

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Самолетостроения и эксплуатации авиационной техники»

**УТВЕРЖДЕНА:**  
на заседании кафедры  
Протокол №8 от 28 апреля 2025 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**«ТЕПЛОВЫЕ, ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»**

---

Научная специальность: 2.5.15 Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки  
летательных аппаратов

---

Документ подписан простой электронной  
подписью  
Составитель программы: Пыхалов Анатолий  
Александрович  
Дата подписания: 23.06.2025

Документ подписан простой электронной  
подписью  
: Бобарика Игорь Олегович  
Дата подписания: 24.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

**1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

**1.1 Дисциплина «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» обеспечивает формирование следующих результатов освоения программы аспирантуры**

Код, наименование результата освоения программы	Код, наименование результата освоения дисциплины (модуля)
Р-1 Готовность к самостоятельной научно-исследовательской и педагогической деятельности на основании способности к генерированию новых идей и поиска нестандартных решений в профессиональной деятельности	(Р-1.3 Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной дискуссии',) Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной дискуссии

**1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы**

Код наименования результата освоения дисциплины (модуля)	Результат обучения
Р-1.3 - Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной дискуссии	<p><b>Знать</b> методы исследования тепловых, электроракетных двигателей и энергоустановок; методы расчета тепловых, электроракетных двигателей и энергоустановок с учетом процессов различной физической природы; роль компьютерных технологий в расчетах и исследованиях тепловых, электроракетных двигателей и энергоустановок, а также и численные методы решения задач их динамики и прочности; методы и средства измерения физических процессов.</p> <p><b>Уметь</b> формулировать цели расчета и анализировать динамические и прочностные требования тепловым, электроракетным двигателям и энергоустановкам; выбирать математические модели деформирования конструкций тепловых, электроракетных двигателей и энергоустановок</p>

	<p>летательных аппаратов в соответствии с поставленными целями, а также программные средства для вычислительной техники, реализующие компьютерные технологии такого моделирования; получать вычислительные результаты оценки закономерностей механических природы, имеющих место в тепловых, электроракетных двигателях и энергоустановках летательных аппаратов;</p> <p><b>Владеть</b> компьютерного моделирования при решении задач исследования, расчета и конструирования элементов тепловых, электроракетных двигателей и энергоустановок летательных аппаратов; расчета на прочность, жесткость и устойчивость в наиболее распространенных типах тепловых, электроракетных двигателей и энергоустановок летательных аппаратов при статических и динамических видах нагружения; создания, расчета и исследования динамики, активных и пассивных систем виброзащиты тепловых, электроракетных двигателей и энергоустановок летательных аппаратов</p>
--	--

## 2 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 6 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины	216	216
Аудиторные занятия, в том числе:	60	60
лекции	36	36
лабораторные работы	0	0
практические/семинарские занятия	24	24
Контактная работа, в том числе	0	0
в форме работы в электронной информационной образовательной среде	0	0
Самостоятельная работа (в т.ч.	120	120

курсовое проектирование)		
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Кандидатский экзамен по спец. дисциплине	Кандидатский экзамен по спец. дисциплине

### 3 Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

##### Семестр № 7

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Основные сведения из термодинамики.	1	3					1	10	Устный опрос
2	Общие сведения о двигателях летательных аппаратов (ДЛА).	2	3			9	2	1	10	Устный опрос
3	Общая теория турбореактивных двигателей (ТРД). Рабочий цикл ТРД.	3	3					1	10	Устный опрос
4	Процесс сжатия воздуха в турбореактивных двигателях.	4	3					1	10	Устный опрос
5	Процесс сгорания топлива в турбореактивных двигателях.	5	3					1	10	Устный опрос
6	Процесс расширения газа в реактивных двигателях.	6	3					1	10	Устный опрос
7	Общие сведения по конструкции и компоновке газотурбинных авиационных двигателей (ГТД).	7	3			5, 6	4	1	10	Устный опрос
8	Конструкция и проектирование компрессоров авиационных ГТД.	8	3			1, 2	4	1	10	Устный опрос
9	Конструкция и проектирование газовых турбин авиационных ГТД.	9	3			3, 4	4	1	10	Устный опрос

10	Проектирование рабочих лопаток компрессоров и турбин авиационных ГТД.	10	3					1	10	Устный опрос
11	Проектирование дисков и роторов компрессоров и турбин ГТД.	11	3			10, 11	4	1	10	Устный опрос
12	Камеры сгорания (КС) и форсажные камеры ГТД. Выходные устройства и регулируемые сопла ГТД.	12	3			7, 8, 12	6	1	10	Устный опрос
	Промежуточная аттестация								36	Кандидатский экзамен по спец. дисциплине
	Всего		36				24		156	

### 3.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

#### Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	Основные сведения из термодинамики.	Идеальный газ и его основные параметры. Работа газа в обратимом процессе расширения. Закон сохранения энергии. Первый закон термодинамики. Теплоемкость газа. Основные газовые процессы и параметры газа. Второй закон термодинамики. Рабочие циклы.
2	Общие сведения о двигателях летательных аппаратов (ДЛА).	Принцип работы двигателей: поршневого, реактивно-го твердого топлива, реактивного жидкостного, прямоточного воздушно-реактивного, турбореактивного, ядерного.
3	Общая теория турбореактивных двигателей (ТРД). Рабочий цикл ТРД.	Основные параметры турбореактивных двигателей. Идеальный цикл ТРД. Рабочий цикл турбореактивного двигателя. Факторы, влияющие на эффективную работу и удельную тягу ТРД.
4	Процесс сжатия воздуха в турбореактивных двигателях.	Назначение процесса сжатия. Динамическое сжатие воздуха во входных устройствах реактивных двигателей. Схема и принцип работы осевого и центробежного компрессора. Понятие и процесс сжатия воздуха в элементарной ступени компрессора.
5	Процесс сгорания топлива в турбореактивных двигателях.	Условия воспламенения и горения топлива в основных и форсажных камерах сгорания реактивных двигателей. Общие требования, предъявляемые к камерам сгорания.
6	Процесс расширения	Принцип работы, основные параметры и

	газа в реактивных двигателях.	требования к турбинам и выходным устройствам ТРД. Течение газа в элементарной ступени турбины. Работа и мощность турбины, её совместная работа с компрессором. Расширение газа в реактивном сопле.
7	Общие сведения по конструкции и компоновке газотурбинных авиационных двигателей (ГТД).	Разновидности конструкций, основные параметры и технические требования двигателей. Силовые схемы роторов и корпусов ГТД. Усилия действующие газотурбинных двигателях. Модульность конструкции.
8	Конструкция и проектирование компрессоров авиационных ГТД.	Типы компрессоров. Классификация и основные параметры осевых компрессоров (ОК). Роторы ОК, рабочие лопатки и их соединение с дисками. Корпусы ОК, направляющие и спрямляющие аппараты. Воздушные уплотнения, радиальные и осевые зазоры.
9	Конструкция и проектирование газовых турбин авиационных ГТД.	Конструктивные параметры и компоновки газовых турбин. Лопатки рабочие, их охлаждение и соединение с диском. Сопловые аппараты. Роторы турбин, их соединение с роторами компрессоров и редукторами. Системы охлаждения.
10	Проектирование рабочих лопаток компрессоров и турбин авиационных ГТД.	Конструкция, требования и особенности проектирования лопаток. Расчет рабочих лопаток на прочность. Температурные напряжения в лопатках турбин. Колебания лопаток. Способы устранения резонансных колебаний лопаток.
11	Проектирование дисков и роторов компрессоров и турбин ГТД.	Условия работы и требования к конструкции дисков. Расчет дисков на прочность при растяжении. Колебания дисков. Расчет роторов ГТД на колебания. Устойчивость и критические угловые частоты однодисковых и многодисковых роторов. Влияние упругости опор на колебания ротора.
12	Камеры сгорания (КС) и форсажные камеры ГТД. Выходные устройства и регулируемые сопла ГТД.	Конструктивная схема, основные размеры и элементы конструкций камер сгорания. Расчет деталей камер сгорания на прочность и устойчивость. Основные элементы и принципы организации рабочего процесса в форсажных камерах. Выходные устройства с изменяемым вектором тяги. Шумоглушение и снижение ИК-излучения.

### 3.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

### 3.4 Перечень практических занятий

#### Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических
---	---	----------------------

		<b>часов</b>
1	Расчет конструкции и деталей роторов компрессоров авиационных газотурбинных двигателей.	2
2	Расчет конструкции и деталей корпусов компрессоров авиационных газотурбинных двигателей.	2
3	Расчет конструкции и деталей роторов турбин авиационных газотурбинных двигателей.	2
4	Расчет конструкции и деталей корпусов турбин авиационных газотурбинных двигателей.	2
5	Изучение конструкции и расчет опор роторов авиационных газотурбинных двигателей.	2
6	Изучение конструкции и расчет опор роторов авиационных газотурбинных двигателей.	2
7	Изучение конструкции и расчет форсажных камер и камер сгорания авиационных газотурбинных двигателей.	2
8	Изучение конструкции и расчет регулируемых реактивных сопел и эжекторных устройств авиационных газотурбинных двигателей.	2
9	Исследование влияния эксплуатационных факторов на колебания рабочих элементов авиационных газотурбинных двигателей.	2
10	Исследование и расчет массового полярного момента инерции ротора авиационного газотурбинного двигателя.	2
11	Исследование и расчет изгибных колебаний роторов авиационных газотурбинных двигателей.	2
12	Исследование и расчет собственных частот и форм колебаний оболочек авиационных газотурбинных двигателей.	2

### 3.5 Самостоятельная работа

#### Семестр № 7

<b>№</b>	<b>Вид СРС</b>	<b>Кол-во академических часов</b>
1	Подготовка к экзамену	120

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Видео лекция. Вебинар.

### 4 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

#### 4.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

##### 4.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Пыхалов А.А., Яхненко М.С. Конструкция и прочность авиационных двигателей. / Лабораторный практикум по курсу Конструкция и прочность авиационных двигателей (учебное пособие). -Иркутск: ИрГТУ. -2008. -71 с.

#### 4.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

1. Пыхалов А.А. Конструкция и прочность авиационных двигателей. / Учебное пособие по выполнению курсового проекта по курсу Конструкция и прочность авиационных двигателей (учебное пособие). -Иркутск: ИрГТУ. -2002. -52 с.
2. Пыхалов А.А., Хоذاцкий С.А. Конструкция и прочность авиационных двигателей / Методические указания к изучению дисциплины. – Иркутск: ИФ МГТУ ГА, -2012. -42 с.

### 5 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

#### 5.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

##### 5.1.1 семестр 7 | Устный опрос

##### Описание процедуры.

Аспирант приходит в университет и периодически общается с руководителем (допускается дистанционное общение) Устное собеседование по изучаемым вопросам.

##### Критерии оценивания.

Знает аналитические и численные методы расчета и инструментальные средства проектирования новых поколений тепловых, электро-ракетных двигателей и энергоустановок, технологий и материалов. Применяет современные методы и средства исследования для решения конкретных задач развития тепло-вых, электроракетных двигателей и энергоустановок.

#### 5.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

##### 5.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания результата освоения дисциплины (модуля) в рамках промежуточной аттестации

Код и наименование результата освоения дисциплины (модуля)	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
Р-1.3 Способность применять системные теоретические знания для анализа, верификации, оценки процессов, происходящих в профессиональной сфере, а также умение аргументированно отстаивать собственную позицию в ходе научной	Знает аналитические и численные методы расчета и инструментальные средства проектирования новых поколений тепловых, электро-ракетных двигателей и энергоустановок, технологий и материалов. Применяет современные методы и средства исследования для решения конкретных задач развития тепловых, электроракетных двигателей и	Устное собеседование по изучаемым вопросам.

дискуссии	энергоустановок.	
-----------	------------------	--

## 5.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

### 5.2.2.1 Семестр 7, Типовые оценочные средства для кандидатского экзамена по спец. дисциплине

#### 5.2.2.1.1 Описание процедуры

Подготавливаются билеты, в билете 3 вопроса на разные темы. Аспирант приходит в аудиторию, берет билет и готовится к ответу. Руководитель и члены экзаменационной комиссии находятся в это время в аудитории экзамена.

После, аспирант отвечает по билету.!"ЯУ-+

#### Пример задания:

1. Закон сохранения энергии и первый закон термодинамики. Теплоемкость газа.
2. Процесс расширения газа в турбореактивных двигателях. Схема и принцип работы газовой турбины.
3. Оценка запасов прочности и длительной прочности рабочих лопаток компрессоров и турбин авиационных газотурбинных двигателей.

#### 5.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Имеет полный объем знаний основного материала, с изложением деталей. Неточности в формулировках материала отсутствуют. Нарушений логической последовательности и в изложении программного материала не прослеживается. Не испытывает затруднений при выполнении практических расчетных работ.	Имеет достаточно полный объем знаний основного материала, но не усвоил его деталей. Допускает неточности в формулировках, но в целом они правильные. Нарушений логической последовательности и в изложении программного материала не прослеживается. В целом, затруднений при выполнении практических расчетных работ не испытывает.	В целом, имеет знания основного материала, но не усвоил его деталей. Допускает неточности, недостаточно правильные формулировки. Нарушений логической последовательности в изложении программного материала в целом не прослеживается. Испытывает затруднения при выполнении практических расчетных работ.	Не знает значительной части программного материала. Допускает существенные ошибки в формулировках и терминологии. Неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические расчетные работы

## **6 Основная учебная литература**

1. Нечаев Ю. Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей : учеб. для авиац. специальностей вузов: в 2 ч. Ч. 1. / Ю. Н. Нечаев, Р. М. Федоров, 1977. - 312.
2. Нечаев Ю. Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей : учеб. для авиац. специальностей вузов: в 2 ч. Ч. 2. / Ю. Н. Нечаев, Р. М. Федоров, 1978. - 335.
3. Скубачевский Г. С. Авиационные газотурбинные двигатели: Конструкции и расчет деталей : учебник для авиационных специальностей вузов / Глеб Семенович Скубачевский, 1981. - 550.

## **7 Дополнительная учебная литература и справочная**

1. Хронин Д. В. Колебания в двигателях летательных аппаратов : учебник / Д. В. Хронин, 1980. - 296.
2. Клячкин А. Л. Теория воздушно-реактивных двигателей : учеб. для мех. фак. ин-тов инженеров гражд. авиации и фак. гражд. авиации вузов МВ и ССО СССР / А. Л. Клячкин, 1969. - 512.

## **8 Ресурсы сети Интернет**

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

## **9 Профессиональные базы данных**

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

## **10 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем**

1. Microsoft Office 2007 Standard - 2003 Suites и 2007 Suites - поставка 2010
2. MSC (Dytran, Easy5, MD Adams, MD Nastran, MSC Sinda, Patran, MSC.SOFY, Marc Marc Mental)\_Academic Edition
3. CorelDRAW Graphics Suite X5 Classroom License ML 15+1 russian
4. Siemens Femap with Nastran

## **11 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. 311932 Передвижной аэродромный выпрямитель типа АВ-2м  
0000007339

Д-013

2. Доска магнитно-маркерная INDEX настенная ,размер 1x1.8 м  
0000060028

Д-013

3. 316925 Авиационный двухконтурный ТР двигатель  
0000007066

Д-013

4. 13053 Визир лазерный  
0000007103

Д-013

5. 312373 Авиадвигатель 55Б  
0000007064

Д-013