


**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

  
(подпись) Юнаков Л. П.  
«31» 05 2022 ФИО

## 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 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

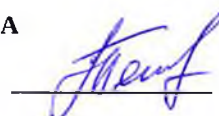
Программу составил:

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                 |                                  |