

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета машиностроения  
и аэрокосмической техники



В.И. Ряжских

«21» февраля 2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных  
двигателях»

Специальность 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных  
двигателей

Специализация Проектирование жидкостных ракетных двигателей

Квалификация выпускника инженер

Нормативный период обучения 5 лет и 6 м.

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023 г

Автор программы \_\_\_\_\_ / И.М. Винокурова /

Заведующий кафедрой Химии  
и химической технологии  
материалов \_\_\_\_\_ / О.Б. Рудаков /

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_ / В.С. Рачук /

Воронеж 2023 г

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

обеспечить высокую профессиональную подготовку инженеров-конструкторов в области теоретического и практического применения основных идей применения топлива и методов протекания процессов горения топлива, расчета регулирования процесса функционирования двигателя на этапах запуска, стабилизации, глубокого изменения режима и останова двигательных установок (ДУ) на основе построения и анализа рабочих процессов, связанных с топливом ЖРД.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

получение представлений о роли топлива в системе работы ЖРД; изучение основных понятий и законов процессов горения топлив; освоение состава топлива и соединений различного типа применяемых в качестве горючего и окислителя; формирование навыков описания работы топливных систем с помощью обменных и окислительно-восстановительных процессов протекающих в реактивных топливах; освоение законов термодинамики и кинетики для решения вопроса осуществления повышения удельной тяги в заданных условиях работы оборудования.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен проводить расчёты прочности, надежности и рабочих процессов в двигателях и энергетических установках летательных аппаратов

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать эксплуатационные свойства и порядок протекания процессов горения топлив, степень достоверности результатов экспериментальных исследований, основные нормативы стандартов производства и хранения топлива для ЖРД в промышленности.
	уметь определять энергетические и эксплуатационные свойства топлив, зависимости удельной тяги ЖРД от давления, теплоты сгорания и соотношения компонентов в топливе, степень чистоты, поверхностную активность, пределы вскипания и летучесть топлив.
	владеть описанием топливных систем с помощью

	обменных и окислительно - восстановительных процессов протекающих в реактивных топливах, методами решения задач при выборе компонентов жидкостных ракетных топлив.
--	--

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
<b>В том числе:</b>		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	108	108
зач.ед.	3	3

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий**

**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1.	Введение. Устройство топливных систем летательных аппаратов и условия применения в них топлив. Особенности процессов, протекающих в жидкостных авиационных двигателях.	Предмет и задачи курса. ТТРД, ЖРД, ЯРД. Устройство топливных систем летательных аппаратов и условия применения в них топлив. Особенности процессов, протекающих в жидкостных авиационных двигателях.	2	2	-	6	10
2.	Классификация жидких ракетных топлив и требования, предъявляемые к ним.	Классификация: окислитель, горючее, топливо. Требования (физико- химические, эксплуатационные, экономические) предъявляемые к топливам.	2	2	4	6	14

		Энергетические и кинетические характеристики. Физическая и химическая стабильность. Понятия топлива: однокомпонентные и двухкомпонентные. Марки и качество топлив.					
3.	Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства окислителей.	Состав и свойства окислителей на основе кислорода. Жидкий кислород. Озон. Перекись водорода.	2	2	4	6	14
4.	Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства горючих и однокомпонентных топлив.	Состав и свойства окислителей на основе азота. Азотнокислые окислители. Четырехокись азота. Тетранитрометан. Состав и свойства на основе фторных и хлорных окислителей. Жидкие фтор и монооксид фтора. Фториды галогенов. Фториды азота. Хлорная кислота и оксиды хлора. Новые и перспективные окислители: озон, хлор и его производные, хлорная кислота и др.	2	2	4	6	14
5.	Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства горючих и однокомпонентных топлив: $H_2$ , Me.	Классификация горючих. Состав и свойства водородных горючих. Жидкий водород. Шлугообразный, гелеобразный и твердый водород. Жидкий водород, энергетические и эксплуатационные свойства жидкого водорода. Примеры использования. Металлы как горючие.	2	2	4	6	14
6.	Углеводородные горючие - производные нефти, синтетические углеводороды.	Энергетические и эксплуатационные свойства углеводородных горючих. Состав и свойства азотуглеводородных	2	2	2	6	12

		<p>горючих: гидразинные и аминные. Физико-химические, энергетические и эксплуатационные свойства. Амины.</p> <p>Использование аминов в ракетных двигателях.</p> <p>Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства однокомпонентных (унитарных) топлив.</p> <p>Мономолекулярные топлива. Смесевые однокомпонентные ракетные топлива.</p>					
7.	<p>Производство реактивных топлив. Хранение, транспортирование, перекачивание и нейтрализация топлив.</p>	<p>Хранение, транспортирование, перекачивание и нейтрализация окислителей и горючих.</p> <p>Получение топлив прямой перегонкой нефти. Получение топлив деструктивными процессами. Введение присадок. Марки и качество реактивных топлив.</p>	2	2	-	6	10
8.	<p>Технические и эксплуатационные требования к топливам различных двигательных установок.</p>	<p>Энергетические требования. Требования к топливам как охладителям элементов конструкции ракетных двигателей.</p> <p>Прокачиваемость.</p> <p>Испаряемость.</p> <p>Воспламеняемость.</p> <p>Горючесть. Склонность к образованию отложений.</p> <p>Совместимость с конструкционными материалами. Противозносные свойства.</p> <p>Охлаждающие свойства.</p> <p>Токсичность. Требования спецификаций к качеству топлив. Фактическое качество топлив и их взаимозаменяемость</p>	2	4	-	6	12
9.	<p>Твёрдые топлива.</p>	<p>Классификация твёрдых</p>	2	-	-	6	8

		топлив и их основные свойства. Сравнительная характеристика жидких и твёрдых ракетных топлив.					
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>108</b>

## 5.2. Перечень лабораторных работ

**Лаб. раб. 1.** Некоторые физические свойства нефтепродуктов и топлива.

Определение плотности топлива. Определение вязкости нефти и нефтепродуктов. Определение температуры помутнения и температуры кристал-лизации топлива.

**Лаб. раб. 2.** Химические свойства нефтепродуктов и топлива. Самовозгорание веществ. Качественное определение углерода и водорода в нефтепродуктах. Определение содержания ароматических углеводородов в топливах методом анилиновых точек. Определение содержания непредельных углеводородов с помощью йодного числа и бромной воды.

**Лаб. раб. 3.** Изучение энергетических характеристик самолетных и автомобильных топлив. Определение тепловой постоянной калориметрической бомбы. Определение теплоты сгорания исследуемого вещества. Определение теплоты сгорания вспомогательных материалов.

**Лаб. раб. 4.** Определение температуры самовоспламенения, вспышки и температуры воспламенения жидкости. Экспериментальное определение температуры самовоспламенения жидкостей. Метод экспериментального определения температуры вспышки жидкостей в закрытом тигле. Метод экспериментального определения температуры вспышки и температуры воспламенения жидкостей в приборе открытого типа.

**Лаб. раб. 5.** Коррозионные свойства топлива и защита от коррозии. Коррозия меди при контакте с йодом. Коррозия, возникающая при контакте двух различных металлов. Коррозия в результате различного доступа кислорода. Влияние рН на скорость коррозионного разрушения магниевого сплава. Активируйте действие ионов хлора. Роль оксидной пленки в ослаблении коррозии. Действие ингибитора на коррозию железа. Защитные свойства металлических покрытий. Электрозащита. Протекторная защита.

## 5.2 Перечень практических работ

1. Теоретические основы определения стехиометрических соотношений компонентов топлива.

Решение задач на тему: «Сравнительные характеристики топлива. Материальный и тепловой баланс процесса горения».

2. Основы термодинамического процесса сгорания и истечения продуктов сгорания. Кинетика реакций. Решение задач по теме: «Расчёты тепловых эффектов процессов. Энтропия и методы её расчёта. Термодинамические потенциалы и направленность химических процессов».

3. Решение задач по теме: «Зависимость скорости химических процессов от концентрации и температуры. Химическое равновесие».

4. Определение стехиометрического соотношения компонентов

различных топлив. Решение задач по теме: «Определение плотности топлива. Диффузия и массообмен.»

5. Решение задач по теме: «Различные способы выражения концентрации растворов. Температуры кипения и кристаллизации разбавленных растворов».

6. Кинетика горения газовых смесей. Решение задач по теме: «Адиабатное тепловое самовоспламенение. Тепловое воспламенение при наличии теплоотвода. Цепные реакции»

7. Решение задач по теме: «Горение углерода».

8. Прогрев частиц топлива и динамика термического разложения. Решение задач по теме: «Прогрев частиц. Выход летучих. Определение работоспособности продуктов сгорания топлива»

9. Защита оборудования от коррозионных процессов оборудования. Решение задач по теме: «Химическая и электрохимическая коррозия металлов, и защита от коррозии».

## **6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) и контрольных работ.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### **7.1.1 Этап текущего контроля**

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Аттестован</b>	<b>Не аттестован</b>
ПК-1	знать эксплуатационные свойства и порядок протекания процессов горения топлив, степень достоверности результатов экспериментальных исследований, основные нормативы	Активная работа на лабораторных занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	стандартов производства и хранения топлива для ЖРД в промышленности.			
	уметь определять энергетические и эксплуатационные свойства топлив, зависимости удельной тяги ЖРД от давления, теплоты сгорания и соотношения компонентов в топливе, степень чистоты, поверхностную активность, пределы вскипания и летучесть топлив.	Решение стандартных практических задач, написание и выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть описанием топливных систем с помощью обменных и окислительно - восстановительных процессов протекающих в реактивных топливах, методами решения задач при выборе компонентов жидкостных ракетных топлив.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана по лабораторным работам курса	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	знать эксплуатационные свойства и порядок протекания процессов горения топлив, степень достоверности результатов экспериментальных исследований, основные нормативы стандартов производства и хранения топлива	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%

	для ЖРД в промышленности.			
	уметь определять энергетические и эксплуатационные свойства топлив, зависимости удельной тяги ЖРД от давления, теплоты сгорания и соотношения компонентов в топливе, степень чистоты, поверхностную активность, пределы вскипания и летучесть топлив.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть описанием топливных систем с помощью обменных и окислительно-восстановительных процессов протекающих в реактивных топливах, методами решения задач при выборе компонентов жидкостных ракетных топлив.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции  $5O_{2(g)} + 4NH_{3(g)} = 6H_2O_{(g)} + 4NO_{(g)}$ , приведены ниже:

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)
$NH_{3(g)}$	-46,19	192,5	$H_2O_{(g)}$	-241,83	188,72
$O_{2(g)}$	0	205,03	$NO_{(g)}$	-90,37	210,2

Используя данные таблицы, определите  $\Delta I$ ,  $\Delta S$  и  $\Delta G$ , возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

1. Возможна

2. Невозможна

2. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции горения ацетилена  $C_2H_{2(g)} + 5/2O_{2(g)} = 2CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$  приведены ниже:

	$\Delta G_{298}^0$ ,	$S_{298}^0$ ,
--	----------------------	---------------

Вещество, состояние	кДж/моль	Дж/(моль·К)
$C_2H_2(g)$	209,2	200,82
$O_2(g)$	0	205,03
$CO_2(g)$	-394,38	213,65
$H_2O(g)$	237,19	69,94

Используя данные таблицы, определите  $\Delta G_{\text{с.д.}}^0$ ,  $\Delta I_{\text{с.д.}}^0$ . возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

1. Возможна	2. Невозможна
-------------	---------------

3. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции  $4H_2(g) + CO_2(g) = 2H_2O(g) + 2CH_4(g)$  приведены ниже:

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К
$H_2(g)$	0	130,5	$CH_4(g)$	-74,85	186,19
$CO_2(g)$	-393,51	213,6	$H_2O(g)$	-285,84	69,94

Используя данные таблицы, определить  $\Delta G_{298}^0$ , а также возможность (невозможность) прямой реакции при стандартных условиях. Ответ обоснуйте соответствующими расчетами.

1. Прямая реакция возможна	2. Прямая реакция невозможна
3. Система находится в состоянии равновесия	

4. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакциях  $2CH_4(g) = C_2H_2(g) + 3H_2(g)$ ,  $N_2(g) + 3H_2(g) = 2NH_3(g)$ , приведены ниже:

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К
$H_2(g)$	0	130,5	$N_2(g)$	0	191,5
$CH_4(g)$	-74,85	186,19	$C(\text{графит})$	0	5,74
$2NH_3(g)$	-46,19	192,5	$O_2(g)$	0	205,03
$C_2H_2(g)$	226,75	200,8	$CO_2(g)$	-393,51	213,6

Используя данные таблицы, определите температуру, при которой термодинамическая система (реакции 1 и 2) находится в равновесии.

1434, 233	1564, 345	1642, 454
-----------	-----------	-----------

5. Раствор сахара  $C_{12}H_{22}O_{11}$  при 0 °С оказывает осмотическое давление  $7,1 \cdot 10^5$  Па. Какова масса сахара, содержащегося в 250 мл такого раствора?

25,4	27,8	31,5	38,4	42,0
------	------	------	------	------

6. Вычислите давление пара раствора анилина  $C_6H_5NH_2$  в эфире  $(C_2H_5)_2O$  при 20 °С, если в 370 г эфира содержится 9,3 г анилина. Давление пара чистого эфира при этой температуре 548,9 кПа.

451,2	484,5	518,6	538,1	543,5
-------	-------	-------	-------	-------

7. Разность давлений паров над раствором, содержащим 5,4 г вещества в 180 г воды при 80 °С и над чистым растворителем при той же температуре равна 144 Па. Определите молярную массу растворенного вещества, если давление насыщенного пара над чистой водой при этой

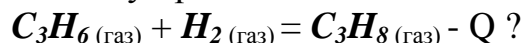
температуре равно 43,36 кПа.

120	154	163	170	186
-----	-----	-----	-----	-----

8. Сколько граммов этилового спирта  $C_2H_5OH$  должен содержать 1 л раствора, чтобы его осмотическое давление было таким же, как и раствора, содержащего в 1 л при той же температуре 4,5 г формальдегида  $CH_2O$ .

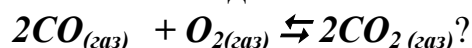
5,8	6,9	7,2	8,1	8,6
-----	-----	-----	-----	-----

9. К чему приведет повышение температуры в системе:



к уменьшению концентрации $C_3H_6$	к увеличению концентрации $C_3H_8$	к уменьшению концентрации $C_3H_8$	к увеличению концентрации $C_3H_6$	к уменьшению концентрации $H_2$
------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------

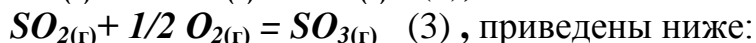
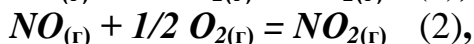
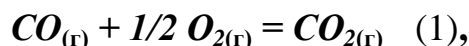
10. К чему приведет понижение давления в системе:



к увеличению концентрации $CO_2$	концентрация $CO_2$ останется без изменения	к увеличению концентрации $O_2$	концентрация $O_2$ останется без изменений	к уменьшению концентрации $O_2$
----------------------------------	---	---------------------------------	--	---------------------------------

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции



Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К	Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К
$CO_{(г)}$	-110,5	197,5	$SO_{2(г)}$	-296,9	248,1
$CO_{2(г)}$	-393,5	213,7	$O_{2(г)}$	0	205
$NO_{(г)}$	90,3	210,6	$SO_{3(г)}$	-395,8	256,7
$NO_{2(г)}$	33,5	240			

Используя данные таблицы, определите возможность (или невозможность) самопроизвольного протекания реакции при стандартных условиях.

1. Возможна первая реакция	2. Возможна вторая реакция
3. Возможна третья реакция	4. Все реакции возможны

2. Используя данные таблицы, определите температуру, при которой термодинамическая система  $CO_{(г)} + 1/2 O_{2(г)} = CO_{2(г)}$  находится в равновесии.

1. 1769 К.	2. 830 К.	3. 3300 К
------------	-----------	-----------

3. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции

$Fe_2O_3(крист) + 3H_2(газ) = 2Fe(крист) + 3H_2O$  приведены ниже:

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К
$Fe(к)$	0	0	27,3
$H_2(г)$	0	-137,0	130,5
$Fe_2O_3(крист)$	-821,32	-740,99	89,96
$H_2O(г)$	-241,8	-228,8	188,9

По изменению реакции определить  $\Delta G_{298}^0$  и направление данной реакции при стандартных условиях и температуре 727 К.

1. Идет прямая реакция	2. Идет обратная реакция
3. Система находится в состоянии равновесия	

4. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции горения  $C_2H_4(г) + 3O_2(г) = 2CO_2(г) + 2H_2O(г)$ , приведены ниже:

Вещество, состояние	$\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)
$C_2H_4(г)$	68,12	219,4
$O_2(г)$	0	205,03
$CO_2(г)$	-394,38	213,65
$H_2O(г)$	-237,19	69,94

Используя данные таблицы, определите  $\Delta G_{a.d.}^0$ ,  $\Delta I_{a.d.}^0$ . возможна ли эта реакция при стандартных условиях?

1. Возможна	2. Невозможна
-------------	---------------

5. Определите давление пара водного раствора глюкозы при 25 °С, если в 400 г воды содержится 100 г глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ . Давление пара воды при данной температуре 3,17 кПа.

2,08	3,09	4,01	4,05	4,07
------	------	------	------	------

6. Сколько граммов этилового спирта  $C_2H_5OH$  надо растворить в 500 мл воды, чтобы осмотическое давление этого раствора при 20 °С составляет  $4,052 \cdot 10^5$  Па?

9,1	9,2	9,3	9,4	9,5
-----	-----	-----	-----	-----

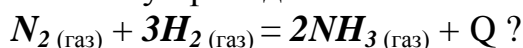
7. Раствор, содержащий 4,8 г глицерина  $C_3H_8O_3$  в 71 г ацетона, кипит при 56,73 °С. Определите эбуллиоскопическую константу ацетона, если температура кипения ацетона 50 °С.

8,94	9,16	9,28	9,31	9,94
------	------	------	------	------

8. Чему равно осмотическое давление 0,5 М раствора глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  при 25 °С?

968,5	1238,2	1471,4	1562,8	1634,3
-------	--------	--------	--------	--------

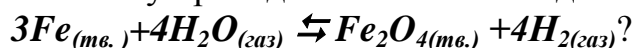
9. К чему приведет повышение температуры в системе:



к уменьшению	к увеличению концентрации $NH_3$	к уменьшению концентрации	к увеличению концентрац	к уменьшению концентрации $H_2$
--------------	----------------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------------

концентрация $N_2$		$NH_3$	или $N_2$	
--------------------	--	--------	-----------	--

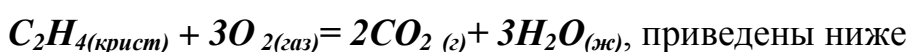
10. К чему приведет понижение давления в системе:



к увеличению концентрации и $H_2$	к уменьшению концентрации и $H_2$	к увеличению концентрации и паров $H_2O$	концентрация паров воды останется без изменений	равновесие системы не нарушится
-----------------------------------	-----------------------------------	--	---	---------------------------------

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции



Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)
$C_2H_{4(крист)}$	52,28	219,5
$O_{2(газ)}$	0	205,03
$CO_2$	-393,5	213,65
$H_2O_{(ж)}$	-285,84	69,94

По данным таблицы определить  $\Delta G_{298}^0$ , а также возможность (невозможность) прямой реакции при стандартных условиях. Ответ обоснуйте соответствующими расчетами.

1. Прямая реакция возможна	2. Прямая реакция невозможна
3. Система находится в состоянии равновесия	

2. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции



Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/(моль·К)
$CO_{(газ)}$	-110,52	197,91
$TiO_{2(к)}$	-943,9	50,3
$C_{(к)}$	0	5,69
$Ti_{(к)}$	0	30,6

Возможна ли реакция восстановления  $TiO_2$  углеродом при температурах 1000 и 3000 К?

1. возможна, 2. невозможна при 1000 К.	1. возможна, 2. невозможна при 3000 К.
--	--

3. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции  $2Fe(OH)_{2(к)} + 1/2O_{2(г)} + H_2O_{(ж)} = 2Fe(OH)_{3(к)}$ , приведены ниже:

Вещество, состояние	$\Delta H_{298}^0$ , кДж/моль	$\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К
$Fe(OH)_{2(к)}$	-562,2	-480,1	88
$Fe(OH)_{3(к)}$	-827,2	-700,1	105
$O_{2(г)}$	0	0	205
$H_2O_{(ж)}$	-286,0	-237,3	70,2

Произведя соответствующие вычисления, определите, направление данной реакции при стандартных условиях и температуре 600 К.

1. Идет прямая реакция	2. Идет обратная реакция
3. Система находится в равновесии.	

4. Термодинамические характеристики веществ, участвующих в реакции  $FeO_{(к)} + C_{(графит)} = Fe_{(к)} + CO_{(г)}$  (1),  $N_{2(г)} + O_{2(г)} = 2NO_{(г)}$  (2), приведены ниже:

Вещество, состояние	$\Delta I_{298}^0$ , кДж/моль	$\Delta G_{298}^0$ , кДж/моль	$S_{298}^0$ , Дж/моль·К
$FeO_{(к)}$	-263,68	-244,35	58,79
$C_{(графит)}$	0	0	5,74
$Fe_{(к)}$	0	0	27,3
$CO_{(г)}$	-110,5	-137,27	197,4
$N_{2(г)}$	0	0	191,5
$O_2$	0	0	205,03
$NO_{(г)}$	90,37	86,69	210,62

Используя данные таблицы, определите, устойчив ли при стандартных условиях оксид  $FeO$ .

1. устойчив	2. неустойчив
-------------	---------------

5. Вычислите температуру кипения раствора, содержащего 2 г нафталина  $C_{10}H_8$  в 20 г эфира, если температура кипения эфира 35,5 °С, а его эбуллиоскопическая константа 2,16.

37,3	48,5	51,4	56,2	58,1
------	------	------	------	------

6. Осмотическое давление раствора, объём которого 3 л, при 10 °С равно  $1,2 \cdot 10^5$  Па. Какова молярность этого раствора?

0,15	0,18	20	0,23	0,25
------	------	----	------	------

7. При какой температуре осмотическое давление раствора, содержащего 18,6 г анилина  $C_6H_5NH_2$  в 3 л раствора, достигнет  $2,84 \cdot 10^5$  Па?

496,8 К	512,6 К	528,3 К	534,6 К	548,5 К
---------	---------	---------	---------	---------

8. 5 г вещества растворены в 200 г спирта. Раствор кипит при 79,2 °С. Определите молекулярную массу вещества, если эбуллиоскопическая константа спирта 1,22. Температура кипения спирта 78,3 °С.

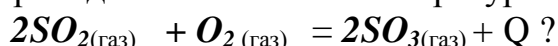
28	34	36	42	56
----	----	----	----	----

9. К чему приведет повышение температуры в системе:



к повышению концентрации $CO_2$	к повышению концентрации $CO$	к смещению равновесия влево	к повышению концентрации $H_2$	к понижению концентрации $CO$
---------------------------------	-------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	-------------------------------

10. К чему приведет повышение температуры в системе:



к уменьшению концентрации $SO_2$	к увеличению концентрации $SO_3$	к уменьшению концентрации $SO_3$	к увеличению концентрации $SO_2$	к уменьшению концентрации $O_2$
----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	---------------------------------

## 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

**Введение. Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях.** Предмет и задачи курса. ТТРД, ЖРД, ЯРД. Устройство топливных систем летательных аппаратов и условия применения в них топлив. Особенности процессов, протекающих в жидкостных авиационных двигателях. Основные принципы устройства авиационных и ракетных двигателей.

**Классификация жидких ракетных топлив и требования, предъявляемые к ним.** Классификация: окислитель, горючее, топливо. Требования (физико-химические, эксплуатационные, экономические) предъявляемые к топливам. Энергетические и кинетические характеристики. Физическая и химическая стабильность. Понятия топлива: однокомпонентные и двухкомпонентные. Марки и качество топлив.

**Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства окислителей.** Состав и свойства окислителей на основе кислорода. Жидкий кислород. Озон. Перекись водорода. Состав и свойства окислителей на основе азота. Азотнокислые окислители. Четырехокись азота. Тетранитрометан. Состав и свойства на основе фторных и хлорных окислителей. Жидкие фтор и монооксид фтора. Фториды галогенов. Фториды азота. Хлорная кислота и оксиды хлора. Новые и перспективные окислители: озон, хлор и его производные, хлорная кислота и др.

**Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства горючих и однокомпонентных топлив.** Классификация горючих. Состав и свойства водородных горючих. Жидкий водород. Шлугообразный, гелеобразный и твердый водород. Жидкий водород, энергетические и эксплуатационные свойства жидкого водорода. Примеры использования. Металлы как горючие. Углеводородные горючие - производные нефти, синтетические углеводороды. Энергетические и эксплуатационные свойства углеводородных горючих.

Состав и свойства азотоуглеводородных горючих: гидразинные и аминные. Физико-химические, энергетические и эксплуатационные свойства. Амины. Использование аминов в ракетных двигателях.

Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства однокомпонентных (унитарных) топлив. Мономолекулярные топлива. Смесевые однокомпонентные ракетные топлива.

**Производство реактивных топлив. Хранение, транспортирование, перекачивание и нейтрализация топлив.** Хранение, транспортирование, перекачивание и нейтрализация окислителей и горючих. Получение топлив прямой перегонкой нефти.

Получение топлив деструктивными процессами. Введение присадок. Марки и качество реактивных топлив.

**Технические и эксплуатационные требования к топливам различных двигательных установок.** Энергетические требования. Требования к топливам как охладителям элементов конструкции ракетных двигателей. Прокачиваемость. Испаряемость. Воспламеняемость. Горючесть. Склонность к образованию отложений. Совместимость с конструкционными материалами. Противознозные свойства. Охлаждающие свойства. Токсичность.

Требования спецификаций к качеству топлив. Фактическое качество топлив и их взаимозаменяемость.

**Твёрдые топлива.** Классификация твёрдых топлив и их основные свойства. Сравнительная характеристика жидких и твёрдых ракетных топлив.

#### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Экзамен не предусмотрен учебным планом

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация проводится во втором семестре очной обучения в форме **зачета**.

##### **Критерии оценки заданий:**

*Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.*

1. «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 10 баллов.

2. «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 10 до 20 баллов.

##### **Методика проведения:**

в аудитории для практических занятий, в письменной форме, групповой способ, в течение 45 минут, с использованием справочной литературы и без использования средств коммуникации, результат - на следующем занятии.

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1.	Введение. Устройство топливных систем летательных аппаратов и условия применения в них топлив. Особенности процессов,	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.

	протекающих в жидкостных авиационных двигателях.		
2.	Классификация жидких ракетных топлив и требования, предъявляемые к ним.	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.
3.	Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства окислителей.	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.
4.	Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства горючих и однокомпонентных топлив.	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.
5.	Состав, физико-химические и эксплуатационные свойства горючих и однокомпонентных топлив: H <sub>2</sub> , Me.	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.
6.	Углеводородные горючие - производные нефти, синтетические углеводороды.	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.
7.	Производство реактивных топлив. Хранение, транспортирование, перекачивание и нейтрализация топлив.	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.
8.	Технические и эксплуатационные требования к топливам различных двигательных установок.	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.
9.	Твёрдые топлива	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата.

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи

компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.; МГТУ им.Баумана, 2006. - 488 с.

2. Алемасов В.Е. , Дрегалин А. Ф., Черенков А. С. Основы теории физико-химических процессов в тепловых двигателях и энергетических установках: учеб. пос. М. : Химия, 2000. – 520 с.

3. Винокурова И. М. Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях: курс лекций: Част 1. учеб. пос. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. Ч.1. 235 с.

4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкостей и газа: учеб. пос. М.; Дрофа, 2003. - 840 с.

5. Винокурова И. М. Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях”: сборник задач и упражнений: учеб. пособие Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. Ч. I. 241 с.

6. Винокурова И. М. Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях: сборник практических задач и упражнений: учеб. пособие Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронеж-ский государственный технический университет», 2014.– 1 электрон. опт. диск (CD-ROM)

7. Винокурова И. М. Методические указания для выполнения самостоятельной работы и контрольных заданий по дисциплине «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» для студентов специальности 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения **№ 36-2014** ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет». 2014. 48 с.

8. Винокурова И.М. Методические указания для выполнения лабораторных работ № 1-3 по дисциплине «Топливо и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» для студентов специальности 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения **№ 37-2014** ФГБОУ ВПО «Воронежский государ-ственный технический университет» Воронеж, 2014. 32 с.

9. Винокурова И.М. Методические указания для выполнения лабораторных работ № 4-5 по дисциплине «Топливо и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» для студентов специальности

160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения № 81-2014 ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет» Воронеж, 2014. 51 с.

10. Винокурова И. М. Свойства основных конструкционных металлов: учеб. пос. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронеж. госуд. технич. ун-т», 2012. 252 с.

11. Организация самостоятельной работы обучающихся: методические указания для студентов, осваивающих основные образовательные программы высшего образования – бакалавриата, специалитета, магистратуры: методические указания / сост. В.Н. Почечихина, И.Н. Крючкова, Е.И. Головина, В.Р. Демидов; ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж, 2020. – 14 с. – Файл: [ОСР.PDF](#). – Режим доступа: <http://bibl.cchgeu.ru/MarcWeb2/Found.asp>.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Microsoft Word,

Microsoft Excel,

Internet Explorer Методические указания к выполнению лабораторных работ представлены на сайте: <http://vorstu.ru/kafedrry/ftf/kaf/frp/uchpl/>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы № 303/1; 6424 (строительный блок).

Специализированное помещение для проведения лекционных занятий, оснащенное доской, учебными столами, стульями и оборудованием для демонстрации наглядного материала:

1. Таблицы: «Средней удельной теплоемкости воздуха и газов в зависимости от температуры», «Растворимости», «Физические характеристики воздуха и дымовых газов среднего состава», «Коэффициенты взаимной диффузии при нормальных условиях», «Ряд напряжений металлов».

2. Аппарат Киппа

3. Весы технические

4. Весы аналитические АДВ - 200

5. Штативы, мерная посуда (мерные колбы, бюретки, пипетки и т. п.), реактивы

6. Установка для измерения изменения температуры с точностью 0,01<sup>0</sup>

7. Насос Комовского и установка для измерения давления насыщенного пара при разных температурах
8. Печь муфельная
9. Холодильник ОРСК
10. Печь муфельная
11. Потенциометр Р-363-2
12. Компьютер в комплекте: ASUS P7H55-M-7шт.
13. Сушильный и вытяжные шкафы
14. Специализированные лаборатории 303/1, 303/1
15. Лекционная лаборатория 303/1

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Топлива и рабочие процессы в авиационных и ракетных двигателях» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета норм выработки и технологических нормативов на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется при выполнении и защите лабораторных работ.

Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным

	вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП