

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.
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА ЭНЕРГОУСТАНОВОК

Направление/специальность подготовки	24.04.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	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 (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
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)**

24.04.05 Двигатели летательных аппаратов

год набора группы: 2024

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:

ПСК-2.02 — способность проводить работы по вычислительному моделированию теплообмена изделий авиационной и ракетно-космической техники, анализировать и обобщать результаты
ОПК-1 — способность осуществлять подготовку научных публикаций, научно-технических отчетов, обзоров по результатам выполненных исследований и разработок
ОПК-2 — способность использовать современные информационные технологии при выполнении научных исследований и разработок; использовать стандартные пакеты прикладных программ; способен к алгоритмизации процесса вычислений при проведении исследований; организовывать и соблюдать требования информационной безопасности в профессиональной деятельности

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-2.02

знания:

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

умения:

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

навыки:

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

ОПК-1

знания:

правил оформления документации в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105 и ГОСТ 7.32, требований к проведению вычислительных экспериментов и представлению результатов физического, математического и имитационного моделирования в соответствии с ГОСТ 57700.XX-20XX;

умения:

проводить физическое, математическое, вычислительное и имитационное моделирование внутренних процессов в энергоустановках, описывать и интерпретировать получаемые результаты;

навыки:

подготовки и оформления докладов, тезисов, полнотекстовых статей, научно-технических отчетов и презентаций, содержащих результаты проведенных работ.

ОПК-2

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;

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 направлению *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, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен осуществлять подготовку научных публикаций, научно-технических отчетов, обзоров по результатам выполненных исследований и разработок
- ОПК-4 — Способен 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
- ПСК-2.01 — Способен проводить анализ газодинамических и теплообменных процессов, сопровождающих работу энергоустановок авиационной и ракетно-космической техники
- ПСК-2.04 — Способен проводить работы, анализировать и обобщать результаты по численному моделированию газодинамических и теплообменных процессов в двигателях и энергоустановках ЛА, а также наземных энергетических установок на базе авиационных и ракетных двигателей

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		ПСК-2.02	ОПК-1	ОПК-2
5	10	Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах. 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
5	10	Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов. 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
5	10	Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей. 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
5	10	Раздел 4. Курсовой проект. Написание курсового проекта по индивидуальному заданию.	36	0	0	0	36	25	25	25
Всего за 10 семестр			144	68	34	34	76	100	100	100
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	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 тепломассообмена 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
Всего за 10 семестр			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. Проведение вычислительного моделирования. Анализ	36

	результатов. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации.	
Всего за 10 семестр		76

3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Аналитический обзор работ по тематике, определенной индивидуальным заданием. Выбор объекта и предмета исследования.	1 - 4	6
Этап 2. Формулировка математической, геометрической, численной модели рассматриваемых процессов и явлений. Обоснование принятых допущений. Уточнение расчетной схемы. Исследование сеточной сходимости.	5 - 10	12
Этап 3. Проведение вычислительных экспериментов. Анализ полученных результатов.	11 - 14	12
Этап 4. Формулирование выводов по работе. Оформление пояснительной записки, подготовка презентации и доклада. Защита курсового проекта.	15 - 17	6
Всего за 10 семестр		36

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

Современные профессиональные базы данных:

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

Информационные справочные системы:

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

5.5. Программное обеспечение:

1. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. Matlab 2015a SP1;
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. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
3. Matlab 2015a SP1;
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 направлению *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*:

ПСК-2.02 способность проводить работы по вычислительному моделированию теплообмена изделий авиационной и ракетно-космической техники, анализировать и обобщать результаты;

ОПК-1 способность осуществлять подготовку научных публикаций, научно-технических отчетов, обзоров по результатам выполненных исследований и разработок;

ОПК-2 способность использовать современные информационные технологии при выполнении научных исследований и разработок; использовать стандартные пакеты прикладных программ; способен к алгоритмизации процесса вычислений при проведении исследований; организовывать и соблюдать требования информационной безопасности в профессиональной деятельности.

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.
Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах.		
Изучение дидактических единиц данного раздела, работа с литературой. Выполнение практического задания.	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011 (Введение, 1) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (1) В. В. Сахин. . Теплообменные аппараты: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (1-3) Н. А. Брыков, Е. М. Герлиман, В. В. Сахин. . Теплообменные аппараты: СПб.: НИЦ АРТ, 2020 (1-3)	10
Итого по разделу 1		10
Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов.		
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) В. П. Белов. . Сопловые блоки ракетных двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (1)	12
Итого по разделу 2		12
Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей.		
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
Раздел 4. Курсовой проект.		
Выполнение курсового проекта по индивидуальному	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. .	36

<p>заданию. Анализ процессов и формирование математических моделей. Проведение вычислительного моделирования. Анализ результатов. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации.</p>	<p>Течения и теплообмен в каналах и вращающихся полостях: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010 (Все главы) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (Все главы) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (Все главы) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Газовые течения с массоподводом в каналах и трактах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011 (Все главы) М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (Все главы) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Течения газа с частицами: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (Все главы)</p>	
Итого по разделу 4		36

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд 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 о порядке организации и проведения курсового проектирования обучающихся по программам среднего профессионального образования и высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры СТО.БГТУ. СМК-К5-21-2023» от 25 июля 2023 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

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		ПСК-2.02	ОПК-1	ОПК-2	
5	10	Раздел 1. Термогазодинамические процессы в трубах и каналах.	26	16	8	8	10	25	25	25	Отчет по практическому заданию
5	10	Раздел 2. Газодинамика сопловых каналов.	28	16	8	8	12	25	25	25	Отчет по практическому заданию
5	10	Раздел 3. Особенности внутренней газодинамики реактивных двигателей.	54	36	18	18	18	25	25	25	Отчет по практическому заданию
5	10	Раздел 4. Курсовой проект.	36	0	0	0	36	25	25	25	Курсовой проект
Всего за 10 семестр			144	68	34	34	76	100	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100	100	

Критерии оценивания

ПСК-2.02

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 Каким образом изменяется давление в камере сгорания во время работы РДТТ?
- № 2 Что описывает закон Мещерского? Приведите формулу и поясните смысл обозначений.
- № 3 Приведите примеры химических ракетных двигателей
- № 4 Перечислите основные параметры, характеризующие химические ракетные двигатели
- № 5 Какой участок траектории полёта называют активным?
- № 6 Опишите возможности применения пакета прикладных программ Ansys для анализа процессов теплообмена. Приведите основные уравнения и замыкающие соотношения.
- № 7 Опишите основные типы граничных условий, используемые при постановке двух- и трехмерных задач в Ansys.
- № 8 Опишите последовательность действий при постановке задачи в пакете прикладных программ. Укажите примеры программ, применяемых на каждом этапе.
- № 9 Опишите модель среды, используемую для задания текучей среды по умолчанию в Ansys Fluent и её отличие от модели ideal gas. Укажите пределы областей применимости этих моделей.
- № 10 Дайте определение понятия «невязки». Поясните критерии окончания расчета и необходимое количество итераций для достижения сходимости решения.
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Можно ли проводить вычислительное моделирование турбулентного течения в стационарной постановке?
- можно, в этом случае будет получена осредненная по времени картина течения
 - нельзя, поскольку явление турбулентности строго нестационарно
 - можно, но решение будет считаться ламинарным
 - можно, но необходимо провести несколько квазистационарных расчетов, чтоб получить верное представление о характере течения
- № 2 Какое критериальное число используется при выборе ламинарного или турбулентного режима течения?
- число Рейнольдса
 - число Струхала
 - число Маха
 - число Стокса
 - число Фруда
 - число Нуссельта
- № 3 Что может быть использовано в качестве выходного устройства газотурбинного, турбореактивного или реактивного двигателя?
- диффузор
 - реактивное сопло
 - сопло Лаваля
 - конфузор

- выхлопная труба
- резонатор
- № 4 Устройство, предназначенное для отклонения вектора тяги за счет использования дополнительных конструктивных элементов, располагаемых в окрестности среза сопла, называют ...
- дефлектор
- инжектор
- конфузор
- эжектор
- диффузор
- № 5 Как называют составные силовые установки с поворотным вектором тяги, включающие в себя двигатели для создания частично вертикальной и частично горизонтальной тяг?
- подъемно-разгонные
- подъемно-маршевые
- подъемные
- разгонные
- маршевые
- № 6 Какие элементы могут быть ведены в сверхкритическую часть сопла для изменения направления вектора тяги?
- газовые рули
- периферийные рули
- внутренние интресепторы
- внешние интресепторы
- спойлеры
- элероны
- закрылки
- № 7 В подъемно-разгонных двигателях ТРД и ТРДД направление тяги может изменяться с использованием следующих схем: ...
- ограниченно поворотное сопло
- качающееся в одной плоскости сопло
- плоская решетка поворотных лопаток
- поворотное сопло
- поворот двигателя в узлах крепления
- газодинамические рули
- поперечный вдув в сопло
- асимметричная подача воздуха в тракт сопла
- № 8 Форсажная камера турбореактивного двигателя, предназначенная для повышения

его мощности за счет сжигания дополнительной порции горючего, располагается ...

- после турбины перед соплом
- перед турбиной и соплом
- после турбины и после сопла
- после основной камерой сгорания перед турбиной
- после компрессора, перед основной камерой сгорания

№ 9 Как изменится тяга реактивного двигателя при отклонении потока, истекающего из сопла?

- Уменьшится
- Увеличится
- Останется неизменной

№ 10 Зависит от направления отклонения
Какие термогазодинамические характеристики определяют скорость горения заряда РДТТ?

- давление в камере сгорания
- давление окружающей среды
- температура в камере сгорания
- скорость истечения газового потока из сопла РД
- скорость течения газового потока в камере сгорания
- показатель адиабаты газового потока в камере сгорания

ОПК-1

Вопросы открытого типа:

- № 1 Сформулируйте закон Пуазейля
- № 2 Сформулируйте закон Дарси
- № 3 Дайте определение понятию «ламинарное течение»
- № 4 Дайте определение понятию «турбулентное течение»
- № 5 Дайте определение понятию «ламинарно-турбулентный переход»
- № 6 Какое течение называют течением Пуазейля?
- № 7 Дайте определение понятию «Эквивалентный диаметр канала»
- № 8 Чем определяется величина коэффициента турбулентной вязкости?
- № 9 Дайте определение понятию «живое сечение» в гидравлике
- № 10 В чём заключается гипотеза Био – Фурье?

Вопросы закрытого типа:

№ 1 Потери удельной энергии в гидравлических системах, обусловленные наличием вязкого трения, называют ...

- гидравлические потери
- гидравлическое сопротивление
- местные гидравлические потери
- сопротивлением трения
- перепадом давления

№ 2 Гидравлический радиус канала - это ...

- характерный линейный размер канала, имеющего смоченный периметр (Π) и площадь поперечного сечения (S) , и равный их отношению $(r = S/\Pi)$
 - четверть диаметра круглой трубы $(r = d/4)$
 - разность внутреннего и наружного диаметров трубы $(r = D - d)$
 - характерный линейный размер некруглых каналов $(r = a)$, где (a) - среднее значение длины боковой стороны прямоугольного сечения канала площадью $(S = a^2)$
 - величина, определяющая площадь поперечного сечения канала произвольного сечения
- № 3 Закон Пуазейля гласит, что при установившемся ламинарном течении вязкой несжимаемой жидкости сквозь длинную $(l \gg r)$ прямую цилиндрическую трубу круглого сечения радиуса (r) объёмный расход жидкости (Q) прямо пропорционален перепаду давления на единицу длины трубы $(\Delta p = p_1 - p_2)$ и обратно пропорционален коэффициенту вязкости жидкости (μ) :
- $(Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \mu l})$
 - $(Q = \frac{r^4 \Delta p}{4 \mu l})$
 - $(Q = \frac{\pi r^2 \Delta p}{8 \mu l})$
 - $(Q = \frac{r^2 \Delta p}{4 \mu l})$
- № 4 В турбулентном течении наблюдается хаотическое отклонение (Δf) термогазодинамических параметров (f) от их средних значений (\overline{f}) . Интенсивность турбулентности характеризует величина, равная отношению среднего значения мгновенных пульсаций $(\Delta \overline{f})$ и среднего значения (\overline{f}) ...
- скорости
 - давления
 - температуры
 - плотности
 - завихренности
 - вязкости
- № 5 Потери напора в гидравлических системах, обусловленные наличием вязкого трения, пропорциональны квадрату скорости жидкости $(\Delta p = \zeta \frac{\rho v^2}{2})$, а коэффициент (ζ) называют ...
- коэффициент местного сопротивления
 - коэффициент трения
 - коэффициент вязкости
 - коэффициент Дарси
 - коэффициент перепада давления
- № 6 В соотношении $(\Delta h = \zeta \frac{v^2}{2g})$, определяющем потери напора в гидравлических системах при развитом турбулентном течении несжимаемой жидкости по трубопроводу длиной (L) и диаметром (D) , коэффициент (ζ) связан с коэффициентом Дарси (λ) выражением ...
- $(\zeta = \lambda L/D)$
 - $(\zeta = \lambda D/L)$

- $\lambda = \frac{\mu D}{L}$
 - $\lambda = \frac{\pi L}{D}$
 - $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$
- № 7 Коэффициент Дарси (λ), определяющий потери на трение по длине трубопровода в случае ламинарного движения жидкости в гладких трубах с жёсткими стенками, вычисляется по формуле Пуазейля:
- $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$
 - $\lambda = \frac{0,316}{\sqrt{\text{Re}}}$
 - $\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{\text{Re}}}$
 - $\lambda = \frac{\pi L}{D}$
 - $\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$
- № 8 Вихрем называется единая совокупность частиц, движущихся совместно. Масштабом турбулентности является ...
- расстояние между двумя ближайшими частицами жидкости, не принадлежащими одному вихрю
 - расстояние между центрами (осями) двух ближайших вихрей в жидкости
 - среднее расстояние между двумя соседними вихрями
 - расстояние между двумя наиболее удалёнными друг от друга частицами жидкости, принадлежащими одному вихрю
 - среднее значение диаметра вихря
 - характерный линейный размер вихря
- № 9 При установившемся ламинарном течении вязкой несжимаемой жидкости сквозь длинную ($L \gg r$) прямую цилиндрическую трубу круглого сечения распределение скорости по продольному сечению носит параболический характер и называется профилем Пуазейля. Распределение скорости в зависимости от расстояния до оси канала (r) прямо пропорционально перепаду давления на единицу длины трубы ($\Delta p = p_1 - p_2$) и обратно пропорционально коэффициенту вязкости жидкости (μ):
- $v = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \mu L}$
 - $v = \frac{r^4 \Delta p}{4 \mu L}$
 - $v = \frac{\pi r^2 \Delta p}{8 \mu L}$
 - $v = \frac{r^2 \Delta p}{4 \mu L}$
- № 10 Для описания турбулентного течения жидкости в канале удобно разделить поток на две части: область тонкого пристеночного вязкого пограничного слоя и центральная область невязкого течения (ядро потока). Толщиной гидродинамического пограничного слоя называется такое расстояние от поверхности, на котором ...
- силы трения становятся пренебрежимо малы по сравнению с силами давления и инерции
 - силы давления становятся пренебрежимо малы по сравнению с силами трения
 - силы вязкости становятся пренебрежимо малы по сравнению с силами инерции

- скорость потока остается неизменной
- жидкость движется только ламинарно

ОПК-2

Вопросы открытого типа:

- № 1 Что включают в себя уравнения Эйлера?
- № 2 Что включают в себя уравнения Навье – Стокса?
- № 3 Что включают в себя уравнения Рейнольдса?
- № 4 Сформулируйте гипотезу Ньютона о плотности потока теплоотдачи (закон Ньютона – Рихмана).
- № 5 Сформулируйте гипотезу Био – Фурье.
- № 6 Как называют режим течения, при котором жидкость или газ перемещаются слоями без перемешивания и при отсутствии пульсаций скорости и давления?
- № 7 Как называют режим течения, при котором жидкость или газ интенсивно хаотически перемешиваются при наличии пульсаций скорости и давления?
- № 8 Как называют режим течения, при котором поток по всему периметру живого сечения соприкасается с твердыми стенками?
- № 9 Как называют режим течения, при котором поток имеет свободную поверхность и не соприкасается по всему периметру живого сечения с твердыми стенками?
- № 10 Как называют устройство, в котором происходит передача кинетической энергии от одной среды, движущейся с большей скоростью, к другой?

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Связь эквивалентного диаметра (d) канала прямоугольного сечения $(S = a \cdot b)$ и его гидравлического радиуса (r) описывается соотношением ...
 - $d = 4 r = 2ab/(a+b)$
 - $d = 4 r = 2 (a + b)$
 - $d = 2 r = (a + b)/2$
 - $d = 2 r = (a + b)$
- № 2 Для описания турбулентного течения жидкости в канале удобно разделить поток на две части: область тонкого пристеночного вязкого пограничного слоя и центральная область невязкого течения (ядро потока). Для описания течения в ядре потока используют уравнения ...
 - Эйлера
 - Навье - Стокса
 - Рейнольдса
 - Стокса
 - Нуссельта
 - Прандтля
- № 3 Установите соответствие процессов теплообмена и рассматриваемых задач.
 1. На поверхности нагретой стенки со стороны потока газа реализуется
 2. В объеме стенки между её поверхностями реализуется
 3. Между двумя подвижными средами через разделяющую их твёрдую стенку реализуется
 - a. конвективная и лучистая теплоотдача между газом и поверхностью стенки
 - b. конвективная теплоотдача между газом и поверхностью стенки
 - c. лучистая теплоотдача между газом и поверхностью стенки

- d. теплопроводность
- е. теплопередача
- № 4 Неравновесный процесс перемещения вещества из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией, приводящий к самопроизвольному выравниванию концентраций по всему занимаемому объёму называют ...
- диффузия
 - конвекция
 - терморегуляция
- № 5 – химия
- № 5 Конвективная теплоотдача представляет собой ...
- Конвективный теплообмен между подвижной средой и поверхностью твёрдого тела
 - Процесс распространения внутренней энергии излучающего тела в окружающую среду посредством электромагнитных волн
 - Совместный процесс конвекции теплоты и теплопроводности в подвижной среде
 - Конвективный перенос вещества и теплоты в среде с неоднородным температурным полем
- № 6 Множитель пропорциональности в законе Фурье является физическим параметром среды и численно равен количеству теплоты, проходящей за одну секунду через 1 м² двух изотермических поверхностей по нормали к ним и отстоящих друг от друга на расстояние 1 м, при разности температур на этих изотермических поверхностях в 1 К. Его называют ...
- коэффициентом теплопроводности
 - конвективным коэффициентом
 - коэффициентом теплоотдачи
 - коэффициентом температуропроводности
- № 7 Самопроизвольный необратимый процесс распространения энергии в форме теплоты в пространстве, обусловленный разностью температур - это ...
- Теплообмен
 - Конвекция
 - Теплоотдача
 - Теплопроводность
 - Температуропроводность
- № 8 Процесс обмена энергией в форме теплоты между различными областями пространства, заполненного вещественной средой с различной температурой - это ...
- Теплообмен
 - Конвекция
 - Теплоотдача
 - Теплопроводность

- № 9
- Температуропроводность
- Молекулярный перенос теплоты, обусловленный наличием градиента температуры в неизотермической среде - это ...
- Теплообмен
 - Конвекция
 - Теплоотдача
 - Теплопроводность
- № 10
- Температуропроводность
- Какие существуют способы переноса теплоты?
- Теплообмен
 - Конвекция
 - Тепловое излучение
 - Теплопроводность
 - Температуропроводность