Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 25.06.2026 12:15:50
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

**Транспортный факультет**

**УТВЕРЖДАЮ**
И.о. декана
/М.Р. Рыбакова/
«26» февраля 2026 г

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

# КОНСТРУКЦИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Направление подготовки/ специальность
**13.03.03 «Энергетическое машиностроение»**

Профиль/ специализация
**Поршневые двигатели и турбомашины**

Квалификация
**Бакалавр**

Форма обучения
**Очная**

Москва, 2026

**Разработчик(и):**
к.т.н., доцент  /Д.В. Апелинский/

**Согласовано**:
Заведующий кафедрой «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики», д.т.н.  /Г.Г. Надарейшвили/

**Оглавление**

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине ..... 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы ..... 5
3. Структура и содержание дисциплины ..... 5
3.1. Виды учебной работы и трудоемкость ..... 5
3.2. Тематический план изучения дисциплины ..... 6
3.3. Содержание дисциплины ..... 7
3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий ..... 9
3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ) ..... 9
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение ..... 9
4.1. Нормативные документы и ГОСТы ..... 9
4.2. Основная литература ..... 10
4.3. Дополнительная литература ..... 10
4.4. Электронные образовательные ресурсы ..... 10
4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение ..... 10
4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 10
5. Материально-техническое обеспечение ..... 11
6. Методические рекомендации ..... 12
6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения ..... 12
6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины ..... 13
7. Фонд оценочных средств ..... 14
7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения ..... 14
7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения ..... 16
7.3 Оценочные средства ..... 18

## 1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

**Целью освоения дисциплины** является формирование у обучающихся системы теоретических знаний о конструкции, устройстве, принципах работы и компоновочных схемах газотурбинных двигателей (ГТД) транспортного и энергетического назначения различных типов, а также о функциональном назначении и взаимодействии их основных узлов и систем. Освоение дисциплины создаёт содержательную основу для формирования компетенции ПК-1, обеспечивая фундаментальные знания конструкции ГТД, необходимые для последующего выполнения параметрического 3D-моделирования и разработки конструкторской документации на компоненты турбомашин.

**Задачами дисциплины являются:**

- изучение классификации газотурбинных двигателей, областей их применения (авиация, судостроение, энергетика, наземный транспорт) и общих принципов организации рабочего процесса (цикл Брайтона);
- освоение конструктивных схем и компоновочных решений ГТД различного назначения (одновальные, двухвальные, трёхвальные);
- формирование знаний о назначении, устройстве, материалах и принципах работы входных устройств и компрессоров (осевых и центробежных);
- изучение конструкции камер сгорания ГТД (трубчатых, кольцевых, трубчато-кольцевых) и их элементов;
- приобретение знаний об устройстве и работе турбин (осевых и радиальных), включая конструкции лопаточных аппаратов, дисков и замковых соединений;
- изучение конструктивных особенностей систем ГТД (смазки, охлаждения, топливопитания, пуска и регулирования);
- формирование понимания тенденций развития конструкций ГТД, включая применение новых материалов (жаропрочные сплавы, монокристаллы, керамические композиты) и технологий (аддитивное производство);
- приобретение навыков анализа и сравнения различных конструктивных решений ГТД для обоснованного выбора прототипа при проектировании.

В результате освоения дисциплины у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
|---|---|
| **ПК-1.** Способен разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на поршневые двигатели, турбомашины и их компоненты с использованием современных CAD-систем | **ИПК-1.1.** Способен создавать параметрическую 3D-модель детали со всеми конструктивными элементами |
| | **ИПК-1.2.** Способен сформировывать сборочную единицу с заданными геометрическими сопряжениями |
| | **ИПК-1.3.** Способен генерировать ассоциативный чертёж общего вида из 3D-модели по стандартам ЕСКД |
| | **ИПК-1.4.** Способен оформлять сборочный чертёж узла двигателя с разрезами и спецификацией |
| | **ИПК-1.5.** Способен выпускать рабочие чертежи оригинальных деталей с полем допусков и шероховатостью |
| | **ИПК-1.6.** Способен формировать электронный архив КД (структуру изделия) |

**Роль дисциплины в формировании компетенций:**

**Обеспечивающая.** Дисциплина формирует фундаментальные знания о конструкции газотурбинных двигателей транспортного и энергетического назначения, их узлов и систем: компрессоров (осевых, центробежных), камер сгорания (трубчатых, кольцевых, трубчато-кольцевых), турбин (осевых, радиальных), систем смазки, охлаждения, топливопитания, пуска и регулирования. Студенты изучают конструктивные особенности лопаточных аппаратов, роторов, статоров, корпусных деталей, материалы и технологии изготовления. В ходе практических занятий на чертежах, схемах и 3D-моделях осваиваются конструктивные решения, что создаёт содержательную основу для последующего создания параметрических 3D-моделей лопаток, дисков, корпусов (ИПК-1.1, ИПК-1.2), выполнения сборочных чертежей и спецификаций узлов ГТД (ИПК-1.3, ИПК-1.4), оформления рабочих чертежей оригинальных деталей (ИПК-1.5, ИПК-1.6).

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина **«Конструкция газотурбинных двигателей транспортного и энергетического назначения»** относится к **части блока Б.1, формируемой участниками образовательных отношений** учебного плана (код дисциплины: Б1.2.3) и изучается в **4-м семестре**.

Данная дисциплина является **обеспечивающей для компетенции ПК-1** применительно к газотурбинным двигателям, формируя у обучающихся системные знания об устройстве и принципах работы ГТД различных типов, создавая основу для последующего изучения конструкторско-расчётных дисциплин и выполнения сквозного проекта.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении следующих дисциплин и курсов:

- **Физика** (школьный курс): понимание основных физических законов механики и термодинамики необходимо для понимания принципов работы ГТД.
- **Графическое проектирование деталей и механизмов энергетических машин** (Б1.1.9, 1-2 семестры): знание основ черчения и умение читать чертежи необходимо для понимания конструктивных форм деталей и узлов ГТД.
- **Теоретические основы поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.1.11, 1 семестр): обеспечивает понимание базовых терминов, принципов работы тепловых машин и классификации, создавая основу для изучения конструкции ГТД.
- **Термодинамика** (Б1.1.17, 3 семестр): знание термодинамических циклов (в частности, цикла Брайтона) необходимо для понимания принципов работы ГТД.

Основные положения дисциплины используются в дальнейшем при изучении следующих дисциплин и освоении элементов образовательной программы:

- **Теория лопаточных машин** (Б1.1.24, 6 семестр): знание конструкции лопаточных машин является основой для понимания их рабочего процесса.
- **Конструирование лопаточных машин** (Б1.2.13, 7 семестр): знание конструкции является основой для проектирования и расчёта лопаточных машин.
- **Агрегаты наддува** (Б1.2.7, 6 семестр): турбокомпрессор является разновидностью ГТД, и знание его конструкции необходимо для понимания работы систем наддува поршневых двигателей.
- **Методы испытаний поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.14, 7 семестр): знание конструкции ГТД необходимо для планирования и проведения их испытаний.
- **Диагностика и техническая эксплуатация поршневых двигателей и турбомашин** (Б1.2.18, 8 семестр): знание конструкции необходимо для анализа неисправностей и разработки методов диагностики ГТД.

Подготовка и защита выпускной квалификационной работы (при выполнении ВКР по тематике, связанной с газотурбинными двигателями).

## 3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **2 зачетные единицы (72 часа)**.

### 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестры |
|---|---|---|---|
| | | | 4 |
| 1 | Аудиторные занятия | 36 | 36 |
| | В том числе: | | |
| 1.1 | Лекции | 18 | 18 |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | 18 | 18 |
| 1.3 | Лабораторные занятия | — | — |
| 2 | Самостоятельная работа | 36 | 36 |
| 3 | Промежуточная аттестация | | |
| | Зачет/диф.зачет/экзамен | Зачет | Зачет |
| | **Итого** | **72** | **72** |

**3.2. Тематический план изучения дисциплины**

| | Название раздела / темы | Всего часов | Аудиторная работа | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Самостоятельная работа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Семестр 4** | **Конструкция газотурбинных двигателей** | | | | | | |
| 1 | Тема 1. Введение. Классификация и принцип действия ГТД | 8 | 6 | 2 | 4 | — | 4 |
| 2 | Тема 2. Конструкция компрессоров ГТД | 12 | 6 | 2 | 4 | — | 6 |

| | Название раздела / темы | Всего часов | Аудиторная работа | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Самостоятельная работа |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | Тема 3. Конструкция камер сгорания ГТД | 10 | 6 | 2 | 4 | — | 6 |
| 4 | Тема 4. Конструкция турбин ГТД | 12 | 6 | 4 | 2 | — | 6 |
| 5 | Тема 5. Конструкция систем ГТД (смазка, охлаждение, регулирование) | 10 | 4 | 2 | 2 | — | 6 |
| 6 | Тема 6. Материалы и технологии в ГТД | 8 | 4 | 2 | 2 | — | 4 |
| 7 | Тема 7. Особенности конструкции малоразмерных и наземных ГТД | 8 | 4 | 2 | 2 | — | 4 |
| | **Итого за 1 семестр** | **72** | **36** | **18** | **18** | **—** | **36** |

### 3.3. Содержание дисциплины

**Семестр 4. Конструкция газотурбинных двигателей**

**Тема 1. Введение. Классификация и принцип действия ГТД**

Роль ГТД в энергетике и на транспорте. Место дисциплины в сквозном проекте: формирование фундаментальных знаний о конструкции ГТД для выбора прототипа при проектировании турбокомпрессора или малоразмерного ГТД. Классификация ГТД: по назначению (авиационные, наземные, судовые), по конструктивной схеме (одновальные, двухвальные, трехвальные), по типу компрессора (осевые, центробежные, комбинированные), по типу турбины (осевые, радиальные). Принцип действия ГТД: термодинамический цикл (цикл Брайтона). Схема и основные элементы: входное устройство, компрессор, камера сгорания, турбина, выходное устройство. Основные параметры ГТД: тяга, мощность, удельный расход топлива, КПД, ресурс.

**Тема 2. Конструкция компрессоров ГТД**

Назначение и классификация компрессоров. Осевой компрессор: принцип действия, конструкция ступени (рабочее колесо с лопатками, направляющий аппарат). Конструкция ротора (барабанный, дисковый, барабанно-дисковый) и статора. Способы крепления лопаток. Центробежный компрессор: принцип действия, конструкция рабочего колеса (открытое, полузакрытое, закрытое), диффузора (безлопаточный, лопаточный), улитки (сборной камеры). Материалы компрессоров (титановые сплавы, алюминиевые сплавы, стали). Особенности конструкции многоступенчатых компрессоров. Системы антипомпажной защиты.

**Тема 3. Конструкция камер сгорания ГТД**

Назначение камер сгорания. Классификация: трубчатые (камерные), трубчато-кольцевые, кольцевые. Конструкция и принцип работы. Основные элементы: корпус, жаровые трубы, топливные форсунки (центробежные, двухконтурные, эжекционные), устройства стабилизации пламени. Системы охлаждения жаровых труб (конвективное, плёночное, пористое, транспирационное). Требования к камерам сгорания: полнота сгорания, устойчивость пламени, равномерность температурного поля, гидравлическое сопротивление. Материалы камер сгорания (жаропрочные сплавы, керамика).

**Тема 4. Конструкция турбин ГТД**

Назначение и классификация турбин. Осевая турбина: принцип действия, конструкция ступени (сопловой аппарат, рабочее колесо с лопатками). Конструкция ротора (дисковый, барабанный) и статора. Способы крепления лопаток (ёлочный, Т-образный, пальцевый). Охлаждение лопаток и дисков турбины (конвективное, плёночное, проникающее). Радиальная (центростремительная) турбина: принцип действия, конструкция, особенности, применение в малоразмерных ГТД и турбокомпрессорах. Материалы турбин (жаропрочные никелевые сплавы, керамика, композиционные материалы).

**Тема 5. Конструкция систем ГТД (смазка, охлаждение, регулирование)**

Система смазки ГТД: назначение, схема, основные элементы (масляный бак, масляный насос, масляный радиатор, фильтры). Особенности смазки подшипников ротора. Система охлаждения: охлаждение корпусов, опор, дисков турбины, лопаток. Система регулирования: автоматическое поддержание заданной частоты вращения, управление подачей топлива, защита от помпажа, ограничение температуры газа перед турбиной. Система пуска: стартер, системы зажигания. Топливная система: топливные насосы, форсунки, регуляторы расхода.

**Тема 6. Материалы и технологии в ГТД**

Требования к материалам для ГТД: жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость, выносливость. Жаропрочные никелевые и кобальтовые сплавы: состав, свойства, применение (лопатки турбин, сопловые аппараты). Титан и титановые сплавы: применение в компрессорах. Высокопрочные стали: применение в валах, корпусах, крепеже. Технологии изготовления деталей ГТД: точное литьё по выплавляемым моделям (лопатки, корпуса), штамповка, механическая обработка. Теплозащитные и упрочняющие покрытия.

**Тема 7. Особенности конструкции малоразмерных и наземных ГТД**

Малоразмерные ГТД для беспилотных летательных аппаратов, вспомогательных силовых установок, электрогенераторов. Особенности конструкции: центробежные компрессоры, радиальные турбины, кольцевые камеры сгорания. Наземные ГТД для газоперекачивающих станций, электростанций, приводов нагнетателей. Особенности конструкции: стационарные

корпуса, увеличенный ресурс, использование природного газа в качестве топлива. Сравнение с авиационными ГТД.

### 3.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

#### 3.4.1. Семинарские/практические занятия

| № п/п | № раздела дисциплины | Наименование практического занятия | Трудоемкость (час.) |
|---|---|---|---|
| 1 | Тема 1 | Анализ классификации ГТД. Сравнение различных конструктивных схем | 2 |
| 2 | Тема 2 | Изучение конструкции осевого компрессора (на разрезах, 3D-моделях) | 2 |
| 3 | Тема 2 | Изучение конструкции центробежного компрессора (на разрезах) | 2 |
| 4 | Тема 3 | Изучение конструкций камер сгорания различных типов | 2 |
| 5 | Тема 4 | Изучение конструкций осевых и радиальных турбин | 2 |
| 6 | Тема 4 | Изучение систем охлаждения лопаток турбины | 2 |
| 7 | Тема 5 | Анализ схем систем смазки, охлаждения и регулирования ГТД | 2 |
| 8 | Тема 7 | Сравнительный анализ малоразмерного и авиационного ГТД | 2 |
| | **Итого** | | **16** |

#### 3.4.2. Лабораторные занятия

Лабораторные занятия по дисциплине не предусмотрены.

### 3.5. Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены. Результаты освоения дисциплины используются при выборе прототипа и формировании технического задания для сквозного проекта (турбокомпрессора или малоразмерного ГТД) на последующих этапах обучения.

## 4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 4.1. Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 25.504-82 «Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта на прочность лопаток паровых и газовых турбин»
2. ГОСТ 25.506-85 «Расчёты и испытания на прочность. Методы расчёта и испытаний на вибропрочность»
3. ОСТ 1 02508-86 «Двигатели газотурбинные авиационные. Общие технические требования»
4. ГОСТ Р 51896-2002 «Установки газотурбинные. Общие технические условия»

### 4.2. Основная литература

1. **Григорьев, В. А.** Малоразмерные авиационные газотурбинные двигатели / В. А. Григорьев, В. С. Кузьмичев, В. А. Зрелов [и др.] ; под редакцией В. А. Григорьева, А. И. Ланшина. — Самара : Самарский университет, 2021. — 436 с. — ISBN 978-5-7883-1587-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/257072

2. **Иноземцев, А. А.** Газотурбинные двигатели / А. А. Иноземцев, М. А. Нихамкин, В. Л. Сандрацкий. — Пермь : Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2018. — 512 с. — ISBN 978-5-398-01834-9.

3. **Батурин, О. В.** Основные сведения о турбомашинах и их применении в современной технике : учебное пособие / О. В. Батурин, В. Н. Матвеев, Г. М. Попов. — Самара : Самарский университет, 2020. — 108 с. — ISBN 978-5-7883-1578-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/188956

### 4.3. Дополнительная литература

1. **Ланшин, А. И.** Конструкция и проектирование газотурбинных двигателей : учебное пособие / А. И. Ланшин, А. Б. Прокофьев. — Самара : Самарский университет, 2020. — 120 с.

2. **Прокофьев, А. Б.** Математические модели потоков в лопаточных машинах двигателей и агрегатов летательных аппаратов : учебное пособие / А. Б. Прокофьев, В. Н. Матвеев, О. В. Батурин [и др.]. — Самара : Самарский университет, 2021. — 200 с. — ISBN 978-5-7883-1659-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/256937

3. **Харитонов, В. И.** Конструкция и проектирование газотурбинных двигателей : учебное пособие / В. И. Харитонов. — Москва : Издательство МАИ, 2019. — 184 с.

*(Разделы 4.4–4.6 остаются без изменений, так как они соответствуют требованиям и корректно оформлены)*

### 4.4. Электронные образовательные ресурсы

Конструирование, динамика и прочность энергетических машин и установок
https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=9379

### 4.5. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

Для освоения дисциплины и выполнения учебных, научно-исследовательских и проектных работ в рамках образовательной программы рекомендуется использование следующего лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения.

Microsoft Windows – лицензионная операционная система, используемая для обеспечения работы всех учебных компьютеров и персональных устройств в аудиториях университета. Доступна на всех компьютерах университета в рамках лицензионного соглашения. Студенты могут использовать свободно распространяемые альтернативы (Linux, Astra Linux) для выполнения учебных задач.

Microsoft Office – лицензионный пакет офисных приложений, включающий текстовый редактор Word, табличный процессор Excel, программу для создания презентаций PowerPoint. Используется для оформления расчётно-пояснительных записок, отчётов, презентаций и другой учебной документации. Доступен на компьютерах университета. Свободными аналогами являются LibreOffice и OpenOffice.

КОМПАС-3D – российская система трёхмерного моделирования, широко используемая в отечественном машиностроении. Позволяет выполнять параметрическое моделирование, создавать чертежи в соответствии с ЕСКД, проводить прочностные расчёты в среде APM FEM. Учебная версия доступна для свободного скачивания на сайте разработчика (https://kompas.ru).

### 4.6. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Для успешного освоения образовательной программы и выполнения научно-исследовательских, проектных и выпускных квалификационных работ студентам рекомендуется использовать следующие современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы.

**Научная электронная библиотека** eLIBRARY.RU – крупнейшая российская электронная библиотека научных публикаций, интегрированная с Российским индексом научного цитирования (РИНЦ). Содержит полнотекстовые статьи из научных журналов по энергетическому машиностроению, двигателестроению и смежным отраслям. Позволяет отслеживать публикационную активность и находить актуальные исследования. Доступ открыт с любого компьютера через сеть Интернет по адресу: https://elibrary.ru.

**КиберЛенинка** – научная электронная библиотека открытого доступа. Содержит полнотекстовые научные статьи, в том числе по техническим наукам, энергетическому машиностроению и двигателестроению. Все материалы доступны бесплатно. Адрес ресурса: https://cyberleninka.ru.

**Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (**docs.cntd.ru**)** – бесплатная база нормативных документов, включающая ГОСТы, технические условия, строительные нормы и правила. Удобна для оперативного поиска актуальных стандартов, необходимых при проектировании и расчётах деталей и узлов двигателей. Адрес: https://docs.cntd.ru.

**Росстандарт (ФГУП «Стандартинформ»)** – официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Содержит информацию о действующих стандартах, технических регламентах и нормативных документах. Адрес: https://www.gost.ru.

**Научная библиотека Московского политехнического университета** – электронный каталог библиотеки университета, содержащий информацию о фондах учебной и научной литературы. Доступен с любого устройства, имеющего подключение к интернету. Адрес: https://lib.mospolytech.ru.

**«Известия вузов. Машиностроение»** – рецензируемый научный журнал открытого доступа, публикующий статьи по актуальным проблемам машиностроения, включая двигателестроение. Входит в перечень ВАК. Содержит исследования по рабочему процессу ДВС, динамике, прочности и другим направлениям. Адрес: https://izvuzmash.ru.

**Объединение сетевых электронных библиотек (СЭБ)** – некоммерческое партнёрство, объединяющее научную и учебную литературу вузов — участников проекта. Обеспечивает доступ к учебно-методическим материалам по техническим специальностям. Доступ осуществляется через портал ЭБС «Лань»: https://e.lanbook.com (авторизация по IP-адресам университета или через личный кабинет).

## 5. Материально-техническое обеспечение

Для успешного освоения дисциплины используется общий аудиторный фонд университета и специализированные аудитории, закреплённые за кафедрой, имеющие следующее материально-техническое обеспечение:

| ***Наименование специальных помещений*** | **Оснащённость специальных помещений** |
|---|---|
| Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-222 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13 | Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет. |
| Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-223 107023, г. | Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная |

| *Наименование специальных помещений* | **Оснащённость специальных помещений** |
|---|---|
| Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13 | электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет. |
| Компьютерный класс № Нд-224 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13 | Компьютеры и мебель для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет. |
| Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Нд-229 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13 | Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, переносной ноутбук. Возможность доступа в интернет. |
| Аудитория для лекционных, семинарских и практических занятий № Н-406 107023, г. Москва, ул. Б. Семёновская, д. 38, стр.13 | Комплект мебели для учебного процесса. Мультимедийное оборудование: интерактивная электронная доска, экран для проектора, переносной ноутбук, проектор. Возможность доступа в интернет. |

# 6. Методические рекомендации

## 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Эффективность освоения дисциплины определяется качеством организации учебного процесса, выбором адекватных форм и методов обучения. Преподавателю необходимо учитывать специфику дисциплины, уровень подготовленности обучающихся и современные образовательные технологии.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS). Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

**Перед началом преподавания преподавателю необходимо:**

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- чётко представлять, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- ознакомиться с видами учебной работы и содержанием разделов дисциплины.

**В ходе лекционного занятия преподаватель должен:**

- назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы;
- во вступительной части обосновать место и роль темы, раскрыть её практическое значение, увязать с предыдущим материалом;
- в основной части раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание на ключевых категориях, явлениях и процессах, аргументированно обосновывать собственную позицию, приводить примеры, задавать риторические вопросы;
- руководить конспектированием, подчёркивая необходимость фиксации основных положений;
- в заключительной части сформулировать выводы, объявить план следующего занятия, дать рекомендации по подготовке.

**При проведении практических (семинарских) занятий рекомендуется:**

- обеспечивать активное участие всех студентов, использовать индивидуальные выступления, групповые дискуссии, решение практических задач, разбор кейсов;

- контролировать степень усвоения материала, поощрять самостоятельный поиск информации.

**При проведении лабораторных занятий (при наличии) рекомендуется:**

- ознакомить студентов с правилами техники безопасности;
- обеспечить понимание цели и задач каждой работы;
- организовать защиту работ с оценкой понимания сущности изучаемых процессов.

**При организации самостоятельной работы студентов следует:**

- чётко формулировать задания, указывать сроки выполнения;
- обеспечивать необходимыми учебно-методическими материалами;
- осуществлять регулярный контроль выполнения.

**При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации рекомендуется:**

- использовать разнообразные формы контроля в соответствии с фондом оценочных средств;
- обеспечить объективность оценивания, руководствуясь установленными критериями;
- своевременно доводить результаты до студентов с указанием ошибок и рекомендаций.

**В целях повышения эффективности образовательного процесса рекомендуется использовать:**

- мультимедийные презентации для визуализации материала;
- интерактивные методы обучения (деловые игры, дискуссии, разбор кейсов);
- дистанционные образовательные технологии;
- материалы, размещённые в системе дистанционного обучения Московского Политеха (СДО-LMS).

### 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины осуществляется при контактной работе с преподавателем и в процессе самостоятельной работы. Эффективное освоение предполагает регулярное посещение всех видов аудиторных занятий, выполнение плана самостоятельной работы в полном объёме и прохождение аттестации в соответствии с календарным учебным графиком.

Студенту рекомендуется ознакомиться со списком основной и дополнительной литературы и взять в библиотеке необходимые издания. Доступ к информационным ресурсам организован в читальных залах библиотеки со стационарных ПЭВМ, либо с личного устройства через беспроводной доступ.

Изучение дисциплины должно сопровождаться интенсивной самостоятельной работой с рекомендованными источниками и материалами лекций. Начинать самостоятельные занятия следует с первого дня изучения дисциплины и проводить их регулярно.

Каждый студент должен самостоятельно планировать свою работу, исходя из возможностей и приоритетов. Для плодотворной работы важно организовать постоянное рабочее место, чередовать труд и отдых (перерывы каждые 1–2 часа).

Особое место уделяется консультированию как форме обучения и контроля. Консультирование предполагает взаимодействие между преподавателем и студентами, направленное на разрешение проблем.

**Для успешного освоения дисциплины рекомендуется:**

- систематически посещать лекции, вести конспект;
- готовиться к практическим занятиям заранее, изучая теорию и выполняя задания;
- при наличии лабораторных работ — выполнять их в соответствии с методическими указаниями, оформлять отчёты и готовиться к защите;
- своевременно выполнять задания для самостоятельной работы;
- активно участвовать в обсуждениях, задавать вопросы;
- использовать СДО-LMS для доступа к материалам и выполнения тестов;
- регулярно проверять свои знания с помощью вопросов для самопроверки.

**При подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации рекомендуется:**

- повторить теоретический материал по соответствующим разделам;
- выполнить практические задания, аналогичные разобранным на занятиях;

- ознакомиться с критериями оценивания;
- систематизировать материал, составить краткий план ответов;
- при необходимости посетить консультацию преподавателя.

Соблюдение данных рекомендаций позволит качественно освоить учебный материал и успешно пройти все формы контроля.

# 7. Фонд оценочных средств

## 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и/или выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации (зачета). Дисциплина «Конструкция газотурбинных двигателей транспортного и энергетического назначения» является обеспечивающей для компетенции ПК-1, формируя фундаментальные знания о конструкции, устройстве и принципах работы газотурбинных двигателей (ГТД), необходимые для выбора прототипа и формирования технического задания на первом этапе сквозного проектирования «Концептуальное проектирование».

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность следующих компетенций и индикаторов:

**ПК-1. Способен разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на поршневые двигатели, турбомашины и их компоненты с использованием современных CAD-систем**

Индикаторы достижения компетенции:

- **ИПК-1.1.** Способен создавать параметрическую 3D-модель детали со всеми конструктивными элементами.
- **ИПК-1.2.** Способен сформировывать сборочную единицу с заданными геометрическими сопряжениями.
- **ИПК-1.3.** Способен генерировать ассоциативный чертёж общего вида из 3D-модели по стандартам ЕСКД.
- **ИПК-1.4.** Способен оформлять сборочный чертёж узла двигателя с разрезами и спецификацией.
- **ИПК-1.5.** Способен выпускать рабочие чертежи оригинальных деталей с полем допусков и шероховатостью.
- **ИПК-1.6.** Способен формировать электронный архив КД (структуру изделия).

Дисциплина «Конструкция газотурбинных двигателей» формирует фундаментальные знания, необходимые для выполнения первого этапа сквозного проекта. В ходе изучения дисциплины студент осваивает классификацию и термодинамические циклы ГТД, конструктивные схемы и компоновку основных узлов (входные устройства, компрессоры, камеры сгорания, турбины, выходные устройства), особенности конструкции малоразмерных и наземных ГТД, а также материалы, применяемые в ГТД, и основные принципы обеспечения работоспособности. Эти знания являются основой для выбора прототипа и формирования технического задания при проектировании турбокомпрессора или малоразмерного ГТД на последующих этапах сквозного проекта.

В процессе изучения дисциплины используются следующие методы контроля.

**Текущее (рубежное) тестирование по модулям**

Проводится после завершения изучения каждого из двух модулей дисциплины. Тестирование осуществляется в письменной или компьютерной форме и включает вопросы закрытого и открытого типа, направленные на проверку знаний классификации ГТД, их конструктивных схем, устройства и принципов работы основных узлов (компрессоров, камер сгорания, турбин, систем), а также материалов, применяемых в ГТД. Результаты тестирования используются для оценки уровня освоения материала модуля и определения готовности студента к дальнейшему обучению. Проверяемые индикаторы: ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3, ИПК-1.4,

ИПК-1.5, ИПК-1.6 (формирование фундаментальных знаний о конструкции для последующей работы в CAD-системах и оформления КД).

**Устный опрос (собеседование)**

Проводится в ходе семинарских/практических занятий для проверки понимания студентом теоретического материала, способности аргументированно излагать принципы работы и конструктивные особенности ГТД, анализировать конструктивные схемы, сравнивать различные типы узлов и систем, обосновывать выбор материалов. Устный опрос может быть как индивидуальным, так и фронтальным, и направлен на выявление глубины усвоения материала, умения применять полученные знания для решения профессиональных задач. В рамках сквозного проекта устный опрос позволяет оценить способность студента анализировать конструктивные особенности различных типов ГТД и обосновывать выбор прототипа. Проверяемые индикаторы: ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3, ИПК-1.4, ИПК-1.5, ИПК-1.6.

**Семинарские/практические занятия**

В ходе выполнения практических заданий (анализ классификации ГТД, изучение конструкций компрессоров, камер сгорания, турбин, анализ схем систем, сравнительный анализ малоразмерных и авиационных ГТД) оценивается способность студента применять теоретические знания для решения конкретных профессиональных задач. Результаты выполнения практических заданий фиксируются в виде отчётов, которые защищаются студентом в устной форме. Практические занятия ориентированы на формирование навыков анализа и сравнения конструктивных решений, необходимых для обоснованного выбора прототипа в рамках сквозного проекта. Проверяемые индикаторы: ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3, ИПК-1.4, ИПК-1.5, ИПК-1.6.

**Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта**

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с выбором прототипа и формированием технического задания на проектирование турбокомпрессора или малоразмерного ГТД. Содержание индивидуального задания включает анализ существующих конструкций турбокомпрессоров (или малоразмерных ГТД), их технических характеристик, областей применения, а также обоснование выбора прототипа для дальнейшего проектирования. Результаты оформляются в виде пояснительной записки и презентации, которые защищаются перед преподавателем. Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта позволяет комплексно оценить сформированность индикаторов компетенции ПК-1 на этапе концептуального проектирования.

**Зачет**

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета по завершении изучения дисциплины. Зачет позволяет комплексно оценить знания, умения и навыки студента по всем разделам дисциплины. Зачет проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь материал дисциплины. В процессе собеседования студент должен продемонстрировать знание классификации ГТД, конструктивных схем, устройства и принципов работы основных узлов, а также материалов, применяемых в ГТД. Результаты зачета определяют итоговую оценку по дисциплине и отражают степень сформированности знаний, необходимых для выполнения первого этапа сквозного проекта «Концептуальное проектирование». Проверяемые индикаторы: ИПК-1.1, ИПК-1.2, ИПК-1.3, ИПК-1.4, ИПК-1.5, ИПК-1.6.

**Роль дисциплины в оценке результатов сквозного проекта**

Дисциплина «Конструкция газотурбинных двигателей» формирует фундаментальные знания, необходимые для выполнения первого этапа сквозного проекта — «Концептуальное проектирование». В рамках этого этапа студент должен выбрать прототип для своего сквозного проекта (например, турбокомпрессор или малоразмерный ГТД), проанализировать его конструктивные особенности, сформировать техническое задание на проектирование. Результаты освоения дисциплины оцениваются в ходе защиты индивидуального задания и отчета по первому этапу сквозного проекта. Оценка сформированности компетенций по дисциплине

учитывается при подведении итогов выполнения сквозного проекта в целом, так как знания о конструкции ГТД являются содержательной основой для последующего изучения теории лопаточных машин, конструирования и расчёта.

### 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

#### 7.2.1 Критерии оценки текущего (рубежного) тестирования по модулям

Текущее (рубежное) тестирование проводится после завершении изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно более 75% заданий теста (набрано более 15 баллов). Студент, получивший «зачтено», демонстрирует достаточное знание теоретического материала модуля, владеет основными понятиями и определениями, знает классификацию, конструктивные схемы и устройство основных узлов ГТД. Это свидетельствует о сформированности на пороговом уровне индикаторов ПК-1 в части знаний конструкции ГТД.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если выполнено верно менее 75% заданий теста (набрано 15 баллов и менее). Студент, получивший «не зачтено», не владеет основным материалом модуля, допускает грубые ошибки в классификации и устройстве ГТД, не знает конструктивных особенностей основных узлов. Студент обязан ликвидировать задолженность по модулю до прохождения следующего рубежного контроля.

#### 7.2.2 Критерии оценки устного опроса (собеседования)

Оценка «отлично» выставляется студенту, который глубоко и прочно усвоил материал, исчерпывающе и логически стройно его излагает. Студент демонстрирует полное знание классификации ГТД, термодинамических циклов, конструктивных схем, устройства и принципов работы всех основных узлов (компрессоров, камер сгорания, турбин, систем), а также материалов, применяемых в ГТД. Уверенно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы, свободно владеет профессиональной терминологией. В контексте сквозного проекта такой уровень подготовки позволяет студенту самостоятельно анализировать конструктивные особенности различных типов ГТД и обосновывать выбор прототипа.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей. Студент владеет основными понятиями и классификациями, знает устройство основных узлов ГТД, но может испытывать затруднения при ответе на уточняющие вопросы или при объяснении сложных конструктивных решений (например, систем охлаждения лопаток турбин или конструкций камер сгорания). В целом демонстрирует хорошее владение профессиональной терминологией.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей. Студент допускает неточности и ошибки в изложении, испытывает затруднения при описании конструктивных особенностей узлов ГТД, обладает фрагментарными знаниями. Ответы на дополнительные вопросы даются с трудом, требуют наводящих вопросов. Профессиональная терминология используется недостаточно уверенно.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части материала, допускает грубые ошибки в изложении, не может классифицировать ГТД, не знает устройства основных узлов. Отсутствует понимание принципов работы ГТД. Не способен ответить на дополнительные вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Студент не готов к выполнению индивидуального задания в рамках сквозного проекта.

#### 7.2.3 Критерии оценки практических занятий

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который выполнил практическое задание правильно, в установленные сроки. Студент продемонстрировал понимание методики выполнения задания, способность применять теоретические знания для анализа конструкций ГТД, сравнения различных типов узлов, обоснования выбора материалов. При защите студент аргументирует полученные результаты, отвечает на уточняющие вопросы, демонстрирует владение профессиональной терминологией. В рамках сквозного проекта успешное выполнение

практических заданий позволяет студенту сформировать навыки анализа конструкций, необходимые для выбора прототипа.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не выполнил практическое задание, выполнил его не в полном объеме, или выполнил с грубыми ошибками. Студент не понимает методику выполнения, не может объяснить полученные результаты, не отвечает на вопросы по существу задания, не владеет профессиональной терминологией. Студент обязан выполнить практическое задание повторно в установленные преподавателем сроки.

**7.2.4 Критерии оценки индивидуального задания в рамках сквозного проекта**

Оценка «отлично» выставляется студенту, который полностью выполнил индивидуальное задание в соответствии с требованиями. Студент демонстрирует глубокое понимание конструктивных особенностей ГТД, самостоятельно анализирует существующие конструкции турбокомпрессоров (или малоразмерных ГТД), их технические характеристики, области применения. Обоснование выбора прототипа выполнено полно, с учётом всех необходимых критериев. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями. При защите студент свободно владеет материалом, аргументированно отвечает на вопросы, демонстрирует понимание взаимосвязи между конструктивными особенностями и эксплуатационными характеристиками. Сформированность индикаторов ПК-1 в части знаний конструкции ГТД оценивается на продвинутом уровне.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание в полном объеме, но допускает отдельные неточности в анализе или неполноту в обосновании выбора. Студент демонстрирует понимание конструктивных особенностей ГТД, способен анализировать существующие конструкции, но может испытывать затруднения при обосновании выбора конкретного прототипа. Пояснительная записка оформлена в соответствии с требованиями, но содержит незначительные замечания. При защите студент в целом отвечает на вопросы, но может допускать неточности. Сформированность индикаторов оценивается на базовом уровне.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, который выполнил индивидуальное задание, но допустил существенные ошибки в анализе конструкций или не полностью обосновал выбор прототипа. Студент демонстрирует фрагментарные знания конструкции ГТД, испытывает значительные затруднения при анализе существующих конструкций. Пояснительная записка оформлена с нарушениями требований. При защите студент отвечает на вопросы неуверенно, требует наводящих вопросов. Сформированность индикаторов оценивается на пороговом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не выполнил индивидуальное задание, выполнил его не в полном объеме или допустил грубые ошибки. Студент не демонстрирует понимания конструктивных особенностей ГТД, не может анализировать существующие конструкции. Пояснительная записка отсутствует или оформлена с грубыми нарушениями. При защите студент не отвечает на вопросы, не владеет профессиональной терминологией. Сформированность индикаторов не достигла порогового уровня. Студент обязан выполнить индивидуальное задание повторно в установленные преподавателем сроки.

**7.2.5 Критерии оценки ответа на зачете**

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который в ходе собеседования демонстрирует достаточное знание программного материала по дисциплине. Студент ориентируется в классификации ГТД, знает конструктивные схемы и устройство основных узлов (компрессоров, камер сгорания, турбин, систем), понимает принципы их работы, знает материалы, применяемые в ГТД. Ответы на вопросы в целом правильные, но могут содержать незначительные неточности, не искажающие сути. Студент владеет профессиональной терминологией, способен применять полученные знания для решения практических задач (анализ конструкций, обоснование выбора материалов). Сформированность индикаторов ПК-1 оценивается на пороговом или базовом уровне, что позволяет студенту приступить к выполнению последующих этапов сквозного проекта.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который в ходе собеседования не может ответить на основные вопросы по дисциплине, допускает грубые ошибки в классификации ГТД, не знает устройства основных узлов, не понимает принципов их работы. Студент не владеет профессиональной терминологией, не способен применять полученные знания для решения практических задач. Сформированность индикаторов ПК-1 не достигла порогового уровня, что делает невозможным выполнение первого этапа сквозного проекта.

**7.2.6 Соответствие методов контроля проверяемым индикаторам компетенций**

В процессе изучения дисциплины оценивается сформированность знаний и навыков, необходимых для освоения индикаторов компетенции ПК-1. Дисциплина является обеспечивающей для указанной компетенции, формируя фундаментальные знания о конструкции ГТД.

**ИПК-1.1. Способен создавать параметрическую 3D-модель детали со всеми конструктивными элементами.** Формируется через изучение конструктивных форм и особенностей деталей ГТД (лопатки компрессора и турбины, рабочие колеса, корпуса, камеры сгорания). Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

**ИПК-1.2. Способен сформировывать сборочную единицу с заданными геометрическими сопряжениями.** Формируется через изучение конструктивных схем ГТД, взаимного расположения узлов, типов соединений (замковые соединения лопаток, фланцевые соединения корпусов, подшипниковые узлы). Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

**ИПК-1.3. Способен генерировать ассоциативный чертёж общего вида из 3D-модели по стандартам ЕСКД.** Формируется через изучение правил оформления чертежей узлов ГТД, выбор необходимых видов, разрезов, сечений для отображения внутреннего устройства. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

**ИПК-1.4. Способен оформлять сборочный чертёж узла двигателя с разрезами и спецификацией.** Формируется через изучение состава сборочных единиц ГТД, правил оформления сборочных чертежей и спецификаций. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

**ИПК-1.5. Способен выпускать рабочие чертежи оригинальных деталей с полем допусков и шероховатостью.** Формируется через изучение конструктивных форм деталей ГТД, правил нанесения размеров, допусков, обозначения шероховатости. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

**ИПК-1.6. Способен формировать электронный архив КД (структуру изделия).** Формируется через понимание иерархической структуры ГТД, взаимосвязи деталей, узлов и агрегатов. Проверяется методами: текущее тестирование, устный опрос, практические занятия, индивидуальное задание, зачет.

Оценка сформированности знаний осуществляется комплексно с использованием всех методов контроля. Результаты текущего и итогового тестирования, устных опросов, выполнения практических заданий, защиты индивидуального задания в рамках сквозного проекта, а также зачета учитываются при формировании итоговой оценки по дисциплине и оценке выполнения первого этапа сквозного проекта. Дисциплина «Конструкция газотурбинных двигателей» закладывает содержательную основу для последующего формирования компетенций на этапах 3D-моделирования и конструирования, обеспечивая студента глубокими знаниями конструкции ГТД, необходимыми для выбора прототипа и разработки технического задания.

## 7.3 Оценочные средства

### 7.3.1 Текущий контроль

#### 7.3.1.1 Модульная структура дисциплины

Дисциплина изучается в 4-м семестре. Семестр делится на два равных модуля (периода), каждый из которых включает определенные темы.

**Модуль 1 (недели 1–8) — Общие сведения и конструкция компрессоров и камер сгорания ГТД**

Включает темы: Тема 1. Введение. Классификация и принцип действия ГТД; Тема 2. Конструкция компрессоров ГТД; Тема 3. Конструкция камер сгорания ГТД.

**Модуль 2 (недели 9–16) — Конструкция турбин, систем и особенности малоразмерных ГТД**

Включает темы: Тема 4. Конструкция турбин ГТД; Тема 5. Конструкция систем ГТД (смазка, охлаждение, регулирование); Тема 6. Материалы и технологии в ГТД; Тема 7. Особенности конструкции малоразмерных и наземных ГТД.

**7.3.1.2 Рубежный контроль по модулям (устный опрос/собеседование)**

**7.3.1.2.1 Модуль 1. Общие сведения и конструкция компрессоров и камер сгорания ГТД**

**Перечень вопросов для собеседования:**

1. Роль ГТД в энергетике и на транспорте. Место дисциплины в сквозном проекте: формирование фундаментальных знаний о конструкции ГТД для выбора прототипа при проектировании турбокомпрессора или малоразмерного ГТД.
2. Классификация ГТД: по назначению (авиационные, наземные, судовые), по конструктивной схеме (одновальные, двухвальные, трехвальные), по типу компрессора (осевые, центробежные, комбинированные), по типу турбины (осевые, радиальные).
3. Принцип действия ГТД: термодинамический цикл (цикл Брайтона). Схема и основные элементы: входное устройство, компрессор, камера сгорания, турбина, выходное устройство. Основные параметры ГТД: тяга, мощность, удельный расход топлива, КПД, ресурс.
4. Назначение и классификация компрессоров ГТД. Принцип действия осевого компрессора. Конструкция ступени осевого компрессора (рабочее колесо с лопатками, направляющий аппарат).
5. Конструкция ротора осевого компрессора (барабанный, дисковый, барабанно-дисковый) и статора. Способы крепления лопаток.
6. Принцип действия центробежного компрессора. Конструкция рабочего колеса (открытое, полузакрытое, закрытое), диффузора (безлопаточный, лопаточный), улитки (сборной камеры).
7. Материалы компрессоров (титановые сплавы, алюминиевые сплавы, стали). Особенности конструкции многоступенчатых компрессоров. Системы антипомпажной защиты.
8. Назначение камер сгорания ГТД. Классификация: трубчатые (камерные), трубчато-кольцевые, кольцевые. Конструкция и принцип работы.
9. Основные элементы камер сгорания: корпус, жаровые трубы, топливные форсунки (центробежные, двухконтурные, эжекционные), устройства стабилизации пламени.
10. Системы охлаждения жаровых труб (конвективное, плёночное, пористое, транспирационное). Требования к камерам сгорания: полнота сгорания, устойчивость пламени, равномерность температурного поля, гидравлическое сопротивление. Материалы камер сгорания (жаропрочные сплавы, керамика).

**7.3.1.2.2 Модуль 2. Конструкция турбин, систем и особенности малоразмерных ГТД**

**Перечень вопросов для собеседования:**

1. Назначение и классификация турбин ГТД. Принцип действия осевой турбины. Конструкция ступени осевой турбины (сопловой аппарат, рабочее колесо с лопатками).
2. Конструкция ротора осевой турбины (дисковый, барабанный) и статора. Способы крепления лопаток (ёлочный, Т-образный, пальцевый).
3. Охлаждение лопаток и дисков турбины (конвективное, плёночное, проникающее). Принцип работы радиальной (центростремительной) турбины, её конструкция и особенности применения в малоразмерных ГТД и турбокомпрессорах.
4. Материалы турбин (жаропрочные никелевые сплавы, керамика, композиционные материалы).

5. Назначение и принципиальная схема системы смазки ГТД. Основные элементы (масляный бак, масляный насос, масляный радиатор, фильтры). Особенности смазки подшипников ротора.

6. Система охлаждения ГТД: охлаждение корпусов, опор, дисков турбины, лопаток. Система регулирования: автоматическое поддержание заданной частоты вращения, управление подачей топлива, защита от помпажа, ограничение температуры газа перед турбиной.

7. Система пуска ГТД: стартер, системы зажигания. Топливная система: топливные насосы, форсунки, регуляторы расхода.

8. Требования к материалам для ГТД: жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость, выносливость. Жаропрочные никелевые и кобальтовые сплавы: состав, свойства, применение (лопатки турбин, сопловые аппараты).

9. Титан и титановые сплавы: применение в компрессорах. Высокопрочные стали: применение в валах, корпусах, крепеже. Технологии изготовления деталей ГТД: точное литьё по выплавляемым моделям (лопатки, корпуса), штамповка, механическая обработка. Теплозащитные и упрочняющие покрытия.

10. Особенности конструкции малоразмерных ГТД для беспилотных летательных аппаратов, вспомогательных силовых установок, электрогенераторов. Особенности конструкции наземных ГТД для газоперекачивающих станций, электростанций, приводов нагнетателей. Сравнение с авиационными ГТД.

**7.3.1.3 Рубежный контроль по модулям (тестирование)**

Тестирование проводится после завершения изучения каждого модуля. Тест состоит из 20 заданий различного типа (выбор правильного ответа, установление соответствия, краткий ответ). Каждое верно выполненное задание оценивается в 1 балл. Максимальное количество баллов за тест — 20. Оценка «зачтено» выставляется при выполнении верно более 75% заданий (более 15 баллов).

**Пример тестовых заданий (один вариант)**

1. **Какой тип компрессора используется в малоразмерных ГТД и турбокомпрессорах наиболее часто?**

2. A) Осевой компрессор

3. B) Центробежный компрессор

4. C) Диагональный компрессор

5. D) Пластинчатый компрессор

*Правильный ответ: B*

2. **Какой тип камеры сгорания имеет наименьшую длину и наиболее равномерное температурное поле на выходе?**

3. A) Трубчатая (камерная)

4. B) Трубчато-кольцевая

5. C) Кольцевая

6. D) Все типы имеют одинаковые характеристики

*Правильный ответ: C*

3. **Какой способ крепления лопаток в диске турбины обеспечивает наименьшую концентрацию напряжений?**

4. A) Т-образный замок

5. B) Пальцевый замок

6. C) Ёлочный замок

7. D) Сварка

*Правильный ответ: C*

4. **Какой материал преимущественно используется для лопаток турбин высокого давления?**

5. A) Титан и титановые сплавы

6. B) Алюминиевые сплавы

7. C) Жаропрочные никелевые сплавы

8. D) Конструкционные стали

*Правильный ответ: C*

5. **Какое устройство в турбокомпрессоре предназначено для регулирования давления наддува путём перепуска отработавших газов мимо турбины?**

6. A) Blow-off клапан

7. B) Wastegate

8. C) Интеркулер

9. D) Редукционный клапан

*Правильный ответ: B*

**7.3.1.4 Оценочные средства для индивидуального задания в рамках сквозного проекта**

Индивидуальное задание в рамках сквозного проекта является одним из ключевых методов контроля, позволяющим оценить способность студента применять полученные теоретические знания для решения комплексной профессиональной задачи. Задание выполняется студентом самостоятельно в течение семестра и представляет собой разработку раздела сквозного проекта, связанного с выбором прототипа и формированием технического задания на проектирование турбокомпрессора или малоразмерного ГТД.

**Содержание индивидуального задания:**

Индивидуальное задание включает в себя выполнение следующих этапов:

1. **Выбор объекта проектирования.** Студент выбирает объект для дальнейшего проектирования в рамках сквозного проекта: центробежный компрессор для турбокомпрессора поршневого двигателя или малоразмерный газотурбинный двигатель (для БПЛА, вспомогательной силовой установки и т.п.). Выбор обосновывается с учётом современных тенденций развития двигателестроения и актуальности темы.

2. **Анализ существующих конструкций-прототипов.** На основе изучения научно-технической литературы, патентной документации, каталогов производителей студент проводит анализ существующих конструкций, аналогичных выбранному объекту проектирования. Анализируются конструктивные схемы, основные узлы (компрессор, турбина, камера сгорания, системы), применяемые материалы, технические характеристики (расход воздуха, степень повышения давления, частота вращения, мощность, КПД, массогабаритные показатели).

3. **Формирование технического задания.** На основе анализа существующих конструкций и требований к проектируемому изделию студент формулирует техническое задание (ТЗ) на проектирование. ТЗ должно содержать: назначение и область применения изделия; технические требования (основные параметры, требования к надёжности, ресурсу, массогабаритным показателям, условиям эксплуатации); требования к конструктивной преемственности и унификации; требования к технологичности; требования к безопасности и экологичности; стадии разработки и состав конструкторской документации.

4. **Подготовка отчёта.** Выполняется пояснительная записка, в которой описываются результаты анализа существующих конструкций, обосновывается выбор прототипа и формулируется техническое задание. В пояснительной записке приводятся схемы конструкций-аналогов, таблицы сравнения технических характеристик, обоснование выбора основных параметров проектируемого изделия.

**Требования к оформлению:**

Индивидуальное задание выполняется в форме пояснительной записки объемом 10–15 страниц, включающей:

- титульный лист с указанием темы задания, ФИО студента, группы, руководителя;
- содержание;
- введение с обоснованием актуальности выбранного направления;
- основную часть, содержащую анализ существующих конструкций-прототипов, обоснование выбора прототипа, формулировку технического задания;
- заключение с выводами по результатам выполненной работы;
- список использованных источников (включая научно-техническую литературу, патентные документы, нормативную документацию, каталоги производителей).

**Примерные темы индивидуальных заданий:**

1. Анализ конструкций и выбор прототипа центробежного компрессора для турбокомпрессора дизельного двигателя мощностью 150 кВт.

2. Анализ конструкций и выбор прототипа турбокомпрессора для бензинового двигателя с рабочим объёмом 2,0 л.

3. Анализ конструкций и выбор прототипа малоразмерного газотурбинного двигателя для беспилотного летательного аппарата.

4. Анализ конструкций и выбор прототипа вспомогательной силовой установки (ВСУ) для авиационного применения.

5. Анализ конструкций и выбор прототипа газотурбинного двигателя для газоперекачивающего агрегата.

6. Анализ конструкций и выбор прототипа радиальной турбины для турбокомпрессора.

7. Анализ конструкций и выбор прототипа кольцевой камеры сгорания для малоразмерного ГТД.

8. Сравнительный анализ конструкций осевых и центробежных компрессоров для авиационных ГТД.

**7.3.1.5 Оценочные средства для семинарских/практических занятий**

**Типовые задания для семинарских/практических занятий**

**Модуль 1. Общие сведения и конструкция компрессоров и камер сгорания ГТД**

**Задание 1. Анализ классификации ГТД. Сравнение различных конструктивных схем**

По заданным параметрам (назначение, требуемая мощность/тяга, условия эксплуатации) определить наиболее подходящую конструктивную схему ГТД (одновальная, двухвальная, трехвальная). Обосновать выбор. Привести примеры реальных двигателей соответствующей схемы.

**Задание 2. Изучение конструкции осевого компрессора (на разрезах, 3D-моделях)**

По предоставленным разрезам или 3D-моделям осевого компрессора определить тип ротора (барабанный, дисковый, барабанно-дисковый), количество ступеней, способ крепления лопаток. Выявить конструктивные особенности, направленные на повышение КПД и устойчивости работы.

**Задание 3. Изучение конструкции центробежного компрессора (на разрезах)**

По предоставленным разрезам или 3D-моделям центробежного компрессора определить тип рабочего колеса (открытое, полузакрытое, закрытое), тип диффузора (безлопаточный, лопаточный). Проанализировать конструкцию улитки. Определить применяемые материалы.

**Задание 4. Изучение конструкций камер сгорания различных типов**

По предоставленным разрезам или 3D-моделям камер сгорания определить тип камеры (трубчатая, трубчато-кольцевая, кольцевая). Идентифицировать основные элементы: корпус, жаровые трубы, форсунки. Проанализировать систему охлаждения жаровых труб. Обосновать преимущества и недостатки каждого типа.

**Модуль 2. Конструкция турбин, систем и особенности малоразмерных ГТД**

**Задание 5. Изучение конструкций осевых и радиальных турбин**

По предоставленным разрезам или 3D-моделям осевой и радиальной турбин сравнить их конструкцию. Определить способ крепления лопаток (для осевой турбины). Проанализировать систему охлаждения лопаток и дисков. Обосновать области применения каждого типа турбин.

**Задание 6. Изучение систем охлаждения лопаток турбины**

По предоставленным схемам и 3D-моделям лопаток турбины проанализировать различные типы охлаждения (конвективное, плёночное, проникающее). Определить, для каких температур газа перед турбиной применяется каждый тип охлаждения. Объяснить конструктивные особенности каналов охлаждения.

**Задание 7. Анализ схем систем смазки, охлаждения и регулирования ГТД**

По принципиальным схемам систем смазки, охлаждения и регулирования ГТД проанализировать их состав, назначение основных элементов, принципы работы. Выявить особенности, обеспечивающие надёжную работу при высоких температурах и частотах вращения.

**Задание 8. Сравнительный анализ малоразмерного и авиационного ГТД**

По предоставленным техническим характеристикам и описаниям конструкций малоразмерного и авиационного ГТД провести сравнительный анализ. Определить конструктивные особенности, обусловленные различиями в назначении, условиях эксплуатации, требованиях к ресурсу и массогабаритным показателям. Обосновать выбор материалов для каждого типа двигателя.

**7.3.1.6 Оценочные средства для курсовой работы (проекта)**

Курсовой проект (курсовая работа) по дисциплине не предусмотрены учебным планом. Результаты освоения дисциплины (анализ конструкций, выбор прототипа, формирование технического задания) используются при выполнении последующих курсовых проектов по дисциплинам «Теория лопаточных машин», «Агрегаты наддува» и «Конструирование лопаточных машин», а также в выпускной квалификационной работе.

**7.3.2 Промежуточная аттестация (зачет)**

**7.3.2.1 Условия допуска к зачету**

Студент допускается к сдаче зачета при выполнении следующих условий:

- Успешное прохождение всех двух рубежных контролей (устных опросов по модулям) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Выполнение и защита всех семинарских/практических занятий, предусмотренных учебным планом (не менее 80% заданий выполнены и защищены).
- Выполнение и защита индивидуального задания в рамках сквозного проекта (анализ конструкций-прототипов и формирование технического задания) с оценкой не ниже «удовлетворительно».
- Отсутствие академической задолженности по дисциплине.

**7.3.2.2 Структура билета на зачете**

Зачет проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим весь материал дисциплины. В процессе собеседования студенту может быть предложено выполнить практическое задание (анализ конструктивной схемы, идентификация узлов, обоснование выбора материалов).

Структура собеседования:

- **Теоретический вопрос 1:** из области классификации ГТД, конструктивных схем, устройства компрессоров и камер сгорания.
- **Теоретический вопрос 2:** из области устройства турбин, систем ГТД, материалов и технологий, особенностей малоразмерных и наземных ГТД.
- **Практическое задание:** анализ конструктивной схемы ГТД (по рисунку или 3D-модели), идентификация основных узлов, определение типа компрессора, камеры сгорания, турбины, обоснование выбора материалов.

**7.3.2.3 Перечень вопросов для подготовки к зачету**

**Модуль 1. Общие сведения и конструкция компрессоров и камер сгорания ГТД**

1. Роль ГТД в энергетике и на транспорте. Место дисциплины в сквозном проекте.
2. Классификация ГТД: по назначению, по конструктивной схеме, по типу компрессора, по типу турбины.
3. Принцип действия ГТД: термодинамический цикл Брайтона. Схема и основные элементы ГТД. Основные параметры ГТД.
4. Назначение и классификация компрессоров ГТД. Принцип действия осевого компрессора.
5. Конструкция ступени осевого компрессора (рабочее колесо с лопатками, направляющий аппарат).
6. Конструкция ротора осевого компрессора (барабанный, дисковый, барабанно-дисковый) и статора. Способы крепления лопаток.
7. Принцип действия центробежного компрессора. Конструкция рабочего колеса (открытое, полузакрытое, закрытое).
8. Конструкция диффузора (безлопаточный, лопаточный) и улитки центробежного компрессора.

9. Материалы компрессоров. Особенности конструкции многоступенчатых компрессоров. Системы антипомпажной защиты.

10. Назначение камер сгорания ГТД. Классификация: трубчатые, трубчато-кольцевые, кольцевые.

11. Конструкция и принцип работы камер сгорания различных типов.

12. Основные элементы камер сгорания: корпус, жаровые трубы, топливные форсунки, устройства стабилизации пламени.

13. Системы охлаждения жаровых труб (конвективное, плёночное, пористое, транспирационное). Требования к камерам сгорания.

14. Материалы камер сгорания (жаропрочные сплавы, керамика).

**Модуль 2. Конструкция турбин, систем и особенности малоразмерных ГТД**

15. Назначение и классификация турбин ГТД. Принцип действия осевой турбины.

16. Конструкция ступени осевой турбины (сопловой аппарат, рабочее колесо с лопатками).

17. Конструкция ротора осевой турбины (дисковый, барабанный) и статора. Способы крепления лопаток (ёлочный, Т-образный, пальцевый).

18. Охлаждение лопаток и дисков турбины (конвективное, плёночное, проникающее).

19. Принцип действия радиальной (центростремительной) турбины, её конструкция и особенности применения.

20. Материалы турбин (жаропрочные никелевые сплавы, керамика, композиционные материалы).

21. Назначение и принципиальная схема системы смазки ГТД. Основные элементы. Особенности смазки подшипников ротора.

22. Система охлаждения ГТД. Система регулирования: автоматическое поддержание заданной частоты вращения, управление подачей топлива, защита от помпажа.

23. Система пуска ГТД. Топливная система: топливные насосы, форсунки, регуляторы расхода.

24. Требования к материалам для ГТД: жаропрочность, жаростойкость, коррозионная стойкость, выносливость.

25. Жаропрочные никелевые и кобальтовые сплавы: состав, свойства, применение.

26. Титан и титановые сплавы: применение в компрессорах. Высокопрочные стали: применение в валах, корпусах, крепеже.

27. Технологии изготовления деталей ГТД: точное литьё по выплавляемым моделям, штамповка, механическая обработка. Теплозащитные и упрочняющие покрытия.

28. Особенности конструкции малоразмерных ГТД для беспилотных летательных аппаратов, вспомогательных силовых установок, электрогенераторов.

29. Особенности конструкции наземных ГТД для газоперекачивающих станций, электростанций, приводов нагнетателей.

30. Сравнение авиационных, малоразмерных и наземных ГТД по конструктивным особенностям, материалам, требованиям к ресурсу и надёжности.

**7.3.2.4 Примеры практических заданий для зачета**

**Пример 1. Анализ конструктивной схемы ГТД**

По представленному рисунку или 3D-модели ГТД определить:

- тип двигателя (одновальный, двухвальный, трехвальный);
- тип компрессора (осевой, центробежный, комбинированный), количество ступеней;
- тип камеры сгорания (трубчатая, трубчато-кольцевая, кольцевая);
- тип турбины (осевая, радиальная), количество ступеней.
- Обосновать свой ответ, указав характерные конструктивные признаки.

**Пример 2. Идентификация узлов ГТД**

По представленному разрезу ГТД идентифицировать и назвать следующие элементы:

- входное устройство;
- рабочее колесо компрессора;

- направляющий аппарат компрессора;
- жаровую трубу камеры сгорания;
- топливную форсунку;
- сопловой аппарат турбины;
- рабочее колесо турбины;
- выходное устройство (сопло).
- Указать назначение каждого элемента.

**Пример 3. Обоснование выбора материалов**

Для заданного элемента ГТД (лопатка турбины высокого давления, рабочее колесо центробежного компрессора, корпус камеры сгорания, вал ротора) обосновать выбор материала. Указать:

- условия работы элемента (температура, характер нагружения, агрессивность среды);
- требования к материалу;
- рекомендуемый материал (марка сплава) и его основные свойства;
- способ получения заготовки и вид упрочняющей обработки.

**Пример 4. Сравнительный анализ систем охлаждения**

По представленным схемам охлаждения лопаток турбины (конвективное, плёночное, проникающее) проанализировать их конструктивные особенности. Объяснить, для каких температур газа перед турбиной применяется каждый тип охлаждения. Указать преимущества и недостатки каждого способа.

**Пример 5. Анализ системы регулирования турбокомпрессора**

По представленной схеме системы регулирования турбокомпрессора (с wastegate или VGT) объяснить принцип работы. Указать назначение основных элементов: перепускной клапан, пневмопривод, электромагнитный клапан управления, датчик давления наддува. Объяснить, как изменяется давление наддува при различных режимах работы двигателя.