтальпии горючего, окислителя и топлива.	1
3	26	Составление системы уравнений для конкретной топливной пары, определение коэффициентов, составление блок-схемы программы решения системы и блок-схемы программы для определения равновесных параметров в камере и на срезе сопла..	2
5	26	Системы отсчёта полных энтальпий. Физическая энтальпия и химическая энергия. Определение полной энтальпии для переохлаждённого жидкого кислорода, фтора, для нагретого до некоторой температуры керосина и т.п.	1
2	27	Практические занятия по определению массового состава, условных формул компонентов и топлива, стехиометрических коэффициентов и полной энтальпии горючего, окислителя и топлива.	4
6	28	Приведение стандартной энтальпии к условиям входа в камеру. Особенности приведения энтальпии горючих и окислителей.	2
7	29	Термодинамический расчёт в камере и на срезе сопла при помощи таблиц и номограмм.	1
8	30	Составление системы уравнений для определения равновесного состава продуктов сгорания при известных давлении и температуре для случая, когда в состав топлива входят элементы О, Н, и С.	4
9	32	Составление системы уравнений для конкретной топливной пары, определение коэффициентов, составление блок-схемы программы решения системы и блок-схемы программы для определения равновесных параметров в камере и на срезе сопла.	1
9	33	Составление системы уравнений для конкретной топливной пары, определение коэффициентов, составление блок-схемы программы решения системы и блок-схемы программы для определения равновесных параметров в камере и на срезе сопла.	2
9	34	Составление системы уравнений для конкретной топливной пары,	2

		определение коэффициентов, составление блок-схемы программы решения системы и блок-схемы программы для определения равновесных параметров в камере и на срезе сопла.	
9	35	Составление системы уравнений для конкретной топливной пары, определение коэффициентов, составление блок-схемы программы решения системы и блок-схемы программы для определения равновесных параметров в камере и на срезе сопла.	2
10	36	Термодинамический расчёт в камере и на срезе сопла при помощи таблиц и номограмм.	6

5.3. Лабораторные работы

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	15	Экспериментальное изучение режимов горения газовых смесей	4
2	18	Экспериментальное определение нормальной скорости пламени в ламинарном потоке	4
3	18	Экспериментальное определение зависимости нормальной скорости распространения пламени от коэффициента избытка окислителя	4
4	24	Исследование режимов работы ГГ на компонентах топлива «сжатый воздух – пропан»	1
4	25	Исследование режимов работы ГГ на компонентах топлива «сжатый воздух – пропан»	2
4	26	Исследование режимов работы ГГ на компонентах топлива «сжатый воздух – пропан»	1
5	27	Изучение режимов горения модельного ЖРД на компонентах топлива «спирт – газообразный кислород»	1
5	28	Изучение режимов горения модельного ЖРД на компонентах топлива «спирт – газообразный кислород»	1
5	29	Изучение режимов горения модельного ЖРД на компонентах топлива «спирт – газообразный кислород»	2
6	45	Изучение конструкции топливных баков для высококипящих компонентов	3
7	45	Изучение конструкции топливных баков для криогенных компонентов	3
8	46	Изучение способов заправки и хранения компонентов топлива в наземных условиях	3
9	46	Изучение топливосмесительных устройств в авиационных и ракетных двигателях	3

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	см. основную и дополнительную литературу	40
Проработка лекционного материала	см. основную и дополнительную литературу	20
Курсовая работа	см. основную и дополнительную литературу	80

6. Инновационные образовательные технологии, используемые в учебном процессе

Инновационные формы учебных занятий	Вид работы (Л, ПЗ, ЛР)	Краткое описание	Кол-во ауд. часов
Представление материалов в виде презентаций	Лекции	Лекции и дидактические материалы оформлены в виде презентаций и демонстрируются с применением мультимедийных возможностей аудиторий	20

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	зачёт	1-25
Все разделы	ПСК-3.5 способностью разрабатывать конструкторские и организационные мероприятия по минимизации воздействия жидкостных ракетных двигателей на биосферу земли в процессе всего жизненного цикла	зачёт	1-25
Все разделы	ПСК-3.2 способностью выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов	экзамен	26-54
Все разделы	ПСК-3.5 способностью разрабатывать конструкторские и организационные мероприятия по минимизации воздействия жидкостных ракетных двигателей на биосферу земли в процессе всего жизненного цикла	экзамен	26-54
Все разделы	ПСК-3.2 способностью выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов	курсовая работа	по вариантам
Все разделы	ПСК-3.5 способностью разрабатывать конструкторские и организационные мероприятия по минимизации воздействия жидкостных ракетных двигателей на биосферу земли в процессе всего жизненного цикла	курсовая работа	по вариантам

7.2. Виды контроля, процедуры проведения, критерии оценивания

Вид контроля	Процедуры проведения и оценивания	Критерии оценивания
зачёт	При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Устный ответ по предварительной подготовке. Два вопроса из КТ1. Оценка за зачёт формируется в системе "Электронный ЮУрГУ" из оценок по КТ, посещаемости: коэффициент вопроса из КТ1 - 1, коэффициент посещаемости - 1.	Зачтено: 50-100% Не зачтено: 0-49%
экзамен	При оценивании результатов мероприятия используется балльно-рейтинговая система оценивания результатов учебной деятельности обучающихся (утверждена приказом ректора от 24.05.2019 г. № 179). Письменная подготовка ответа на вопросы билета (1 час). Три вопроса: по одному из А1, А2, А3. Устный ответ с использованием подготовленного материала. Получение 85-100% при защите курсовой работы обеспечивает автоматическое получение 100% при ответе на вопрос из А1 и А2. Получение 70-84% при защите курсовой работы обеспечивает автоматическое получение 100% при ответе на вопрос из А2. Оценка за экзамен формируется в системе "Электронный ЮУрГУ" из оценок по А1, А2, А3, посещаемости: коэффициент А1…А3 - 1, коэффициент посещаемости - 1.	Отлично: 85-100% Хорошо: 70-84% Удовлетворительно: 50-69% Неудовлетворительно: 0-49%
курсовая работа	Представление пояснительной записки и распечаток результатов расчёта с устным пояснением сути проделанной работы	Отлично: Полученные данные точны, корректны, исчерпывающи. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями ГОСТ и нормативных документов университета, у преподавателя нет сомнений в личном выполнении обучающимся представленной работы. Хорошо: Полученные данные точны, корректны, исчерпывающи. Имеются претензии к оформлению и представлению данных распесчаток, у преподавателя нет сомнений в личном выполнении обучающимся представленной работы. Удовлетворительно: Полученные данные точны, корректны, но работа проведена не в полном объёме, недооформлена, часть оформления и алгоритмов "заимствована" у обучающихся предыдущих лет обучения, однако обучающийся демонстрирует знание методики расчёта, личный вклад в получение

		результатов (алгоритмы модифицированы и переписаны под выданные исходные данные). Неудовлетворительно: Работа не выполнена, либо полностью совпадает с работами обучающихся прошлых лет обучения, отсутствует личный вклад в достижение результата, обучающийся не может пояснить принципы работы алгоритмов расчёта.

7.3. Типовые контрольные задания

Вид контроля	Типовые контрольные задания
зачёт	КТ1 1. Связь параметров ракеты, двигателя и топлива. 2. Сравнение параметров ракетных двигателей с различными видами энергии. Структурные схемы ракетных двигателей. Виды химической энергии, применяемой в ракетных двигателях. 3. Химическая кинетика как наука. Основные понятия химической кинетики: концентрация – массовая, объёмная, мольная (дать определение моля). Скорость химической реакции. Связь между скоростями реакций веществ по стехиометрическому уравнению. 4. Вывод формулы скорости бимолекулярной гомогенной химической реакции по теории столкновений. 5. Молекулярность и порядок химической реакции. Изменение концентрации мономолекулярной реакции во времени, период полураспада. 6. Изменение концентрации изотермических бимолекулярных реакций во времени, периоды полураспада. 7. Изменение изотермической тримолекулярной реакции во времени, период полураспада, изменение скорости реакции во времени. Сравнение кривых изменения скоростей от времени для реакций разной молекулярности. 8. Понятие об энергии активации химической реакции. Экспериментальное определение предэкспоненциального множителя и энергии активации. 9. Равновесие гомогенных химических реакций. Время установления равновесия. Реакции равновесные и неравновесные. Константы равновесия, выраженные через концентрации и через давления. 10. Закон Вант-Гоффа, зависимость констант равновесия эндо- и экзотермических реакций от температуры. 11. Цепные реакции, определение. Цепные реакции с неразветвляющимися цепями; скорость таких реакций. 12. Цепные реакции с разветвляющимися цепями; скорость таких реакций. 13. Самовоспламенение химических реакций. Характер изменения во времени скорости неизотермических реакций при различных соотношениях кривых теплоподвода и теплоотвода. Температура самовоспламенения простых реакций («тепловой взрыв»). 14. Понятие о кривой выгорания. Определение объёма камеры сгорания. 15. Влияние различных факторов на температуру самовоспламенения простых реакций. 16. Температура самовоспламенения цепных реакций с разветвляющимися цепями. 17. Распространение пламени в горючих смесях. Понятие о фронте пламени. Распространение пламени в неподвижной изотропной среде. Скорость распространения пламени в трубах. Различные режимы распространения пламени. Понятие о наблюдаемой и нормальной скорости. Закон площадей (или закон косинуса). 18. Распространение пламени в потоке горючей смеси. Теоретическое определение нормальной скорости распространения и зависимость её от различных факторов. 19. Условия существования стационарного фронта пламени в ламинарном потоке. Закон косинуса для условий потока. Влияние различных факторов на форму факела. «Проскок» пламени и «отрыв» фронта пламени.

	20. Длина фронта пламени в ламинарном потоке. 21. Скорость распространения пламени в турбулентных потоках горючей смеси. Скорость и структура пламени при мелкомасштабной и среднемасштабной турбулентности горючей смеси. 22. Скорость и структура пламени при крупномасштабной турбулентности горючей смеси. 23. Диффузионное горение. Структура диффузионного факела пламени. 24. Длина диффузионного факела пламени в ламинарном потоке горючей смеси. Основные процессы и условные зоны в камере сгорания ЖРД. Расположение эффективного фронта пламени в камере сгорания. 25. Понятие о детонационном распространении пламени. Структура детонационной волны, условия возникновения детонационной волны.
экзамен	A1 26. Стехиометрическое уравнения химической реакции. Мольное и массовое стехиометрические соотношения и связь между ними. Коэффициент избытка окислителя. 27. Массовый состав топлив: индивидуальных веществ, смесей; обозначение массовых долей элементов; массовый состав топлива в целом. Условные формулы смесей (на примере конкретной топливной пары по заданию преподавателя). 28. Вывод формулы для стехиометрического соотношения компонентов через валентности горючего и окислителя. Определить массовое стехиометрическое соотношение компонентов (на примере конкретной топливной пары по заданию преподавателя) с помощью формулы валентностей. 29. Вывод формулы для определения массового стехиометрического коэффициента через массовые доли, когда в состав топлива входят элементы H, C, N, O, Al. 30. Понятие о полной энтальпии химического топлива. Система А. П. Ваничева и международная система отсчёта для определения полной энтальпии. Полная энтальпия смеси индивидуальных веществ. Полная энтальпия 1 кг топлива. Приведение энтальпии к условиям входа в камеру сгорания. 31. Понятие об энтропии химического топлива. Энтропия идеальных газов. Энтропия смеси газов продуктов сгорания. 32. Коэффициент соотношения компонентов топлива. Критерии выбора оптимального коэффициента соотношения компонентов с точки зрения эффективности двигателя и эффективности летательного аппарата (ракеты). 33. Вывод формулы для определения массового стехиометрического коэффициента через массовые доли, когда в состав топлива входят элементы H, C, N, F. A2 34. Обоснование основных допущений при термодинамическом расчёте. Схема термодинамического расчёта в камере сгорания и на срезе сопла. 35. Химическое равновесие продуктов сгорания. Константы химического равновесия. Условия равновесия состава продуктов сгорания в камере. Переход от констант, выраженных через концентрации к константам, выраженным через парциальные давления. 36. Вывод системы уравнений для определения состава продуктов сгорания при заданных давлении и температуре для случая, когда в состав топлива входят элементы C, H, O. 37. Обзор методов решения системы уравнений для определения состава продуктов сгорания. Решение системы «точным» способом. Преобразование системы уравнений для решения «точным» способом. Алгоритм решения. 38. Особенности термодинамического расчёта при гетерогенных продуктах сгорания. Область применения, основные допущения приведённой физической модели. Константы равновесия, энтальпия и энтропия гетерогенных продуктов сгорания. 39. Особенности термодинамического расчёта, когда в качестве окислителя применяется атмосферный воздух. 40. Термодинамический расчёт при α много больше 1, когда окислителем является простое вещество (на примере топлива "CxNyHz+O2"). Термодинамический расчёт при

	α много меньше 1. 41. Блок-схема решения системы уравнений для определения равновесного состава «точным» способом на ЭВМ. А3 42. Терминология и основные понятия о компонентах топлива. Основные и вспомогательные компоненты, окислитель, горючее, высококипящие, низкокипящие и криогенные компоненты. Привести примеры. Области применения гелеобразных, тиксотропных шугообразных, переохлаждённых компонентов. Классификация жидких ракетных топлив по числу компонентов, их энергетические возможности (примерные величины Iуд). 43. Требования, предъявляемые к (жидким) ракетным топливам (пять групп требований). Подробно об экологических требованиях. 44. Требования, предъявляемые к (жидким) ракетным топливам (пять групп требований). Подробно о конструкционных требованиях. 45. Требования, предъявляемые к (жидким) ракетным топливам (пять групп требований). Подробно об эксплуатационных требованиях. 46. Краткая характеристика кислородных окислителей. Конструкционные материалы, применяемые с этой группой окислителей. 47. Краткая характеристика азотосодержащих окислителей. Конструкционные материалы, применяемые с этой группой окислителей. 48. Краткая характеристика фторных и хлорных окислителей. Конструкционные материалы, применяемые с этой группой окислителей. 49. Краткая характеристика аминных (аммиак и его производные) горючих. Достоинства и недостатки. 50. Краткая характеристика спиртовых и углеводородных горючих. Достоинства и недостатки. Области их применения. 51. Краткая характеристика водорода и металлов как ракетных горючих. Области их применения. 52. Краткая характеристика гидразин и его производных как ракетных горючих. Достоинства и недостатки. 53. Краткая характеристика бороводородов как ракетных горючих. Особенности их применения. Достоинства и недостатки. 54. Однокомпонентные ракетные топлива. Классификация, сравнительная характеристика, области применения.
курсовая работа	задание (топливная композиция, давление в камере и на срезе сопла) по вариантам

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Частухин, В. И. Топливо и теория горения Учеб. пособие для вузов по спец."Промышленная теплоэнергетика". - Киев: Выща школа, 1989. - 223 с. ил.

2. 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:

Не предусмотрена

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

1. нет

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Мальков, В. А. Методические указания по оформлению курсовой работы по дисциплине «Основы теории горения ракетных топлив» [Текст] / Мальков В. А. — Челябинск: ЮУрГУ, 2004. — 7с.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

2. Мальков, В. А. Методические указания по оформлению курсовой работы по дисциплине «Основы теории горения ракетных топлив» [Текст] / Мальков В. А. — Челябинск: ЮУрГУ, 2004. — 7с.

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование разработки	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Основная литература	Буданов, В.В. Химическая кинетика. [Электронный ресурс] / В.В. Буданов, Т.Н. Ломова, В.В. Рыбкин. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2014. — 288 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/42196 — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный
2	Основная литература	Шапров, М.Н. Теория горения и взрыва: учебное пособие. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Волгоград : Волгоградский ГАУ, 2016. — 92 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/76691 — Загл. с экрана.	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Интернет / Авторизованный

9. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

Перечень используемого программного обеспечения:

1. -Code::Blocks IDE for Fortran(бессрочно)
2. -GNU Fortran(бессрочно)

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
Лабораторные занятия		лабораторные стенды АК факультета

Лекции	244 (2)	мультимедийные средства аудиторий
Практические занятия и семинары	304 (2)	мультимедийные средства аудиторий, персональные ЭВМ