

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

 Юнаков Л. П.

(подпись) ФИО

« 31 » 05 2022

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА ЭНЕРГОУСТАНОВОК

|  |  |
|--|--|
| Направление/специальность подготовки       | 24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика<br>24.04.05 Двигатели летательных аппаратов  |
| Специализация/профиль/программа подготовки | Физическое и вычислительное моделирование теплоаэродинамических и<br>теплогидравлических процессов<br>Авиационная и ракетно-космическая теплотехника |
| Уровень высшего образования                | Магистратура   |
| Форма обучения                             | Очная  |
| Факультет                                  | А Ракетно-космической техники  |
| Выпускающая кафедра                        | А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА   |
| Кафедра-разработчик рабочей программы      | А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА   |

| КУРС | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ<br>(ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) |                    |        |                           |                         |                        |                 |                 |                               | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО<br>КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |         |   | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ              | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ |        |                           |                         | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА |                 |                 |                               |                                |
|      |         |   |                                 | ВСЕГО              | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ<br>ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ<br>ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО                  | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ<br>САМОСТ. РАБОТЫ |                                |
| 5    | 10      | 4                                       | 144                             | 68                 | 34     | 0                         | 34                      | 76                     | 36              | 0               | 40                            | ЭКЗ.                           |

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика  
24.04.05 Двигатели летательных аппаратов

год набора группы: 2022

Программу составил:

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



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

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



Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

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



# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА ЭНЕРГОУСТАНОВОК**

## **Разделы рабочей программы**

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

## **Приложения к рабочей программе дисциплины**

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

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

|                  |   |
|------------------|---|
| 24.04.05<br>(A9) | ОПК-4 — способность использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики, разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов для постановки и решения научно-технических задач по направлению подготовки |
| 24.04.03<br>(A9) | ОПК-6 — способность разрабатывать и использовать новые подходы и методы расчета объектов ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров  |
| 24.04.03<br>(A9) | ПСК-1.01 — способность разрабатывать физические и математические модели совокупности процессов гидроаэродинамики и теплообмена  |
| 24.04.03<br>(A9) | ПСК-1.04 — способностью к проведению научных исследований в области баллистики, динамики и управления полетами аэрокосмических аппаратов  |
| 24.04.05<br>(A9) | ПСК-2.03 — готовность к профессиональной эксплуатации современных прикладных программных средств вычислительного моделирования процессов тепломассопереноса   |

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-4 (24.04.05, A9)**

*знания:*

основные уравнения гидрогазодинамики и тепломассопереноса, принимаемые допущения; основные конструктивные схемы сопловых блоков, камеры сгорания, топливных зарядов, органов управления; методики расчета газодинамических и термодинамических процессов внутренней газодинамики двигателей; основные физические свойства газодинамических процессов; особенности течения в каналах со вдувом; особенности течений с нестационарным подводом энергии; особенности тепловой защиты энергоустановок;

*умения:*

разрабатывать физические и математические модели газодинамических и термодинамических процессов внутренней газодинамики энергоустановок;

*навыки:*

физико-математического моделирования течений в энергоустановках; проведения типовых расчетов газодинамики и тепломассообмена.

### **ОПК-6 (24.04.03, A9)**

*знания:*

основные конструктивные схемы сопловых блоков, камеры сгорания, топливных зарядов, органов управления; основные физические свойства газодинамических процессов; особенности течения в каналах со вдувом; особенности течений с нестационарным подводом энергии; особенности тепловой защиты энергоустановок;

*умения:*

использовать математический аппарат и информационные технологии при исследовании задач внутрикамерной газовой динамики; выбирать информационные технологии для исследования газодинамических процессов в энергоустановках;

*навыки:*

построения физических, геометрических, сеточных, математических моделей объектов ракетно-космической техники.

### **ПСК-1.01 (24.04.03, A9)**

*знания:*

основные уравнения гидрогазодинамики и тепломассопереноса, принимаемые допущения; методики расчета газодинамических и термодинамических процессов внутренней газодинамики двигателей;

*умения:*

разрабатывать физические и математические модели газодинамических и термодинамических процессов внутренней газодинамики энергоустановок;

*навыки:*

физико-математического моделирования течений в энергоустановках; проведения типовых расчетов газодинамики и тепломассообмена.

### **ПСК-1.04 (24.04.03, A9)**

*знания:*

физических и математических формулировок термогазодинамических процессов, характерных для задач внутренней газодинамики энергоустановок; принципы применения современных информационных технологий в науке и предметной деятельности; основные методы теоретического и экспериментального исследования газодинамических параметров в потоке, методы поиска и обработки информации как вручную, так и с применением современных информационных технологий;

*умения:*

применять физические законы гидроаэродинамики и тепломассообмена, а также численные методы для формирования математических моделей расчёта внутренних течений в энергоустановках; использовать

математический аппарат и информационные технологии при исследовании задач внутрикамерной газовой динамики;

применять разнообразные методы физико-математического анализа, позволяющие оценить характер течений, определить газодинамические характеристики и параметры теплообмена; выбирать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерного моделирования, для исследования газодинамических процессов в энергоустановках;

*навыки:*

вычислительного и имитационного моделирования внутренних течений в энергоустановках.

#### **ПСК-2.03 (24.04.05, А9)**

*знания:*

физических и математических формулировок термогазодинамических процессов, характерных для задач внутренней газодинамики энергоустановок; принципы применения современных информационных технологий в науке и предметной деятельности; основные методы теоретического и экспериментального исследования газодинамических параметров в потоке, методы поиска и обработки информации как вручную, так и с применением современных информационных технологий;

*умения:*

применять физические законы гидроаэродинамики и тепломассообмена, а также численные методы для формирования математических моделей расчёта внутренних течений в энергоустановках; использовать математический аппарат и информационные технологии при исследовании задач внутрикамерной газовой динамики;

применять разнообразные методы физико-математического анализа, позволяющие оценить характер течений, определить газодинамические характеристики и параметры теплообмена; выбирать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерного моделирования, для исследования газодинамических процессов в энергоустановках;

*навыки:*

вычислительного и имитационного моделирования внутренних течений в энергоустановках.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА ЭНЕРГОУСТАНОВОК** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлениям: 24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика, 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АЭРОГИДРОМЕХАНИКИ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МЕХАНИКИ, ГАЗОВЫЕ СТРУИ. ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-2 — Способен ставить и решать задачи по проектированию, конструированию и производству объектов профессиональной деятельности при использовании современных информационных технологий
- ОПК-5 — Способен осуществлять научный поиск и разрабатывать новые подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники
- ПСК-1.01 — способность разрабатывать физические и математические модели совокупности процессов гидроаэродинамики и теплообмена
- ПСК-1.02 — способность анализировать и обобщать результаты физического и вычислительного экспериментов в области гидроаэродинамики и теплообмена, обеспечивать их практическую реализацию

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

| КУРС                       | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц  | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |                  |                     |                     |                     |
|----------------------------|---------|---|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                            |         |   |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Практические занятия |                                  | ОПК-4 (24.04.05)           | ОПК-6 (24.04.03) | ПСК-1.01 (24.04.03) | ПСК-1.04 (24.04.03) | ПСК-2.03 (24.04.05) |
| 5                          | 10      | <b>Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах.</b> Характер распределения скорости при ламинарном и турбулентном режимах течения. Теплоотдача в стенку. Течение в изогнутых трубах и каналах. Решение сопряженных задач газодинамики и теплообмена.  | 26    | 16                                    | 8      | 8                    | 10                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  |
| 5                          | 10      | <b>Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов.</b> Нестационарные течения. Запуск сопла. Механизмы управления вектором тяги. Управляющие усилия. Импульсный вдув струи в закритическую часть сопла.  | 28    | 16                                    | 8      | 8                    | 12                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  |
| 5                          | 10      | <b>Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей.</b> Жидкостные ракетные двигатели. Основные узлы и агрегаты. Форсунки и распыл жидкостного ракетного топлива. Охлаждение двигателя. Твердотопливные ракетные двигатели. Нестационарные режимы течения. Изменение объема камеры сгорания. Прямоточные авиационные двигатели. Конструирование воздухозаборных устройств. Режимы горения. Особенности конструкции сопла. | 54    | 36                                    | 18     | 18                   | 18                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  |
| 5                          | 10      | <b>Раздел 4. Курсовой проект.</b> Написание курсового проекта по индивидуальному заданию.   | 36    | 0                                     | 0      | 0                    | 36                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  |
| <b>Всего за 10 семестр</b> |         |   | 144   | 68                                    | 34     | 34                   | 76                               | 100                        | 100              | 100                 | 100                 | 100                 |
| <b>Всего по дисциплине</b> |         |   | 144   | 68                                    | 34     | 34                   | 76                               | 100                        | 100              | 100                 | 100                 | 100                 |

#### 3.2. Аудиторный практикум

| № п/п                      | Номер и наименование раздела дисциплины                              | Тема практического занятия   | Объем, ауд. часов |
|----------------------------|--|--|-------------------|
| 1                          | Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах.         | Решение сопряженных задач теплообмена при течении жидкостей и газов по трубам и каналам. | 8                 |
| 2                          | Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов.                             | Моделирование сопловых течений.  | 8                 |
| 3                          | Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей. | Моделирование процессов газодинамики в реактивных двигателях                             | 18                |
| <b>Всего за 10 семестр</b> |  |  | 34                |

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

| № п/п | Номер и наименование раздела дисциплины                              | Содержание учебного задания  | Объем, часов |
|-------|--|--|--------------|
| 1     | Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах.         | Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой. Выполнение практического задания.           | 10           |
| 2     | Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов.                             | Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой. Выполнение практического задания.           | 12           |
| 3     | Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей. | Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой. Выполнение практического задания.           | 18           |
| 4     | Раздел 4. Курсовой проект.   | Выполнение курсового проекта по индивидуальному заданию. Анализ процессов и формирование математических моделей. | 36           |

|                            |   |           |
|----------------------------|---|-----------|
|                            | Проведение вычислительного моделирования. Анализ результатов.<br>Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации. |           |
| <b>Всего за 10 семестр</b> |   | <b>76</b> |

### 3.4. Курсовой проект

| СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА  | ПЕРИОД<br>ИСПОЛНЕНИЯ<br>(недели<br>семестра) | ПЛАНИРУЕМОЕ<br>ВРЕМЯ (час) |
|---|--|----------------------------|
| Этап 1. Обсуждение с руководителем содержания работы. Определение цели и постановка задач работы. Разработка плана работы над проектом. | 1 - 2  | 6                          |
| Этап 2. Анализ литературы по тематике курсового проекта. Анализ протекающих процессов и формирование математических моделей             | 3 - 8  | 11                         |
| Этап 3. Проведение вычислительного моделирования. Анализ результатов численного моделирования.  | 9 - 14                                       | 14                         |
| Этап 4. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации.  | 15 - 16                                      | 5                          |
| <b>Всего за 10 семестр</b>  |  | <b>36</b>                  |

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

| СЕМЕСТР | НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА |   |   |   |            |    |   |   |            |    |    |    |    |    |            |    |    |
|---------|-----------------|---|---|---|------------|----|---|---|------------|----|----|----|----|----|------------|----|----|
|         | 1               | 2 | 3 | 4 | 5          | 6  | 7 | 8 | 9          | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15         | 16 | 17 |
| 10      |                 |   |   |   | Отч. по ПЗ | ДР |   |   | Отч. по ПЗ | ДР |    |    |    |    | Отч. по ПЗ | ДР | КП |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- КП – курсовой проект.

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. В. Сахин. . Теплообменные аппараты. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, эл. рес.
2. В. П. Белов. . Сопловые блоки ракетных двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 61 экз.
3. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011, 60 экз.
4. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010, 6 экз.
5. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 63 экз.
6. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Течения газа с частицами. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 9 экз.
7. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
8. М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. И. Цветков. . Акустические взаимодействия в газовых потоках. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2021, 3 экз.
2. Н. А. Брыков, Е. М. Герлиман, В. В. Сахин. . Теплообменные аппараты. СПб.: НИЦ АРТ, 2020, 1 экз.

### 5.3. Периодические издания:

1. Естественные и технические науки.

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

1. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
2. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
3. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

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

### Информационные справочные системы:

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

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
3. Microsoft Office.

### 5.6. Информационные технологии:

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

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

### **6.1. Лекционные занятия:**

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

### **6.2. Практические занятия:**

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

### **6.3. Прочее:**

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

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА ЭНЕРГОУСТАНОВОК** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлениям: 24.04.03 Баллистика и гидроаэродинамика, 24.04.05 Двигатели летательных аппаратов. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-4 (24.04.05) способность использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики, разработки физических и математических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов для постановки и решения научно-технических задач по направлению подготовки;

ОПК-6 (24.04.03) способность разрабатывать и использовать новые подходы и методы расчета объектов ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров;

ПСК-1.01 (24.04.03) способность разрабатывать физические и математические модели совокупности процессов гидроаэродинамики и теплообмена;

ПСК-1.04 (24.04.03) способностью к проведению научных исследований в области баллистики, динамики и управления полетами аэрокосмических аппаратов;

ПСК-2.03 (24.04.05) готовность к профессиональной эксплуатации современных прикладных программных средств вычислительного моделирования процессов тепломассопереноса.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с исследованием термогазодинамических процессов, протекающих во внутренних трактах энергетических установках различных типов. Рассматриваются вопросы геометрического, математического и вычислительного моделирования элементов и узлов энергоустановок, а также протекающих в них процессов тепломассопереноса.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

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

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

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

| Наименование работы   | Рекомендуемая литература  | Трудоемкость, час. |
|---|---|--------------------|
| <b>Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах.</b>   |   |                    |
| Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой. Выполнение практического задания.  | К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (1)<br>В. В. Сахин. . Теплообменные аппараты: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-3)<br>Н. А. Брыков, Е. М. Герлиман, В. В. Сахин. . Теплообменные аппараты: СПб.: НИЦ АРТ, 2020 (1-3)<br>К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011 (Введение, 1) | 10                 |
| Итого по разделу 1  |   | 10                 |
| <b>Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов.</b>   |   |                    |
| Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой. Выполнение практического задания.  | К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (2 - 4)<br>В. П. Белов. . Сопловые блоки ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1)  | 12                 |
| Итого по разделу 2  |   | 12                 |
| <b>Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей.</b>   |   |                    |
| Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой. Выполнение практического задания.  | К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. И. Цветков. . Акустические взаимодействия в газовых потоках: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2021 (1, 7, 8)  | 18                 |
| Итого по разделу 3  |   | 18                 |
| <b>Раздел 4. Курсовой проект.</b>   |   |                    |
| Выполнение курсового проекта по индивидуальному заданию. Анализ процессов и формирование математических моделей. Проведение вычислительного моделирования. Анализ результатов. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации. | К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011 (Все главы)<br>М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф.  | 36                 |

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
|                    | <p>Устинова, 2013 (Все главы)<br/> К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. .<br/> Течения и теплообмен в каналах и<br/> вращающихся полостях: М.:<br/> ФИЗМАТЛИТ, 2010 (Все главы)<br/> К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. .<br/> Вычислительные технологии в<br/> задачах механики жидкости и газа:<br/> М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (Все<br/> главы)<br/> К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И.<br/> В. Тетерина. . Газовые течения в<br/> соплах энергоустановок: М.:<br/> ФИЗМАТЛИТ, 2017 (Все главы)<br/> К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. .<br/> Течения газа с частицами: М.:<br/> ФИЗМАТЛИТ, 2008 (Все главы)</p> |    |
| Итого по разделу 4 |  | 36 |

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

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

#### Отчет по практическому заданию

Отчет по ПЗ оформляется в виде пояснительной записки по ГОСТ 2.105-2019, включающей текстовую часть с физической постановкой задачи, математической моделью, обоснованием выбора численного метода, результатами решения, графическое изображение, анализа полученных результатов и выводов.

Пояснительная записка с текстом, рисунками и графиками выполняется в редакторе "Word".

Отчет по практической работе должен содержать:

- постановку задачи, математическую модель и основные расчетные соотношения используемых методов решения, критерий сходимости;
- схему расчетной области с характеристиками сетки, краевыми и начальными условиями, реализованными в решаемом варианте;
- графическое представление полученных результатов;
- содержание исследовательского задания, результаты вычислительного моделирования, анализ и выводы по проведенным исследованиям.

Процедура защиты включает ответы на вопросы преподавателя по работе и разделу курса. В ходе защиты работы студенты должны продемонстрировать культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала, необходимые начальные знания по существу обсуждаемой темы, умение определить место исследованного явления в конкретных технических процессах и устройствах, умение самостоятельно модифицировать математические модели и программные средства для целей конкретизации или расширения области приложения моделей, использованных в работе.

Критерии оценивания. Оценка защиты работы выставляется по 100 балльной шкале с учётом:

- выполнение практической работы в компьютерном классе – 20 баллов,
- выполнение задания исследовательской части работы – 20 баллов,
- оформление пояснительной записки – 20 баллов,
- защита результатов, ответы на вопросы и их логика, культура речи – 40 баллов.

Работа считается принятой при наборе студентом более 70 баллов. 70-80 баллов "удовлетворительно", 80-90 - "хорошо", 90-100 - "отлично".

#### Курсовой проект

Курсовой проект представляется в печатном виде в формате, соответствующим «Положению по содержанию, оформлению, организации выполнения и защиты курсовых проектов и курсовых работ БГТУ. СМК-П-4.2-12» от 24 ноября 2015 г. Защита курсового проекта проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы членов комиссии. В ходе защиты КП обучающиеся должны продемонстрировать культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала, необходимые начальные знания по существу обсуждаемой темы.

В случае, если оформление курсового проекта и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает оценку:

- оценка «отлично» выставляется, при правильном выполнении курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 90 до 100%;
- оценка «хорошо» выставляется, при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 75 до 90%;
- оценка «удовлетворительно» выставляется, при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 60 до 75%.
- оценка «не защитил» выставляется, при значительных ошибках в содержании курсового проекта, при

допущении принципиальных ошибок в ответах на вопросы преподавателя - правильных ответов менее 60%.

Основаниями для снижения оценки за курсовой проект могут служить:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках),
- незначительные ошибки при ответах на теоретические вопросы.

Курсовой проект не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- несоответствия заданию на курсовое проектирование;
- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов вычислений.

Примеры тем для курсового проектирования:

- Аэродинамика высокоскоростного летательного аппарата.
- Моделирование газодинамических процессов, сопровождающих работу систем управления вектором тяги.
- Вычислительное моделирование газо- и термодинамических параметров летательного аппарата.
- Численное моделирование рационального метода наведения ракеты-перехватчика с подводным стартом в высоких широтах.
- Исследование аэродинамических характеристик тел в вихревом следе над экраном.
- Моделирование движения ЛА с учетом работы аэромеханических систем.
- Численное моделирование охлаждения аэродинамических поверхностей с использованием технологии термоэлектронной эмиссии.
- Исследование ударно-волновой структуры в воздухозаборнике ГЛА.
- Вычислительное моделирование струйных и сопловых течений.
- Численное решение задач газовой динамики с учетом физико-химических превращений.
- Моделирование течений в компрессорах авиадвигателей.
- Газодинамика и аэроакустика авиадвигателей.
- Исследование летных характеристик малоразмерного вертоплана.
- Вычислительное моделирование высокоскоростного турбокомпрессора.

### Экзамен

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Допуск к экзамену возможен только при условии успешной защиты заданий аудиторного практикума и получения положительной оценки (отлично, хорошо или удовлетворительно) за защиту курсового проекта. Экзамен, включает в себя два контрольных вопроса по выбору преподавателя из списка вопросов для собеседования по разделам дисциплины.

Знания, умения и навыки студентов определяются следующим образом:

- Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала.
- Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.
- Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.
- Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Паспорт фонда оценочных средств

| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц                         | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |                  |                     |                     |                     | НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|
|                     |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Практические занятия |                                  | ОПК-4 (24.04.05)           | ОПК-6 (24.04.03) | ПСК-1.01 (24.04.03) | ПСК-1.04 (24.04.03) | ПСК-2.03 (24.04.05) |                                  |
| 5                   | 10      | Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах.         | 26    | 16                                    | 8      | 8                    | 10                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  | Отчет по практическому заданию   |
| 5                   | 10      | Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов.                             | 28    | 16                                    | 8      | 8                    | 12                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  | Отчет по практическому заданию   |
| 5                   | 10      | Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей. | 54    | 36                                    | 18     | 18                   | 18                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  | Отчет по практическому заданию   |
| 5                   | 10      | Раздел 4. Курсовой проект.   | 36    | 0                                     | 0      | 0                    | 36                               | 25                         | 25               | 25                  | 25                  | 25                  | Курсовой проект                  |
| Всего за 10 семестр |         |  | 144   | 68                                    | 34     | 34                   | 76                               | 100                        | 100              | 100                 | 100                 | 100                 |                                  |
| Всего по дисциплине |         |  | 144   | 68                                    | 34     | 34                   | 76                               | 100                        | 100              | 100                 | 100                 | 100                 |                                  |