

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Направление/специальность подготовки	24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Цифровые технологии создания двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космическая техника
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	3	108	39	26	0	13	69	0	0	69	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**24.03.05 Двигатели летательных аппаратов**

год набора группы: 2026

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА  
Овчинникова Ольга Константиновна, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ**

## **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-6 — Способен анализировать, систематизировать и обобщать информацию о современном состоянии и перспективах развития отрасли двигателестроения и энергетической техники

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-6**

*знания:*

современное состояние и перспективы развития двигателестроительной отрасли, ведущих отечественных и зарубежных производителей двигателей и энергетических установок, дорожные карты их развития;

*умения:*

анализировать, систематизировать и обобщать информацию, найденную в свободном доступе, включая патенты, материалы конференций, интерактивные ресурсы;

*навыки:*

обработки информации, в том числе анализа экспериментальных данных.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ДВИГАТЕЛЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, ТЕРМОДИНАМИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
- ПК-3.1 — Способен понимать физическую сущность гидрогазодинамических процессов и процессов теплообмена, разрабатывать методологии исследований двигателей и энергетических установок

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-6
4	8	<b>Раздел 1. Цифровая трансформация в двигателестроении.</b> Обзор перспективных направлений: гибридные силовые установки, водород, электрификация, аддитивные технологии. Концепция Цифровых двойников, уровни детализации, связь с реальными данными. Примеры внедрения в ОДК и ЦИАМ. Мультифизическое моделирование и виртуальные испытания. Газодинамика, теплообмен, прочность в едином контуре. Сокращение натурных испытаний за счёт Model-Based Systems Engineering (MBSE). PLM/PDM-системы и управление требованиями. Интеграция CAD/CAE/CAM, трассируемость требований, верификация на ранних этапах.	20	10	6	4	10	25
4	8	<b>Раздел 2. Перспективные энергоносители.</b> Гибридные электрические силовые установки (ГСУ). Параллельные и последовательные схемы, баланс мощности, роль АКБ. Опыт ЦИАМ по созданию демонстратора на Як-40Л/Л. Водородные технологии в авиации. Жидкий водород как топливо и хладагент. Особенности криогенных систем, безопасность, опыт Ту-155 и современных проектов (ZeroAvia, Airbus). Топливные элементы и синтетическое топливо. Принцип работы, КПД, интеграция с ГТД. Перспективы SAF. Электрификация малой авиации и БПЛА. Требования к удельной мощности, проблемы энергоёмкости АКБ, рекуперация.	44	14	8	6	30	25
4	8	<b>Раздел 3. Передовые технологии производства и эксплуатации.</b> Аддитивные технологии в двигателестроении. 3D-печать жаропрочных сплавов, топологическая оптимизация, ремонт лопаток. Новые материалы и покрытия. Монокристаллические сплавы, керамические матричные композиты (СМС), термобарьерные покрытия. Влияние на ресурс и температуру газа. Интеллектуальные системы управления и диагностики. AI/ML для прогноза остаточного ресурса, адаптивное управление, цифровые тени эксплуатации. Экология и сертификация. Нормы ИКАО по шуму и выбросам, методы снижения эмиссии (Lean-burn, ступенчатое горение), особенности сертификации новых типов СУ.	23	9	6	3	14	25
4	8	<b>Раздел 4. Проектная деятельность в двигателестроении.</b> Управление проектами в инновационном двигателестроении. Stage-Gate, Agile в НИОКР, работа с рисками, кооперация с поставщиками, PMBOK/Prince2.	21	6	6	0	15	25
<b>Всего за 8 семестр</b>			108	39	26	13	69	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	39	26	13	69	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Цифровая трансформация в двигателестроении.	планирование виртуального эксперимента (выбор датчиков, режимов, критериев валидации)	4
2	Раздел 2. Перспективные энергоносители.	Анализ термодинамического цикла с водородным охлаждением: оценка прироста удельной мощности. Оценка экологического следа: сравнение выбросов CO <sub>2</sub> для керосина, водорода, САФ.	6
3	Раздел 3. Передовые технологии производства и эксплуатации.	Подготовка модели лопатки для аддитивного производства: анализ поддерживающих структур, ориентация в камере. Выбор материала для рабочей лопатки по критериям: жаропрочность, плотность, стоимость.	3
<b>Всего за 8 семестр</b>			13

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Цифровая трансформация в двигателестроении.	Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой.	10
2	Раздел 2. Перспективные энергоносители.	Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой. Выполнение самостоятельной работы.	30

3	Раздел 3. Передовые технологии производства и эксплуатации.	Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой.	14
4	Раздел 4. Проектная деятельность в двигателестроении.	Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой.	15
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>69</b>

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>8</b>			ТекК			ДР		ТекК	Зад. СРС	ДР		ТекК	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- Зад. СРС – задания для самостоятельной работы;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- задания для самостоятельной работы.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. . Авиационные аккумуляторные батареи и их лётная эксплуатация. Ульяновск: УИ ГА, 2018, эл. рес.
2. . Основы цифровой экономики. Москва: Юрайт, 2023, эл. рес.
3. . Проектирование цифрового будущего. Научные подходы. Москва: Техносфера, 2020, эл. рес.
4. А. И. Балашов, Е. М. Рогова, М. В. Тихонова. . Управление проектами. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
5. А. И. Горунов. . Аддитивные технологии и материалы. Казань БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, эл. рес.
6. А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. С. Коберник. . Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники. Москва: Юрайт, 2022, эл. рес.
7. А. Т. Зуб. . Управление проектами. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
8. В. Е. Шкурко. . Управление рисками проекта. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
9. Е. В. Преображенская. . Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств. Москва: РТУ МИРЭА, 2021, эл. рес.
10. Н. П. Шаманов, А. Н. Калмыков. . Электрохимические транспортные энергоустановки с водородным топливом. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, 5 экз.
11. П. П. Серебrenицкий. . Аддитивные технологии. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, эл. рес.
12. Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. . Общая энергетика: водород в энергетике. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. А. Л. Карунин, О. А. Дашенко, В. И. Гладков. . Технология двигателестроения. М.: Высш. шк., 2006, 3 экз.
2. М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. . Аддитивные технологии в машиностроении. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013, 2 экз.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
2. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Библиотечно-издательский центр БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;



2. Matlab 2015a SP1.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
4. Matlab 2015a SP1.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космическая техника БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:  
ОПК-6 Способен анализировать, систематизировать и обобщать информацию о современном состоянии и перспективах развития отрасли двигателестроения и энергетической техники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с перспективными направлениями в современном двигателестроении, с акцентом на цифровизацию, применение CAD-CAM-CAE систем и системный инжиниринг.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- задания для самостоятельной работы.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**26 ч.**), практические занятия (**13 ч.**), самостоятельная работа студента (**69 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 39 ч. аудиторных занятий, и 69 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Цифровая трансформация в двигателестроении.</b>		
Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Проектирование цифрового будущего. Научные подходы: Москва: Техносфера, 2020 (1)</li> <li>. Основы цифровой экономики: Москва: Юрайт, 2023 (1)</li> <li>А. Л. Карунин, О. А. Дашченко, В. И. Гладков. . Технология двигателестроения: М.: Высш. шк., 2006 (1)</li> </ul>	10
Итого по разделу 1		10
<b>Раздел 2. Перспективные энергоносители.</b>		
Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой. Выполнение самостоятельной работы.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Авиационные аккумуляторные батареи и их лётная эксплуатация: Ульяновск: УИ ГА, 2018 (1)</li> <li>Р. В. Радченко, А. С. Мокрушин, В. В. Тюльпа. . Общая энергетика: водород в энергетике: Москва: Юрайт, 2020 (1)</li> <li>Н. П. Шаманов, А. Н. Калмыков. . Электрохимические транспортные энергоустановки с водородным топливом: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (1)</li> </ul>	30
Итого по разделу 2		30
<b>Раздел 3. Передовые технологии производства и эксплуатации.</b>		
Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой.	<ul style="list-style-type: none"> <li>П. П. Серебrenицкий. . Аддитивные технологии: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1)</li> <li>А. И. Горунов. . Аддитивные технологии и материалы: КазаньБГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1)</li> <li>Е. В. Преображенская. . Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств: Москва: РТУ МИРЭА, 2021 (1)</li> <li>М. А. Зленко, А. А. Попович, И. Н. Мутылина. . Аддитивные технологии в машиностроении: СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013 (1)</li> <li>А. Л. Галиновский, Е. С. Голубев, Н. С. Коберник. . Аддитивные технологии в производстве изделий аэрокосмической техники: Москва: Юрайт, 2022 (1)</li> </ul>	14
Итого по разделу 3		14
<b>Раздел 4. Проектная деятельность в двигателестроении.</b>		
Изучение дидактических единиц раздела, работа с литературой.	<ul style="list-style-type: none"> <li>А. Т. Зуб. . Управление проектами: Москва: Юрайт, 2020 (1)</li> <li>В. Е. Шкурко. . Управление рисками проекта: Москва: Юрайт, 2020 (1)</li> </ul>	15

	А. И. Балашов, Е. М. Рогова, М. В. Тихонова. . Управление проектами: Москва: Юрайт, 2020 (1)	
Итого по разделу 4		15

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- задания для самостоятельной работы;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы для текущего контроля

Собеседование по пройденному материалу, устные ответы на контрольные вопросы, решение практических задач для проверки усвоения материала

#### Задания для самостоятельной работы

Выполненное задание оформляется как отчет по проделанной работе и оценивается по десятибалльной шкале на соответствие следующим критериям:

- Текстовая часть отчета выполнена на стандартных листах белого цвета формата А4, цвет шрифта черный.
  - При оформлении использован шрифт Times New Roman или Arial, кегль 12-14 пт; полуторный межстрочный интервал и обычный межзнаковый интервал.
  - При оформлении использован абзацный отступ 1,25 см; абзацный интервал 0; выравнивание по ширине страницы.
  - Отчет содержит все необходимые элементы: титульный лист, цель и задачи работы, теоретические сведения, допущения, полученные результаты, выводы.
  - При наборе формул использован встроенный редактор Microsoft Office Word (Microsoft Equation 3,0) или редактор MathType. Формулы выровнены по центру.
  - После каждой формулы ставится запятая, а первая строка с расшифровкой начинается со слова «где» без двоеточия и без абзацного отступа.
  - Рисунки представлены в формате: «Рисунок 1 – Наименование», выровнены по центру, без абзацного отступа. Их количество является достаточным для пояснения полученных результатов и обоснования выводов.
  - Представленное решение задачи соответствует индивидуальному заданию.
  - Полученные результаты представлены в виде графиков или таблиц значений и позволяют проанализировать влияние на результат решения задачи применения различных численных методов решения и (или) их настроек.
  - Выводы о проделанной работе обоснованы и опираются на представленные результаты.
- Оценка выставляется в соответствии с полученными баллами: 5-6 баллов "удовлетворительно", 7-8 баллов "хорошо", 9-10 баллов "отлично".

#### Дифференцированный зачет

Дифференцированный зачет выставляется при условии выполнения обучающимся всех контрольных мероприятий, предусмотренных рабочей программой дисциплины, оценка определяется по сумме баллов в рамках БАРС. В случае несогласия студента с оценкой дифференцированный зачет проводится в формате собеседования по курсу и оценивается по следующим критериям:

- оценки "отлично" заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой.
- оценки "хорошо" заслуживает студент обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания.
- оценки "удовлетворительно" заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой.

- оценка "не зачтено" выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-6	
4	8	Раздел 1. Цифровая трансформация в двигателестроении.	20	10	6	4	10	25	Вопросы для текущего контроля
4	8	Раздел 2. Перспективные энергоносители.	44	14	8	6	30	25	Вопросы для текущего контроля, Задания для самостоятельной работы
4	8	Раздел 3. Передовые технологии производства и эксплуатации.	23	9	6	3	14	25	Вопросы для текущего контроля
4	8	Раздел 4. Проектная деятельность в двигателестроении.	21	6	6	0	15	25	Вопросы для текущего контроля
Всего за 8 семестр			108	39	26	13	69	100	
Всего по дисциплине			108	39	26	13	69	100	



## Оценочные материалы по дисциплине ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

**ОПК-6 - Способен анализировать, систематизировать и обобщать информацию о современном состоянии и перспективах развития отрасли двигателестроения и энергетической техники**

№ 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой из перечисленных признаков является ключевым отличием цифрового двойника (Digital Twin) от традиционной расчётной CAE-модели двигателя?

- A** Цифровой двойник всегда трёхмерный и визуализирован в реальном времени
- B** Цифровой двойник связан с физическим объектом потоком данных в реальном времени и способен к адаптации
- C** Цифровой двойник обязательно использует искусственный интеллект для прогнозирования
- D** Цифровой двойник заменяет натурные испытания на 100%

№ 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какое из утверждений наиболее точно описывает основное технологическое препятствие для широкого внедрения жидкого водорода в качестве авиационного топлива к 2035 году?

- A** Низкая энергоёмкость водорода по сравнению с керосином
- B** Отсутствие двигателей, способных работать на водороде
- C** Необходимость криогенного хранения ( $-253^{\circ}\text{C}$ ) и связанная с этим масса/объём баков, инфраструктура
- D** Высокая стоимость производства водорода любым способом

№ 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Опишите, как методология Stage-Gate может быть адаптирована для управления проектом по внедрению новой технологии (например, аддитивного производства лопаток) в условиях авиадвигателестроения. Укажите особенности этапов, критерии перехода между «воротами» и меры по снижению рисков.

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Установи правильное описание уровней технологической готовности (TRL)

- A. TRL 1–2** 1. Технология подтверждена в лабораторных условиях, создан лабораторный образец (breadboard)
- B. TRL 4–5** 2. Система сертифицирована, запущена в серийное производство и эксплуатируется на реальных ВС
- B. TRL 6–7** 3. Базовые принципы изучены, сформулирована идея, проведён патентный и аналитический поиск
- Г. TRL 8–9** 4. Демонстратор испытан в условиях, близких к реальным (стенд, лётный эксперимент)

№ 5 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие перспективных силовых установок и их характеристик

- A. Гибридная электрическая СУ** 1. Электрохимическое преобразование энергии, в выхлопе только водяной пар, низкий уровень шума
- Б. Прямое сжигание жидкого водорода в ГТД** 2. Прямая замена керосина в существующей камере сгорания с минимальными изменениями конструкции

- |   |  |
|---|--|
| <b>В.</b> Топливные элементы (PEMFC/SOFC)<br><b>Г.</b> Устойчивое авиационное топливо (SAF) | 3. Комбинирование газотурбинного/ДВС и электромотора с АКБ для оптимизации режимов полёта<br><br>4. Криогенное хранение при $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ , высокая удельная энергоёмкость, требует модификации топливной системы и баков |
|---|--|

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите перечисленные этапы жизненного цикла создания цифрового двойника двигателя в правильной логической или хронологической последовательности.

1. Развёртывание модели на серверной платформе с API для приёма данных
2. Создание базовой параметрической 3D-модели в CAE-среде
3. Подключение к бортовым системам и непрерывный сбор телеметрии в эксплуатации
4. Валидация и калибровка модели по результатам натурных испытаний
5. Интеграция алгоритмов машинного обучения и прогнозирования остаточного ресурса

№ 7 Прочитайте текст и установите последовательность

Опишите последовательность технологического цикла аддитивного производства лопатки турбины

1. Механическая доводка критических поверхностей (шлифовка, полировка)
2. Подготовка 3D-модели, топологическая оптимизация и генерация поддерживающих структур
3. Неразрушающий контроль (рентгенография, УЗ-дефектоскопия, компьютерная томография)
4. Селективное лазерное плавление металлического порошка (непосредственно печать)
5. Постобработка: снятие напряжений, термообработка, удаление поддержек

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие из перечисленных характеристик соответствуют современному пониманию цифрового двойника (Digital Twin) авиационного двигателя?

- **А.** Двусторонняя связь с физическим объектом через поток телеметрических данных в реальном времени
- **Б.** Полная замена натурных испытаний на всех этапах сертификации по нормам АП-33
- **В.** Интеграция с PLM-системой для обеспечения трассировки требований и управления конфигурацией
- **Г.** Использование исключительно статических CAD-геометрий без учёта изменяющихся эксплуатационных параметров
- **Д.** Применение физико-математических и data-driven моделей для прогнозирования остаточного ресурса компонентов

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какое преимущество аддитивного производства (3D-печати металлом) является наиболее значимым именно для компонентов газотурбинного двигателя?

- |          |  |
|----------|--|
| <b>А</b> | Возможность печати деталей любого размера без ограничений  |
| <b>В</b> | Снижение стоимости производства при массовых сериях (>10 000 шт.)  |
| <b>С</b> | Создание сложных внутренних структур (охлаждающие каналы, решётчатые заполнения), недоступных для традиционных методов |
| <b>Д</b> | Полное исключение постобработки и контроля качества  |

№ 10 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Опишите архитектуру цифрового двойника газотурбинного двигателя на этапе эксплуатации. Какие данные должны поступать от физического объекта, как они обрабатываются и какие управленческие решения могут приниматься на основе анализа цифрового двойника?

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие из утверждений корректно описывают особенности применения жидкого водорода в качестве авиационного энергоносителя?

- **А.** Высокая объёмная плотность энергии по сравнению с авиационным керосином Т-1
- **Б.** Необходимость криогенного хранения при температуре около  $-253^{\circ}\text{C}$
- **В.** Возможность использования в качестве активного хладагента для охлаждения лопаток турбины и электромашин
- **Г.** Образование значительного количества  $\text{CO}_2$  при прямом сжигании в камере сгорания ГТД
- **Д.** Требование модификации топливной системы и баков из-за риска водородной проницаемости и охрупчивания конструкционных материалов

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие из перечисленных утверждений соответствуют реальному опыту внедрения аддитивного производства (3D-печати металлом) в двигателестроении?

- **А.** Экономическая целесообразность при массовом серийном выпуске ( $>10\,000$  шт.) по сравнению с традиционным литьём
- **Б.** Возможность изготовления деталей со сложными внутренними охлаждающими каналами, недоступными для механической обработки
- **В.** Обязательное проведение термообработки и неразрушающего контроля после печати для снятия остаточных напряжений и подтверждения качества
- **Г.** Снижение массы компонентов за счёт топологической оптимизации и использования внутренних решётчатых структур
- **Д.** Полное отсутствие необходимости в финишной обработке поверхностей перед установкой в двигатель