


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских  
«30» августа 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины**

«Пневмогидравлические схемы энергетических установок»

**Специальность** 24.05.02 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВИАЦИОННЫХ И РА-  
КЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Специализация** №3 Проектирование жидкостных ракетных двигателей

**Квалификация выпускника** инженер

**Нормативный период обучения** 5 лет и 6 м.

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2017

Автор программы



/ А.Ф. Ефимочкин /

Заведующий кафедрой Ра-  
кетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2017

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины** – дать студентам знания в области проектирования ПГС ЭУ в объеме, необходимом для работы в конструкторском бюро при создании новых изделий ракетно-космической техники.

**1.2. Задачи освоения дисциплины** принципа работы ЭУ и его агрегатов; классификации принципиальных ПГС ЭУ; этапы проектирования ПГС; критерии оптимизации ПГС; методы расчета параметров ПГС; особенности работы элементов ПГС ЭУ на переходных режимах; типовые ПГС ранее созданных ЭУ в России и за рубежом; направления развития и совершенствования ПГС ЭУ.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Пневмогидравлические схемы энергетических установок» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплины по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Пневмогидравлические схемы энергетических установок» направлен на формирование следующих компетенций:

ПСК-3.1 - способность рассчитывать и проектировать узлы и агрегаты системы подачи компонентов топлива в камеру сгорания жидкостных реактивных двигателей (ЖРД);

ПСК-3.2 - способность выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов;

ПСК-3.5- способность разрабатывать конструкторские и организационные мероприятия по минимизации воздействия жидкостных ракетных двигателей на биосферу земли в процессе всего жизненного цикла;

ПСК-3.6- способность проводить научное обоснование срока эксплуатации изделий с жидкостными ракетными двигателями

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПСК-3.1	<b>Знать</b> теорию и расчетные методики по проектированию ЭУ; основные виды жидких ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЭУ; виды ЭУ и их назначение в составе летательного аппарата; основы автоматического управления и принципы регулирования ЭУ; методы проектирования технологических процессов производства ракетных двигателей; методы испытаний и отработки ЭУ
	<b>Уметь</b> формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЭУ, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЭУ на летательных

	<p>аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЭУ и их систем</p> <p><b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки конкретных ПГС ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигателей; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.</p>
ПСК-3.2	<p><b>Знать</b> основные эксплуатационно-технические параметры, показатели надежности, эффективности эксплуатации ЭУ; условия работы, особенности функционирования агрегатов и действия нагрузок на элементы и детали ЭУ в процессе эксплуатации.</p> <p><b>Уметь</b> выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЭУ, их узлов и элементов</p> <p><b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих ЭУ; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.</p>
ПСК-3.5	<p><b>Знать</b> методы и типовые методики расчета общедвигательных параметров; принципиальные схемы подсистем предстартовых и послепусковых продувок магистралей и полостей ЭУ; систем предпускового захлаживания криогенных частей ЭУ; подсистем запуска и начального поджига компонентов топлива; типовые решения по системе подачи топлива; принципы работы системы регулирования тяги и соотношения компонентов топлива; концептуальные подходы к построению системы диагностики и аварийной защиты; концептуальные подходы к построению системы межполетного технического обслуживания ЭУ при их многократном использовании; особенности противопожарных мероприятий; принципы обеспечения управляющих усилий по каналам тангажа, курса и крена; принципы создания подсистем повышенной живучести; требования,</p>

	нормы и правила, изложенные в типовых нормативно-технических документах.
	<b>Уметь</b> выполнять проектирование основных ПГС ЭУ
	<b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки конкретных ПГС ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигателя; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.
ПСК-3.6	<b>Знать</b> способы и методики задания требований к агрегатам ЭУ при проектировании; методы и типовые методики расчета параметров ЭУ.
	<b>Уметь</b> формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЭУ, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЭУ на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЭУ и их систем.
	<b>Владеть</b> способностью проводить научное обоснование срока эксплуатации изделий с ЭУ

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Пневмогидравлические схемы энергетических установок» составляет 3 з.е.

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

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		А (10)
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>54</b>	<b>54</b>
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	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	Особенности проектирования принципиальных схем ЭУ	Общие сведения о ЭУ. Основные функции ЭУ в системе ракетного аппарата. Техническое задание на разработку двигателя. Условия работы. Компоненты топлива. Условия транспортирования и хранения. Внешние нагрузки. Требования по надежности, ресурсу и безопасности. Сроки и стоимость создания двигателя. Классификация схем ЭУ. Этапы проектирования. Мировой опыт проектирования ПГС ЭУ. Критерии оптимизации ПГС. Баллистические эквиваленты. Энерго-массовые показатели. Выбор вариантов ПГС для сравнительного анализа. Предварительный расчет ПГС. Выбор оптимального варианта ПГС. Заключительный этап проектирования ПГС.	2	2	-	6	12
2	Методика предварительного расчета принципиальной схемы ЭУ	Расчет ПГС для номинального режима работы двигателя. Система уравнений. Методы решения.	2	2	8	8	14
3	Методика расчета принципиальной схемы для крайних условий эксплуатации ЭУ	Подготовка дополнительных исходных данных. Характеристики агрегатов. Методика расчета параметров ПГС на режимах форсирования и дросселирования двигателя по тяге. Методика расчета параметров ПГС на режимах форсирования и дросселирования двигателя по соотношению компонентов топлива. Подготовка данных для расчета кавитационных запасов насосов. Подготовка данных для расчета охлаждения камеры сгорания. Подготовка данных для расчета агрегатов ЭУ на прочность.	2	2	8	8	14
4	Методика расчета коэффициентов влияния факторов на параметры ЭУ	Внешние и внутренние факторы. Система.	2	2	2	8	14
5	Методика расчета изменения параметров ПГС на переходных режимах	Система нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений. Методы решения.	4	4	-	10	22
6	Требования, задаваемые к агрегатам ЭУ	Состав и содержание технического задания на проектирование агрегатов, комплектующих ЭУ.	4	4	-	8	20
7	Перспектива совершенствования схем ЭУ	Приоритеты новых разработок в области ЭУ. Трехтопливные ЭУ. Гибридные двигатели. Комбинированные воздушно-ракетные и другие двигатели.	2	2	-	6	12
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>54</b>	<b>108</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

№1,2. Предварительный расчет принципиальной схемы ЭУ.

№3. Расчет принципиальной схемы для крайних условий эксплуатации ЭУ.

№4. Расчет параметров ЭУ

№5. Расчет параметров ЭУ и форсирования на режимах форсирования и дросселирования.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 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».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПСК-3.1	<b>Знать</b> теорию и расчетные методики по проектированию ЭУ; основные виды жидких ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЭУ; виды ЭУ и их назначение в составе летательного аппарата; основы автоматического управления и принципы регулирования ЭУ; методы проектирования технологических процессов производства ракетных двигателей; методы испытаний и отработки ЭУ	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>Уметь</b> формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЭУ, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЭУ на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЭУ и их систем	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки конкретных ПГС ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих ЭУ; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПСК-3.2	<b>Знать</b> основные эксплуатационно-технические параметры, показатели надежности, эффективности эксплуатации ЭУ; условия работы, особенности функционирования агрегатов и действия нагрузок на элементы и детали ЭУ в процессе эксплуатации.	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>Уметь</b> выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЭУ, их узлов и элементов	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигателя; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПСК-3.5	<b>Знать</b> методы и типовые методики расчета параметров ЭУ; принципиальные схемы подсистем предстартовых и послепусковых продувок магистралей и полостей ЭУ; систем предпускового захлаживания криогенных частей ЭУ; подсистем запуска и начального поджига компонентов топлива; типовые решения по системе подачи топлива; принципы	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<p>работы системы регулирования тяги и соотношения компонентов топлива; концептуальные подходы к построению системы диагностики и аварийной защиты; концептуальные подходы к построению системы межполетного технического обслуживания ЭУ при их многократном использовании; особенности противопожарных мероприятий; принципы обеспечения управляющих усилий по каналам тангажа, курса и крена; принципы создания подсистем повышенной живучести; требования, нормы и правила, изложенные в типовых нормативно-технических документах.</p>			
	<p><b>Уметь</b> выполнять проектирование основных ПГС ЭУ</p>	<p>Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
	<p><b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки конкретных ПГС ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигатели; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.</p>	<p>Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
ПСК-3.6	<p><b>Знать</b> способы и методики задания требований к агрегатам ЭУ при проектировании; методы и типовые методики расчета параметров ЭУ.</p>	<p>Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
	<p><b>Уметь</b> формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЭУ, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяс-</p>	<p>Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения зада-</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>



нять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЭУ на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЭУ и их систем.	ний практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)		
<b>Владеть</b> способностью проводить научное обоснование срока эксплуатации изделий с ЭУ	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	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 семестре  
А для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПСК-3.1	<b>Знать</b> теорию и расчетные методики по проектированию ЭУ; основные виды жидких ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЭУ; виды ЭУ и их назначение в составе летательного аппарата; основы автоматического управления и принципы регулирования ЭУ; методы проектирования технологических процессов производства ракетных двигателей; методы испытаний и отработки ЭУ	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>Уметь</b> формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЭУ, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЭУ на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЭУ и их систем	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки конкретных ПГС ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигателей; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гид-	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	равлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.			
ПСК-3.2	<b>Знать</b> основные эксплуатационно-технические параметры, показатели надежности, эффективности эксплуатации ЭУ; условия работы, особенности функционирования агрегатов и действия нагрузок на элементы и детали ЭУ в процессе эксплуатации.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>Уметь</b> выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЭУ, их узлов и элементов	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть</b> методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих ЭУ; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПСК-3.5	<b>Знать</b> методы и типовые методики расчета параметров ЭУ; принципиальные схемы подсистем предстартовых и послепусковых продувок магистралей и полостей ЭУ; систем предпускового захлаживания криогенных частей ЭУ; подсистем запуска и начального поджига компонентов топлива; типовые решения по системе подачи топлива; принципы работы системы регулирования тяги и соотношения компонентов топлива; концептуальные подходы к построению системы диагностики и аварийной защиты; концептуальные подходы к построению системы межполетного технического обслуживания ЭУ при их многократном использовании; особенности противопожарных мероприятий; принципы обеспечения управляющих усилий по каналам тангажа, курса и крена; принципы создания подсистем повышенной живучести; требования, нормы и правила, изложенные в типовых нормативно-технических документах.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>Уметь</b> выполнять проектирование основных ПГС ЭУ	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть</b>	Решение при-	Продемонстрирова	Задачи не

	методами оптимизации основных параметров ЭУ; методами разработки конкретных ПГС ЭУ; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигатели; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЭУ; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик ЭУ.	кладных задач в конкретной предметной области	н верный ход решения в большинстве задач	решены
ПСК-3.6	<b>Знать</b> способы и методики задания требований к агрегатам ЭУ при проектировании; методы и типовые методики расчета параметров ЭУ.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>Уметь</b> формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЭУ, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЭУ на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЭУ и их систем.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть</b> способностью проводить научное обоснование срока эксплуатации изделий с ЭУ	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. Удельный расход топлива – это:

- а) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в минуту;
- б) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в час;
- в) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в секунду;
- г) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в день.

2. Отличительные особенности жидкостных ракетных двигателей:

- а) автономность;
- б) независимость тяги от скорости движения аппарата;
- в) ограниченное время работы;
- г) все перечисленные варианты.

3. Основными факторами, влияющими на величину тяги ракетного двигателя, являются:

- а) массовый расход топлива;
- б) скорость истечения рабочего тела из сопла;
- в) все перечисленные варианты.

4. Конкретное распределение давления по наружной поверхности камеры зависит:
- а) от компоновки двигателя на ЛА;
  - б) формы кормовой части аппарата;
  - в) скорости и высоты полёта;
  - г) скорости и высоты полёта;
  - д) угла тангажа (атаки);
  - е) траектории полёта;
  - ж) все перечисленные варианты;
  - з) нет правильного ответа.
5. Удельный импульс тяги камеры представляет собой:
- а) отношение тяги, развиваемой камерой, к массовому расходу рабочего тела или топлива через камеру;
  - б) отношение массового расхода рабочего тела к тяге, развиваемой камерой.
6. Основными массовыми характеристиками летательного аппарата (ракеты) являются:
- а) массовое число;
  - б) число Циолковского;
  - в) относительная масса топлива, запасённого на аппарате;
  - г) коэффициент конструктивного совершенства аппарата.
7. Термодинамическими характеристиками являются:
- а) химический состав рабочего тела, его термодинамические и теплофизические свойства;
  - б) удельные параметры камеры;
  - в) параметры потока: температура, давление, скорость;
  - г) все перечисленные варианты.
8. Рабочее тело, состоящее только из газов, называют:
- а) гомогенным;
  - б) гетерогенным.
9. Сопло - это часть камеры ракетного двигателя, где:
- а) происходит преобразование тепловой и потенциальной энергии продуктов сгорания в кинетическую энергию вытекающей из сопла струи газов;
  - б) происходит преобразование тепловой и кинетической энергии продуктов сгорания в потенциальную энергию вытекающей из сопла струи газов.
10. ПГС включает в себя следующие комплексные системы:
- а) топливная система;
  - б) система заправки;
  - в) система предварительного наддува;
  - г) система основного наддува;
  - д) система пневмоуправления агрегатами;
  - е) система регулирования кажущейся скорости;
  - ж) одновременного опорожнения баков;
  - з) все перечисленные варианты.

## **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. На сколько изменится высота подъема одноступенчатой метеорологической

ракеты при вертикальном взлете, если увеличить плотность топлива в 2 раза при сохранении всех остальных параметров ракеты и двигателя (сопротивлением воздуха пренебречь)?

2. На ракету установили модернизированный двигатель, который по сравнению с прежним имеет более высокий удельный импульс – на 40 м/с и большую массу – на 110 кг. Определить, на сколько кг можно увеличить (уменьшить) полезную нагрузку ракеты, если оставить ее летные характеристики неизменными. Исходные данные:  $M_H = 100000$  кг,  $M_K = 250000$  кг,  $I_y = 3000$  м/с.

3. Какую тягу в пустоте создаст камера при  $p_k = 100 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup>, имеющая геометрические размеры  $F_{кр} = 0,06$  м<sup>2</sup>,  $F_k = 6$ ,  $F_a = 40$ :

1. 0,6 МН;
2. 0,8 МН;
3. 1,1 МН;
4. 1,5 МН.

4. Определить потери удельного импульса, если при  $P_H = 10^5$  Па тяга составляла  $P_{H-0} = 300\,000$  Н, расход  $m = 100$  кг/с. Принять  $J_{пт} = 3450$  м/с,  $F_{a\,уд} = 24,5$  см<sup>2</sup> / (кг/с).

1. 4%;
2. 6%;
3. 8%;
4. 10%.

5. На коэффициент камеры  $\varphi_k$  оказывает влияние:

- 1 – потери, связанные с физической неполнотой сгорания топлива;
- 2 – потери через стенку камеры ДЛА на участке от докритического сечения до выходного сечения сопла;
- 3 – газодинамические потери, связанные с плохим качеством изготовления за-критической части сопла;
- 4 – процессы рекомбинации продуктов сгорания в сопловом аппарате;
- 5 – продолжающееся догорание.

6. Сколько единиц удельного импульса (в м/с) прибавится при подъеме двигателя с параметрами  $F_{кр} = 100$  см<sup>2</sup>,  $F_a/F_{кр} = 28,5$ ,  $c^* = 1750$  м/с и  $p_k = 150 \cdot 10^5$  Па с уровня моря на высоту с атмосферным давлением  $p_H = 0,4 \cdot 10^5$  Па.

1. 17;
2. 35;
3. 200;
4. 300.

7. Сколько единиц тяги (в кН) прибавится при подъеме двигателя с параметрами  $F_{кр} = 100$  см<sup>2</sup>,  $F_a/F_{кр} = 28,5$ ,  $c^* = 1750$  м/с и  $p_k = 150 \cdot 10^5$  Па с уровня моря на высоту с атмосферным давлением  $p_H = 0,4 \cdot 10^5$  Па.

1. 17;
2. 35;
3. 200;
4. 300.

8. Дана дроссельная характеристика ЖРД с дорасширительным сопловым насадком. Построить график, отражающий изменение тяги, создаваемый дорасширительным насадком, в зависимости от давления в камере сгорания. Считать, что сопло и дорасширительный насадок – конические с углом раскрытия более  $30^\circ$ .

9. Каковы основные причины неполноты удельного импульса на земле ( $\varphi_{уд\ н-о} < 1$ )?

1. Потери в камере сгорания из-за внешней среды;
2. Потери в сопле и потери из-за внешней среды;
3. Потери в камере сгорания и потери в сопле;
4. Только из-за внешней среды.

10. Величина числа  $M$  газового потока на входе в сопло идеального ДЛА определяются:

- 1 – длиной камеры сгорания;
- 2 – отношением диаметра камеры к диаметру критического сечения сопла;
- 3 – величиной расхода  $\dot{m}$ ;
- 4 – величиной давления на входе в сопло  $P_k^*$ ;
- 5 – величиной произведения  $RT_k^*$ .

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить диаметр соплового аппарата, необходимый для обеспечения раскрутки насосов О и Г до 5000об/мин. Газ для раскрутки гелий.

2. Спроектировать фрагмент ПГС, состоящий из всасывающей магистрали с демпфером на входе в насос для снижения собственной частоты магистрали. Определить:  $S_{ПР}$  - (535721,9 Н/м);  $F_{кр}$  - (0,0177 м<sup>2</sup>).

3. Спроектировать фрагмент ПГС от бака к насосу, с пусковым клапаном на входе в энергоустановку. Определить:  $\Delta t$  от открытия клапана (0,03 с); разницу массовых расходов  $\Delta m$  (327 м/с); давление гидроудара  $\Delta P$  ( $217 \times 10^6$  Па).

4. Определить потерю давления на трение в цилиндрической части охлаждаемого тракта газогенератора. Тракт выполнен в виде кольцевого зазора величиной  $\delta = 2$  мм, длиной  $l = 500$  мм, диаметр внутренней окружности  $D = 155$  мм. Расход охладителя  $G = 10$  кг/сек, удельный вес  $\gamma = 820$  кг/м<sup>3</sup>, кинематическая вязкость  $\nu = 0,045$  см<sup>2</sup>/сек, температуру на участке считать постоянной.

5. Определить потребный напор на выходе из БТНА, который необходим для подачи топлива в количестве  $G = 1180$  кг/час от бака к ТНА, если длина трубопровода  $l = 5$  м, диаметр  $D = 15$  мм, потребное давление на входе в ТНА  $P_2 = 1,3$  кг/см<sup>2</sup>, коэффициент вязкости  $\nu = 0,045$  см<sup>2</sup>/сек, удельный вес  $\gamma = 820$  кг/м<sup>3</sup>.

6. Рассчитать основные энергетические характеристики турбины энергоустановки. Если потребная мощность от турбины 2МВт.

### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Классификация принципиальных схем энергоустановок по назначению.
2. Классификация принципиальных схем энергоустановок по виду топлива.
3. Классификация принципиальных схем энергоустановок способу подачи топлива.
4. Классификация принципиальных схем энергоустановок по способу поджига компонентов топлива.
5. Классификация принципиальных схем энергоустановок по способу управления вектором тяги.
6. Классификация принципиальных схем энергоустановок по способу образования рабочего тела турбины.
7. Классификация принципиальных схем энергоустановок по способу использования

рабочего тела после турбины.

8. Классификация принципиальных схем энергоустановок по способу охлаждения камеры сгорания.

9. Классификация принципиальных схем энергоустановок по способу использования охладителя после прохождения рубашки камеры сгорания.

10. Классификация принципиальных схем энергоустановок по количеству камер сгорания.

11. Классификация принципиальных схем энергоустановок по числу ТНА.

12. Классификация принципиальных схем энергоустановок по видам вспомогательных функций для обслуживания борта ракеты.

13. Классификация принципиальных схем энергоустановок по числу компонентов топлива.

14. Перечень основных агрегатов и систем энергоустановок.

15. Влияние способа исполнения принципиальной схемы на основные параметры энергоустановок.

16. Способы повышения удельного импульса тяги энергоустановок с использованием схемных решений.

17. Способы уменьшения габаритов энергоустановок.

18. Назначение и работа энергоустановок.

19. Назначение и работа газогенератора.

20. Назначение и работа системы управления энергоустановок.

21. Система регулирования соотношением компонентов топлива. Схемные решения.

22. Система диагностики и аварийной защиты. Принципиальные решения.

23. Система технического обслуживания энергоустановок многоразового использования.

24. Этапы проектирования ПГС энергоустановок.

25. Техническое задание на разработку энергоустановок. Влияние на выбор ПГС.

26. Выбор вариантов ПГС для сравнительного анализа.

27. Предварительный расчет ПГС.

28. Критерии оценки оптимальности ПГС.

29. Подготовка дополнительных исходных данных для расчета ПГС.

30. Расчет ПГС. Уравнения материального баланса по компонентам топлива.

31. Расчет ПГС. Уравнения баланса мощности ТНА.

32. Расчет ПГС. Уравнения баланса давлений.

33. Методика расчета режимов форсирования и дросселирования энергоустановок по тяге.

34. Методика расчета режимов форсирования и дросселирования по соотношению компонентов топлива.

35. Подготовка данных для расчетов кавитационных запасов насосов.

36. Подготовка данных для расчетов охлаждения камеры.

37. Подготовка данных для расчетов на прочность агрегатов.

38. Расчет коэффициентов влияния внешних факторов на параметры энергоустановок.

39. Этапы работы энергоустановок.

40. Запуск энергоустановок. Работа ПГС.

41. Основной режим энергоустановок. Работа ПГС.

42. Останов энергоустановок. Работа ПГС.

43. Мероприятия по наземному техническому обслуживанию энергоустановок. Использование элементов схемы двигателя.

44. Методы расчета гидравлического сопротивления в элементах схемы энергоустановок.

45. Преимущества и недостатки энергоустановок с восстановительным газогенератором.

46. Преимущества и недостатки энергоустановок с окислительным газогенератором.
47. Трехкомпонентные энергоустановки. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
48. ЖРД с регулируемыми соплами. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
49. Безгенераторные энергоустановки. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
50. Криогенные энергоустановки. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
51. Энергоустановки на высококипящих компонентах топлива. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
52. Динамические процессы в элементах ПГС энергоустановок. Особенности построения ПГС.
53. Кавитация в элементах схемы энергоустановок. Особенности построения ПГС.
54. Современные тенденции в развитии энергоустановок и их принципиальных схем.
55. Примеры современных энергоустановок из отечественной практики. Уровень реализованных параметров.
56. Примеры современных энергоустановок из зарубежной практики. Уровень реализованных параметров.
57. Баллистические эквиваленты. Использование их при проектировании ПГС энергоустановок.

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

Не предусмотрено учебным планом

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

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и 2 задачи. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, решенная задача оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 7.

Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 4 баллов.

Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал 4 и более баллов.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Особенности проектирования принципиальных схем ЭУ	ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.5, ПСК-3.6	Тест, защита лабораторных работ, опрос
2	Методика предварительного расчета принципиальной схемы ЭУ	ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.5, ПСК-3.6	Тест, защита лабораторных работ, опрос
3	Методика расчета принципиальной схемы для крайних условий эксплуатации ЭУ	ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.5, ПСК-3.6	Тест, защита лабораторных работ, опрос
4	Методика расчета коэффициентов влияния факторов на параметры ЭУ	ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.5, ПСК-3.6	Тест, защита лабораторных работ, опрос



5	Методика расчета изменения параметров ПГС на переходных режимах.	ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.5, ПСК-3.6	Тест, защита лабораторных работ, опрос
6	Требования, задаваемые к агрегатам ЭУ	ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.5, ПСК-3.6	Тест, защита лабораторных работ, опрос
7	Перспектива совершенствования схем ЭУ	ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.5, ПСК-3.6	Тест, защита лабораторных работ, опрос

### **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) Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: Учебник / М.В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова. – 2-е изд., пере-раб. И доп. – М.: МГТУ им. Баумана, 2006. – 488 с.

2) Проектирование принципиальных пневмогидравлических схем жидкостных ракетных двигателей: Учеб. пособие / А.Ф. Ефимочкин. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010.-264 с.

3) Конструкция и проектирование ЖРД: учеб. пособие / Р.А. Бережинский, С.Г. Валюхов, В.А. Коробченко. – Воронеж: ВГТУ, 2002.-168 с.

4) Проектирование принципиальных схем жидкостных ракетных двигателей. Учебное пособие / А.Н. Глушаков, А.Ф. Ефимочкин, Воронежский политехнический институт.1991

5) Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. Том 1. Васильев А.П., Кудрявцев В.М., 1993

6) Расчет охлаждения ЖРД с использованием электронных таблиц. Полянский А.Р., 2004

7) Теория ракетных двигателей А.И. Алемасов. – М.: Высшая школа, 1980, с.535

8) Жидкостные ракетные двигатели / Добровольский М.В. – М.: Машиностроение 2006

**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:**

1. Microsoft Win Pro 10
2. Acrobat Pro 2017
3. NX Academic
4. 7 zip
5. Google Chrome
6. LibreOffice
7. Mozilla Firefox
8. Компас-3D
9. OpenOffice
10. <http://www.edu.ru/> - образовательный портал
11. <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
12. elibrary.ru
13. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
14. [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru) – электронная библиотека

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

Аудитория № 153 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованная специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя, оборудованная мультимедиа-проектором и экраном, для проведения лекционных и практических занятий.

Аудитории № 154, № 149 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованные специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя для проведения лекционных и практических занятий.

Специализированная аудитория, оснащенная персональными компьютерами и специальным программным обеспечением для лабораторных работ - учебная аудитория № 134 (ул. Ворошилова, 20, 7 эт.), укомплектованная специализированной мебелью и оборудованная техническими средствами обучения: персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

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

По дисциплине «Пневмогидравлические схемы энергетических установок» 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 ПГС ЭУ; расчёт параметров камеры сгорания, параметров турбонасосного агрегата; описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать 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: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>

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
1	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	30.08.2018	
2	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
3	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	
4	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2021	
5	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2022	
6	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2023	