

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ САД/САЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**  
**ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБОМАШИН**


|  |  |
|--|--|
| <b>Блок:</b>   | Блок 1 «Дисциплины (модули)»                             |
| <b>Часть образовательной программы:</b>                | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| <b>№ дисциплины по учебному плану:</b>                 | Б1.Ч.02  |
| <b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>               | 5 семестр - 2;   |
| <b>Часов (всего) по учебному плану:</b>                | 72 часа  |
| <b>Лекции</b>  | 5 семестр - 16 часов;                                    |
| <b>Практические занятия</b>                            | не предусмотрено учебным планом                          |
| <b>Лабораторные работы</b>                             | 5 семестр - 16 часов;                                    |
| <b>Консультации</b>                                    | проводится в рамках часов аудиторных занятий             |
| <b>Самостоятельная работа</b>                          | 5 семестр - 39,7 часа;                                   |
| <b>в том числе на КП/КР</b>                            | не предусмотрено учебным планом                          |
| <b>Иная контактная работа</b>                          | проводится в рамках часов аудиторных занятий             |
| <b>включая:</b><br>Тестирование<br>Лабораторная работа |  |
| <b>Промежуточная аттестация:</b>                       |  |
| <b>Зачет с оценкой</b>                                 | 5 семестр - 0,3 часа;                                    |

**Москва 2023**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

**Преподаватель**

(должность)

|   |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                                |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                                |
|   | Владелец  | Тищенко В.А.                   |
|   | Идентификатор   | R4ea77783-TishchenkoVA-c16aae6 |

(подпись)

**В.А. Тищенко**

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель образовательной программы**

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                                |
|---|---|--------------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                                |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                                |
|   | Владелец  | Митрохова О.М.                 |
|   | Идентификатор   | R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867 |

(подпись)

**О.М.**

**Митрохова**

(расшифровка подписи)

**Заведующий выпускающей кафедры**

(должность, ученая степень, ученое звание)

|   |   |                             |
|---|---|-----------------------------|
|  | <b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b> |                             |
|   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                              |                             |
|   | Владелец  | Грибин В.Г.                 |
|   | Идентификатор   | R44612ca0-GribinVG-8231e2ff |

(подпись)

**В.Г. Грибин**

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение основ применения современных компьютерных методов проектирования и инженерного анализа, применяемых для проектирования элементов конструкций турбомашин

### Задачи дисциплины

- получить представление об основных инструментах, применяемых в трехмерных САПР;
- овладеть навыками проведения газодинамических расчетов для элементов проточных частей турбомашин;
- подробно изучить с помощью методов численного моделирования базовые газодинамические явления, протекающие в каналах различной геометрии.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции   | Код и наименование индикатора достижения компетенции  | Запланированные результаты обучения   |
|--|---|---|
| ПК-1 Способен участвовать в проектно-конструкторской деятельности в сфере энергетического машиностроения | ИД-4 <sub>ПК-1</sub> Разрабатывает конструкцию отдельных элементов объектов профессиональной деятельности | знать:<br>- перечень и назначение современных инструментов, применяемых при проектировании элементов турбомашин;<br>- назначение основных этапов, необходимых для проведения численного газодинамического расчета.<br><br>уметь:<br>- создавать твердотельные модели и их сборки в современных трехмерных САПР;<br>- проводить численный расчет и анализ течений в каналах различной геометрии. |

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации                 | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   | Содержание самостоятельной работы/ методические указания  |  |
|-------|--|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|---|--|
|       |  |                       |         | Контактная работа  |     |    |              |   |     |    | СР |                   |                                   |   |  |
|       |  |                       |         | Лек  | Лаб | Пр | Консультация |   | ИКР |    | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль |   |  |
| КПР   | ГК   | ИККП                  | ТК      |  |     |    |              |   |     |    |    |                   |                                   |   |  |
| 1     | 2  | 3                     | 4       | 5  | 6   | 7  | 8            | 9 | 10  | 11 | 12 | 13                | 14                                | 15  |  |
| 1     | CAD/CAE пакеты. Описание, назначение, структура                        | 6                     | 5       | 2  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 4                 | -                                 | <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b><br/>самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД)<br/><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Подготовка к тестированию<br/><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[3], 24-62</p> |  |
| 1.1   | CAD/CAE пакеты. Описание, назначение, структура                        | 6                     |         | 2  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | 4                 | -                                 |   |  |
| 2     | Современные трехмерные САПР. Основы машиностроительного проектирования | 22                    |         | 4  | 8   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 10                                | -   | <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b><br/>Подготовка к лабораторной работе 1<br/>Подготовка к лабораторной работе 2<br/><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b><br/>самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД)<br/><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[2], стр. 147-167</p> |
| 2.1   | Современные трехмерные САПР. Основы машиностроительного проектирования | 22                    |         | 4  | 8   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 10                                | -   |  |
| 3     | Основы вычислительной гидрогазодинамики                                | 12                    |         | 4  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 8                                 | -   | <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b><br/>Подготовка к тестированию<br/><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b><br/>самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД)<br/><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br/>[1], стр. 45-72</p>   |
| 3.1   | Основы вычислительной гидрогазодинамики                                | 12                    |         | 4  | -   | -  | -            | - | -   | -  | -  | -                 | 8                                 | -   |  |

|     |   |             |           |           |          |          |          |          |          |            |             |          |   |   |
|-----|---|-------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------------|----------|---|---|
|     |   |             |           |           |          |          |          |          |          |            |             |          |   | [4], 106-121<br>[6], 72-87  |
| 4   | Численное моделирование течений в каналах различной геометрии | 31.7        | 6         | 8         | -        | -        | -        | -        | -        | -          | 17.7        | -        | - | <b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b><br>Подготовка к лабораторной работе 3<br>Подготовка к лабораторной работе 4             |
| 4.1 | Численное моделирование течений в каналах различной геометрии | 31.7        | 6         | 8         | -        | -        | -        | -        | -        | -          | 17.7        | -        | - | <b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b><br>самостоятельное изучение литературы (см. Методические указания РПД) |
|     | Зачет с оценкой   | 0.3         | -         | -         | -        | -        | -        | -        | -        | 0.3        | -           | -        | - | <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b><br>[1], стр. 228-313<br>[5], 303-341   |
|     | <b>Всего за семестр</b>                                       | <b>72.0</b> | <b>16</b> | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>0.3</b> | <b>39.7</b> | <b>-</b> |   |   |
|     | <b>Итого за семестр</b>                                       | <b>72.0</b> | <b>16</b> | <b>16</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>-</b> | <b>0.3</b> | <b>39.7</b> | <b>-</b> |   |   |

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. CAD/CAE пакеты. Описание, назначение, структура

##### 1.1. CAD/CAE пакеты. Описание, назначение, структура

Описание современных подходов контроля жизненного цикла изделия. Место CAD и CAE методов в производственной цепочке энергетического оборудования. Современные трехмерные САПР – основные особенности, философия проектирования, техники проектирования «сверху вниз» и «снизу вверх». CAE – разновидности задач численного моделирования, основные численные методы, применяемые в пакетах инженерных расчетов. Интеграция CAE пакетов в производственную цепочку изделий.

#### 2. Современные трехмерные САПР. Основы машиностроительного проектирования

##### 2.1. Современные трехмерные САПР. Основы машиностроительного проектирования

Работа с системой трехмерного проектирования на примере одного из современных программных продукта. Редактирование эскиза. Создание 3D модели на основе эскизов. Дополнительные элементы построения. Создание сборочных единиц. Подготовка конструкторской документации.

#### 3. Основы вычислительной гидрогазодинамики

##### 3.1. Основы вычислительной гидрогазодинамики

Методы вычислительной гидрогазодинамики. Уравнение переноса в сплошных средах в дифференциальном и интегральном виде, его свойства и основные компоненты. Метод конечных объемов. Основные уравнения газовой динамики для идеальной (уравнения Эйлера) и вязкой жидкости (уравнения Навье – Стокса) с точки зрения численных методов. Этапы проведения численного моделирования течения – дискретизация пространства, выбор основных моделей и свойств рабочего тела, настройка решателя, инициализация расчета, проведение расчета, пост-обработка результатов. Особенности течения в расширяющихся и суживающихся каналах.

#### 4. Численное моделирование течений в каналах различной геометрии

##### 4.1. Численное моделирование течений в каналах различной геометрии

Различные режимы течения в сопле Лаваля – расчетный, с прямым скачком уплотнения, режим трубки Вентури. Течение в диффузоре – с отрывом и без отрыва пограничного слоя от стенки.

### **3.3. Темы практических занятий**

не предусмотрено

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Проектирование предохранительного клапана (4 часа);
2. Проектирование верхней половины диафрагмы паровой турбины (4 часа);
3. Моделирование режимов течения в сопле Лаваля (4 часа);
4. Моделирование течения в диффузорном канале с отрывом пограничного слоя (4 часа).

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине<br>(в соответствии с разделом 1)                  | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) |   |   |   | Оценочное средство (тип и наименование)   |
|---|------------------|---|---|---|---|---|
|   |                  | 1   | 2 | 3 | 4 |   |
| <b>Знать:</b>   |                  |   |   |   |   |   |
| назначение основных этапов, необходимых для проведения численного газодинамического расчета         | ИД-4ПК-1         |   |   | + |   | Тестирование/Тест «Вычислительная гидрогазодинамика»  |
| перечень и назначение современных инструментов, применяемых при проектировании элементов турбомашин | ИД-4ПК-1         | +   |   |   |   | Тестирование/Тест «Современные CAD/CAE пакеты для инженерного проектирования»   |
| <b>Уметь:</b>   |                  |   |   |   |   |   |
| проводить численный расчет и анализ течений в каналах различной геометрии                           | ИД-4ПК-1         |   |   |   | + | Лабораторная работа/Лабораторная работа № 3 «Моделирование режимов течения в сопле Лавалья»<br>Лабораторная работа/Лабораторная работа № 4 «Моделирование течения в диффузорном канале с отрывом пограничного слоя» |
| создавать твердотельные модели и их сборки в современных трехмерных САПР                            | ИД-4ПК-1         |   | + |   |   | Лабораторная работа/Лабораторная работа № 1 «Проектирование предохранительного клапана»<br>Лабораторная работа/Лабораторная работа № 2 «Проектирование верхней половины диафрагмы паровой турбины»                  |



#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **5 семестр**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Лабораторная работа № 1 «Проектирование предохранительного клапана» (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа № 2 «Проектирование верхней половины диафрагмы паровой турбины» (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа № 3 «Моделирование режимов течения в сопле Лавалья» (Лабораторная работа)
4. Лабораторная работа № 4 «Моделирование течения в диффузорном канале с отрывом пограничного слоя» (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест «Вычислительная гидрогазодинамика» (Тестирование)
2. Тест «Современные CAD/CAE пакеты для инженерного проектирования» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

*Зачет с оценкой (Семестр №5)*

Оценка определяется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ».

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. Зарянкин А.Е.- "Механика несжимаемых и сжимаемых жидкостей", Издательство: "МЭИ", Москва, 2019  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013175.html>;
2. Трухний А.Д.- "Паровые и газовые турбины для электростанций", Издательство: "МЭИ", Москва, 2017  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383011577.html>;
3. Зиновьев Д. В.- "Основы моделирования в SolidWorks", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2017 - (240 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/97361>;
4. Басов К. А.- "Графический интерфейс комплекса ANSYS", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2008 - (248 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1290](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1290);

5. Басов К. А.- "ANSYS: справочник пользователя", Издательство: "ДМК Пресс", Москва, 2008 - (640 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1335](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1335);
6. Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева . – 3-е изд . – М. : Эдиториал УРСС, 2009 . – 272 с. - ISBN 978-5-397-00564-7 ..

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Ansys / CAE Fidesy;
5. Майнд Видеоконференции;
6. Компас 3D.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
15. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения   | Номер аудитории, наименование | Оснащение   |
|---|-------------------------------|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Ж-120, Машинный зал ИВЦ       | сервер, кондиционер   |
|   | П-20, Учебная аудитория       |   |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий                   | Ж-120, Машинный зал ИВЦ       | сервер, кондиционер   |
|   | П-31, Компьютерный класс      | стол преподавателя, стол учебный, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, компьютер |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   | персональный, кондиционер  |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Ж-120, Машинный зал ИВЦ                             | сервер, кондиционер  |
|   | П-20, Учебная аудитория                             |  |
| Помещения для самостоятельной работы                      | НТБ-303, Компьютерный читальный зал                 | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
|   | П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов |  |
| Помещения для консультирования                            | П-03/1, Кабинет сотрудников                         |  |
|   | П-27, Переговорная                                  |  |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря  | П-05/1, Помещение для учебного инвентаря            |  |
|   | П-03/3, Подсобное помещение                         |  |

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Основы применения САД/САЕ для проектирования элементов турбомашин

(название дисциплины)

#### 5 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тест «Современные САД/САЕ пакеты для инженерного проектирования» (Тестирование)
- КМ-2 Лабораторная работа № 1 «Проектирование предохранительного клапана» (Лабораторная работа)
- КМ-3 Лабораторная работа № 2 «Проектирование верхней половины диафрагмы паровой турбины» (Лабораторная работа)
- КМ-4 Тест «Вычислительная гидрогазодинамика» (Тестирование)
- КМ-5 Лабораторная работа № 3 «Моделирование режимов течения в сопле Лаваля» (Лабораторная работа)
- КМ-6 Лабораторная работа № 4 «Моделирование течения в диффузорном канале с отрывом пограничного слоя» (Лабораторная работа)

**Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.**

| Номер раздела | Раздел дисциплины  | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|
|               |  | Неделя КМ: | 3    | 4    | 8    | 10   | 12   | 16   |
| 1             | САД/САЕ пакеты. Описание, назначение, структура                        |            |      |      |      |      |      |      |
| 1.1           | САД/САЕ пакеты. Описание, назначение, структура                        |            | +    |      |      |      |      |      |
| 2             | Современные трехмерные САПР. Основы машиностроительного проектирования |            |      |      |      |      |      |      |
| 2.1           | Современные трехмерные САПР. Основы машиностроительного проектирования |            |      | +    | +    |      |      |      |
| 3             | Основы вычислительной гидрогазодинамики                                |            |      |      |      |      |      |      |
| 3.1           | Основы вычислительной гидрогазодинамики                                |            |      |      |      | +    |      |      |
| 4             | Численное моделирование течений в каналах различной геометрии          |            |      |      |      |      |      |      |
| 4.1           | Численное моделирование течений в каналах различной геометрии          |            |      |      |      |      | +    | +    |
| Вес КМ, %:    |  |            | 5    | 20   | 25   | 5    | 25   | 20   |