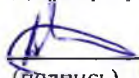


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МЕХАНИКИ

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	
6	11	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: 2022

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Брыков Никита Александрович, 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 ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МЕХАНИКИ

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-2.03 — готовность к профессиональной эксплуатации современных прикладных программных средств вычислительного моделирования процессов тепломассопереноса
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
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

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-2.03

знания:

на уровне представлений: основные понятия и определения в области современных вычислительных технологий; основные понятия о реализации вычислительного эксперимента; понятия о сходимости, устойчивости и аппроксимации разностных схем; понятия о технологиях вычислительного моделирования в области механики сплошной среды – методах разностных схем, конечных объемов, конечных элементов; подготовка, планирование, организация и проведение вычислительного эксперимента; обработка результатов эксперимента, автоматизация экспериментальных исследований;

на уровне воспроизведения: законы сохранения в интегральной и дифференциальной форме, разностная аппроксимация дифференциальных и интегральных;

на уровне понимания: теоретические основы вычислительного моделирования процессов в газодинамике и теплотехнике, методы и средства научных исследований, функциональная схема пакетов вычислительного моделирования;

умения:

теоретические: ставить краевые задачи в среде современных пакетов вычислительного моделирования;

практические: умение работать в среде современных пакетов вычислительного моделирования, умение строить сеточные структуры, способностью к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного эксперимента (в соответствии с целями магистерской программы);;

навыки:

способностью и готовностью проводить работы по вычислительному моделированию задач механики сплошной среды, оценивать результаты исследований; способностью проводить вычислительный эксперимент и давать заключение о характере процессов в проектируемых объектах.

ОПК-2

знания:

на уровне представлений: основные понятия и определения в области современных вычислительных технологий; основные понятия о реализации вычислительного эксперимента; понятия о сходимости, устойчивости и аппроксимации разностных схем; понятия о технологиях вычислительного моделирования в области механики сплошной среды – методах разностных схем, конечных объемов, конечных элементов; подготовка, планирование, организация и проведение вычислительного эксперимента; обработка результатов эксперимента, автоматизация экспериментальных исследований;

на уровне воспроизведения: законы сохранения в интегральной и дифференциальной форме, разностная аппроксимация дифференциальных и интегральных;

на уровне понимания: теоретические основы вычислительного моделирования процессов в гидроаэродинамике, механике деформируемого твердого тела и теплотехнике, методы и средства научных исследований, функциональная схема пакетов вычислительного моделирования;;

умения:

теоретические: ставить краевые задачи в среде современных пакетов вычислительного моделирования;

практические: умение работать в среде современных пакетов вычислительного моделирования, умение строить сеточные структуры, способностью к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного эксперимента (в соответствии с целями магистерской программы);;

навыки:

способностью и готовностью проводить работы по вычислительному моделированию задач механики сплошной среды, оценивать результаты исследований; способностью проводить

вычислительный эксперимент и давать заключение о характере процессов в проектируемых объектах;.

ОПК-4

знания:

на уровне представлений: основные понятия и определения в области современных вычислительных технологий; основные понятия о реализации вычислительного эксперимента; понятия о сходимости, устойчивости и аппроксимации разностных схем; понятия о технологиях вычислительного моделирования в области механики сплошной среды – методах разностных схем, конечных объемов, конечных элементов; подготовка, планирование, организация и проведение вычислительного эксперимента; обработка результатов эксперимента, автоматизация экспериментальных исследований;

на уровне воспроизведения: законы сохранения в интегральной и дифференциальной форме, разностная аппроксимация дифференциальных и интегральных;

на уровне понимания: теоретические основы вычислительного моделирования процессов в гидроаэродинамике, механике деформируемого твердого тела и теплотехнике, методы и средства научных исследований, функциональная схема пакетов вычислительного моделирования;;

умения:

теоретические: ставить краевые задачи в среде современных пакетов вычислительного моделирования;

практические: умение работать в среде современных пакетов вычислительного моделирования, умение строить сеточные структуры, способностью к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного эксперимента (в соответствии с целями магистерской программы);;

навыки:

способностью и готовностью проводить работы по вычислительному моделированию задач механики сплошной среды, оценивать результаты исследований; способностью проводить вычислительный эксперимент и давать заключение о характере процессов в проектируемых объектах;.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МЕХАНИКИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.04.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВНУТРЕННЯЯ ГАЗОДИНАМИКА ЭНЕРГОУСТАНОВОК**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- 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-2.03 — готовность к профессиональной эксплуатации современных прикладных программных средств вычислительного моделирования процессов тепломассопереноса

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-2.03	ОПК-2	ОПК-4
6	11	Раздел 1. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. История развития вычислительной газодинамики. Триада математического моделирования. Методика математического моделирования. Особенности вычислительных задач аэрогазодинамики и тепломассопереноса. Возможности современных информационных технологий в задачах вычислительного моделирования. Численное моделирование в задачах аэрокосмической техники. Современные системы численного моделирования и пакеты прикладных программ. Достигнутые результаты и проблемные разработки.	14	8	4	4	6	10	10	10
6	11	Раздел 2. Законы сохранения. Законы сохранения для материального объема и балансовые соотношения. Понятия материального объема: подвижный объем, неподвижный в пространстве объем, перемещающийся в пространстве объем. Физико-механические характеристики материальной частицы. Потoki через поверхность контрольного объема. Потoki через поверхность контрольного объема. Внутренние напряжения. Формулировка законов сохранения. Формулировка законов сохранения для подвижного объема. Формулировка законов сохранения для фиксированного объема. Балансовые уравнения. Балансовые соотношения для перемещающегося объема. Эквивалентность двух форм записи интегральных законов сохранения. Дифференциальная форма законов сохранения для фиксированного контрольного объема. Закон сохранения массы. Закон изменения количества движения. Закон сохранения энергии. Консервативная форма системы уравнений динамики сплошной среды. Замыкающие соотношения.	8	6	4	2	2	10	10	10
6	11	Раздел 3. Волновое решение и возможность их существования. Простейшее гиперболическое уравнение. Нелинейное уравнение переноса. Характеристики нелинейного уравнения переноса. Укрупнение волнового фронта и возникновение разрывов. Интегральный закон сохранения для нелинейного уравнения переноса. Характеристический анализ системы уравнений одномерной акустики. Характеристики в классификации систем уравнений.	15	13	4	9	2	10	10	10
6	11	Раздел 4. Дифференциальные уравнения с частными производными. Постановка краевых задач. Операторные методы в исчислении разностей. Конечные разности и производные. Понятие об операторных методах вычисления разностей. Методы построения разностных схем. Схемы конечных разностей и конечного объема. Основы свойств разностных схем. Сходимость, аппроксимация, устойчивость, разностной схемы. Понятие о монотонности. Консервативность на разностной сетке. Понятие экономичности. Особенности реализации сеточных методов для эллиптических, параболических и гиперболических задач.	16	8	4	4	8	10	10	10
6	11	Раздел 5. Введение в построение расчетных сеток. Расчетная сетка и ее геометрические элементы. Типы расчетных сеток. Способы описания неструктурированных расчетных сеток. Использование отображений для построения структурированных сеток. Способы адаптации структурированных сеток. Триангуляция Делоне. Построение конечно-элементной сетки. Дискретизация геометрии.	16	7	5	2	9	10	10	10
6	11	Раздел 6. Решение уравнений параболического типа. Явные и неявные схемы. Метод прогонки. Векторизованные алгоритмы. Рассмотрение примеров решения уравнения теплопроводности для различного круга задач: задачи с внутренними источниками тепла, задачи с теплофизическими параметрами, зависящими от температуры, двухфазные задачи с подвижными границами раздела фаз.	16	10	5	5	6	10	10	10
6	11	Раздел 7. Моделирование вязких течений. Способы моделирования задач механики жидкости и газа. Подходы Лагранжа и Эйлера. Различные подходы моделирования турбулентных течений: RANS, LES, DNS. Классификация моделей турбулентности.	10	8	4	4	2	10	10	10
6	11	Раздел 8. Течения с ударными волнами. Дискретизация на основе методов конечного объема и схемы распада произвольного разрыва. Задача Римана. Метод С.К. Годунова. Линеаризованные схемы распада разрыва. Понятие о гибридных схемах. Уравнения одномерного нестационарного соплового течения. Маршевые методы. Имитационное моделирование начального участка сверхзвуковой струи. Основные положения маршевого метода расчета начального участка сверхзвуковой струи.	13	8	4	4	5	15	15	15
6	11	Раздел 9. Курсовой проект. Написание курсового проекта по индивидуальному заданию.	36	0	0	0	36	15	15	15
Всего за 11 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. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент.	Классификация дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы и законы природы. Краевые задачи механики сплошной среды. Этапы постановки. Краевые условия. Интегрирование ОДУ.	4
2	Раздел 2. Законы сохранения.	Понятие материального объема. Физико-механические характеристики материальной частицы.	2
3	Раздел 3. Волновое решение и возможность их существования.	Численное решение системы линейных уравнений эллиптического типа. Исследование явных разностных схем для гиперболического уравнения. Исследование устойчивости явной разностной схемы для параболического уравнения. Численное решение уравнения Лапласа итерационным способом. Построение криволинейных, согласованных с границами области разностных сеток.	9
4	Раздел 4. Дифференциальные уравнения с частными производными.	Примеры разностных схем эллиптических и гиперболических систем уравнений. Колебание струны.	4
5	Раздел 5. Введение в построение расчетных сеток.	Особенности динамических сеток.	2
6	Раздел 6. Решение уравнений параболического типа.	Одномерная, двумерная задача теплопроводности. Граничные условия 1, 2, 3 и 4 родов. Задачи с подвижной границей. Термоупругость.	5
7	Раздел 7. Моделирование вязких течений.	Особенности моделирования вязких течений. Построение сеток для турбулентного течения.	4
8	Раздел 8. Течения с ударными волнами.	Уравнения одномерного нестационарного соплового течения.	4
Всего за 11 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент.	Выполнение практического задания №1	5
2		Изучение материала раздела.	1
3	Раздел 2. Законы сохранения.	Изучение материала раздела.	2
4	Раздел 3. Волновое решение и возможность их существования.	Изучение материала раздела.	2
5	Раздел 4. Дифференциальные уравнения с частными производными.	Выполнение практического задания №2	7
6		Изучение материала раздела.	1
7	Раздел 5. Введение в построение расчетных сеток.	Выполнение практического задания №3	8
8		Изучение материала раздела.	1

9	Раздел 6. Решение уравнений	Выполнение практического задания №4	5
10	параболического типа.	Изучение материала раздела.	1
11	Раздел 7. Моделирование вязких течений.	Изучение материала раздела.	2
12	Раздел 8. Течения с	Изучение материала раздела.	1
13	ударными волнами.	Выполнение практического задания №5	4
14	Раздел 9. Курсовой проект.	Выполнение курсового проекта по индивидуальному заданию. Анализ процессов и формирование математических моделей. Проведение вычислительного моделирования. Анализ результатов. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации.	36
Всего за 11 семестр			76

3.4. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Обсуждение с руководителем содержания работы. Определение целей и постановка задач работы. Разработка плана работы над проектом.	1 - 2	5
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 - 16	18
Этап 4. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации.	17 - 17	2
Всего за 11 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
11			Отч. по ПЗ			ДР		Отч. по ПЗ	КВ	ДР	Отч. по ПЗ		Отч. по ПЗ		Отч. по ПЗ	ДР	КП

Условные обозначения:

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

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

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

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
2. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 63 экз.
3. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 7 экз.
4. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 30 экз.
5. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
6. К. Н. Волков, Ю. Н. Дерюгин, В. Н. Емельянов. . Разностные схемы в задачах газовой динамики на неструктурированных сетках. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014, 10 экз.
7. Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

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 — 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 - 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.

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.

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 **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МЕХАНИКИ** 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-2.03 готовность к профессиональной эксплуатации современных прикладных программных средств вычислительного моделирования процессов тепломассопереноса;

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;

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.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами и технологиями современного вычислительного моделирования процессов различной физической природы применительно к решению практических задач создания и проектирования космических аппаратов и комплексов военного и гражданского назначения, артиллерийских систем и других высокотехнологичных отраслей промышленности.

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;
- контрольные вопросы.

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. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент.		
Выполнение практического задания №1	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (Введение, 1.1)	5
Изучение материала раздела.	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (Введение, 1)	1
Итого по разделу 1		6
Раздел 2. Законы сохранения.		
Изучение материала раздела.	В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (1) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (2)	2
Итого по разделу 2		2
Раздел 3. Волновое решение и возможность их существования.		
Изучение материала раздела.	В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (4.2)	2
Итого по разделу 3		2
Раздел 4. Дифференциальные уравнения с частными производными.		
Выполнение практического задания №2	К. Н. Волков, Ю. Н. Дерюгин, В. Н. Емельянов. . Разностные схемы в задачах газовой динамики на неструктурированных сетках: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014 (1.1, 1.2)	7
Изучение материала раздела.	В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (2, 3)	1
Итого по разделу 4		8
Раздел 5. Введение в построение расчетных сеток.		
Выполнение практического задания №3	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. .	8

Изучение материала раздела.	Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (1.7) В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (2)	1
Итого по разделу 5		9
Раздел 6. Решение уравнений параболического типа.		
Выполнение практического задания №4	В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (7)	5
Изучение материала раздела.		1
Итого по разделу 6		6
Раздел 7. Моделирование вязких течений.		
Изучение материала раздела.	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (5) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, В. А. Зазимко. . Турбулентные струи - статистические модели и моделирование крупных вихрей: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (1)	2
Итого по разделу 7		2
Раздел 8. Течения с ударными волнами.		
Изучение материала раздела.	В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (6.3)	1
Выполнение практического задания №5	К. Н. Волков, Ю. Н. Дерюгин, В. Н. Емельянов. . Разностные схемы в задачах газовой динамики на неструктурированных сетках: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014 (2.4)	4
Итого по разделу 8		5
Раздел 9. Курсовой проект.		
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. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (Все главы) Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (Все главы)	36
Итого по разделу 9		36

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- контрольные вопросы;
- 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 представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по ПЗ. Отчет по ПЗ должен содержать:

- постановку задачи, математическую модель и основные расчетные соотношения используемых методов решения;
- 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.

Защита ПЗ проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Процедура защиты включает ответы на вопросы преподавателя по работе и разделу курса. В ходе защиты ПЗ обучающиеся должны продемонстрировать знания, умения и навыки:

- культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала,
- понимание постановки задачи, знание основных элементов математической модели, формулировка начальных и граничных условий, обоснование основных упрощающих положений;
- умение определить место исследованного явления в конкретных технических процессах и устройствах;
- умение анализировать полученные результаты и умение прогнозировать характер процессов в технических устройствах на основании полученных данных;
- умение самостоятельно модифицировать математические модели и программные средства для целей конкретизации или расширения области приложения моделей, использованных в работе.

Оценка защиты работы выставляется по 100 бальной шкале с учётом:

- выполнение ПЗ – 40 баллов,
- оформление пояснительной записки – 20 баллов,
- защита результатов, ответы на вопросы и их логика, культура речи – 40 баллов.

ПЗ считается принятой при наборе более 80 баллов.

Контрольные вопросы

Критерии оценивания ответов на контрольные вопросы

Ответы на контрольные вопросы по определенным разделам дисциплины осуществляются в устной форме. Студенту задаются 3 вопроса в рамках изучаемого раздела, для успешной аттестации необходимо правильно ответить на 2 и выше вопросов. Ответ на вопрос должен быть правильным, содержательным, аргументированным.

Список контрольных вопросов:

1. Математическое моделирование физических процессов. Технологии и этапы.
2. Законы сохранения в интегральной форме.
3. Законы сохранения в дифференциальной форме.
4. Классификация дифференциальных уравнений с частными производными.
5. Постановка краевых задач. Корректность краевой задачи.

6. Системы уравнений механики, используемые в численных методах.
7. Модельные уравнения. Модельные задачи.
8. Методы дискретизации уравнений.
9. Метод конечных разностей.
10. Метод конечных объемов.
11. Метод конечных элементов.
12. Разностные схемы: явные и неявные.
13. Дискретизация по времени.
14. Дискретизация по пространству.
15. Свойства разностных схем.
16. Сетки и сеточные функции.
17. Классификация расчетных сеток.
18. Методы построения расчетных сеток в физической области.
19. Многосеточные технологии.
20. Параллельные технологии вычислений.
21. Вычисления на графических процессорах.
22. Алгоритм численного решения уравнений механики сплошной среды.
23. Постановка задачи вычислительного моделирования.
24. Пакеты CAD-технологий моделирования.
25. Пакеты CAE-технологий моделирования.
26. Этапы вычислительного моделирования прикладных задач в среде пакетов.
27. Этапы физического эксперимента.
28. Методы и подходы физического эксперимента.
29. Особенности сопоставления результатов физического и вычислительного эксперимента.
30. Вопросы взаимозаменяемости физического и вычислительного экспериментов.

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 50 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 50%.

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:

- Газовая динамика поворотного управляющего сопла.
- Численное моделирование ударно-волновых структур в канале воздухозаборника перспективного реактивного двигателя.
- Численное моделирование процессов тепломассопереноса в двигателе ЛА.
- Моделирование процессов в прямоточном воздушно-реактивном двигателе.
- Моделирование газодинамических течений вихреразрешающими методами.

- Анализ взаимодействия ударных волн в пульсирующих детонационных двигателях.
- Газодинамика начального участка сверхзвуковых струй.
- Численное моделирование процессов в камере сгорания газотурбинного двигателя.
- Исследование ударно-волновой структуры в воздухозаборнике ГЛА.
- Вычислительное моделирование струйных и сопловых течений.
- Вычислительное моделирование высокоскоростного турбокомпрессора.
- Моделирование газодинамических процессов, сопровождающих работу систем управления вектором тяги.
- Численное решение задач газовой динамики с учетом физико-химических превращений.

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		ПСК-2.03	ОПК-2	ОПК-4	
6	11	Раздел 1. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент.	14	8	4	4	6	10	10	10	Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 2. Законы сохранения.	8	6	4	2	2	10	10	10	Контрольные вопросы
6	11	Раздел 3. Волновое решение и возможность их существования.	15	13	4	9	2	10	10	10	Контрольные вопросы
6	11	Раздел 4. Дифференциальные уравнения с частными производными.	16	8	4	4	8	10	10	10	Контрольные вопросы
6	11	Раздел 5. Введение в построение расчетных сеток.	16	7	5	2	9	10	10	10	Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 6. Решение уравнений параболического типа.	16	10	5	5	6	10	10	10	Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 7. Моделирование вязких течений.	10	8	4	4	2	10	10	10	Контрольные вопросы
6	11	Раздел 8. Течения с ударными волнами.	13	8	4	4	5	15	15	15	Отчет по практическому заданию
6	11	Раздел 9. Курсовой проект.	36	0	0	0	36	15	15	15	Курсовой проект
Всего за 11 семестр			144	68	34	34	76	100	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	34	76	100	100	100	