

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

(подпись) ЛЕВИХИН А.А.
ФИО
«___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование авиационных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

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	
4	8	3	108	51	17	0	34	57	0	0	57	диф. зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

год набора группы: 2025

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ _____

Мустейкис Антон Иванович, старший преподаватель

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. _____

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. _____

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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-1.10 — Владеет CAE системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-1.10

знания:

Теоретические основы разностного моделирования; Знание физических особенностей моделируемых процессов; Знание принципов построения конечно-элементных и сеточных моделей;

умения:

Умеет транслировать данные между CAD и CAE системами; Управление параметризацией объектов; Подготовка графического материала для оформления КД; Наложение граничных условий; Задание параметров среды для проведения расчета; Запуск расчёта; Остановка расчёта;

навыки:

Навыки трансляции данных из/в разные CAE системы; Анализ результатов расчета; Обработка результатов расчёта.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ**.

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-3 — Способен разрабатывать нормативно-техническую документацию, связанную с профессиональной деятельностью
- ПСК-1.1 — Способен разрабатывать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей и стендового оборудования
- ПСК-1.10 — Владеет CAE системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю
- ПСК-1.11 — Владеет САМ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю
- ПСК-1.6 — Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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-1.10
4	8	Раздел 1. Введение. Проблематика исследования высокотемпературных процессов. Основные принципы моделирования. 1.1 Введение. Особенности высокотемпературных процессов в элементах двигателей ЛА. 1.2 Основные принципы и методы моделирования. Метод контрольного объема. Расчетная сетка.	7	2	2	0	5	10
4	8	Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов. 2.1 Стационарная одномерная теплопроводность. Получение дискретного аналога. 2.2 Стационарная одномерная теплопроводность. Граничные условия. 2.3 Методы решения систем алгебраических уравнений. 2.4 Двух- и трехмерная стационарная теплопроводность.	12	6	2	4	6	10
4	8	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов. 3.1 Нестационарная одномерная теплопроводность. Основные расчетные схемы. 3.2 Устойчивость расчетных схем.	12	6	2	4	6	10
4	8	Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии. 4.1 Конвекция и диффузия как явления. Обобщенное дифференциальное уравнение конвективно-диффузионного переноса. Стационарная одномерная конвекция и диффузия. 4.2 Получение дискретного аналога: различные расчетные схемы. 4.3 Двух- и трехмерные конвекция и диффузия. Граничные условия.	12	6	2	4	6	10
4	8	Раздел 5. Совместное определение поля скоростей и давлений. 5.1 Особенности совместного определения поля скоростей и давлений. Совмещенная и шахматная сетки. 5.2 Алгоритм SIMPLE. Прочие подобные алгоритмы.	8	2	2	0	6	10
4	8	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов в камере сгорания ГТД. 6.1 Моделирование турбулентности. 6.2 Моделирование двухфазных сред. 6.3. Моделирование течений смесей газов. Течения с химическими реакциями.	21	16	6	10	5	20
4	8	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке. Взаимосвязи моделей физических процессов, учитываемых при моделировании течений с горением в потоке в камере сгорания ГТД.	36	13	1	12	23	30
Всего за 8 семестр			108	51	17	34	57	100
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	Решение задач стационарной одномерной теплопроводности при различных граничных условиях итерационным методом.	4
2	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	Решение задач нестационарной одномерной теплопроводности с использованием явной схемы.	2
3		Решение задач нестационарной одномерной теплопроводности с использованием неявной схемы.	2
4	Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.	Решение задач стационарной одномерной конвекции и диффузии с использованием схемы "против потока".	2
5		Решение задач стационарной одномерной конвекции и диффузии с использованием схемы с "центрными разностями".	2
6	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов в камере сгорания ГТД.	Моделирование двухфазного течения с использованием модели VOF	5
7		Моделирование двухфазного течения с использованием модели DPM	5
8	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.	Моделирование течения с горением в камере сгорания малоразмерного ГТД. Выбор моделей физических процессов и расчетных схем.	2
9		Моделирование течения с горением в камере сгорания малоразмерного ГТД. Анализ результатов.	4
10		Моделирование течения с горением в камере сгорания	2

		малоразмерного ГТД. Создание расчетной области и задание граничных условий.	
11		Моделирование течения с горением в камере сгорания малоразмерного ГТД. Получение численного решения.	4
Всего за 8 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение. Проблематика исследования высокотемпературных процессов. Основные принципы моделирования.	Проработка теоретического материала	5
2	Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	Выполнение домашнего задания и оформление отчета	6
3	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	Выполнение домашнего задания и оформление отчета	6
4	Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.	Выполнение домашнего задания и оформление отчета	6
5	Раздел 5. Совместное определение поля скоростей и давлений.	Проработка теоретического материала	6
6	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов в камере сгорания ГТД.	Проработка теоретического материала	5
7	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.	Проработка теоретического материала	10
8		Оформление отчета по практическому занятию	13
Всего за 8 семестр			57

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
8					ДЗ	ДР			ДЗ	ДР		ДЗ			Отч. по ПЗ	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ДЗ – домашнее задание;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- домашнее задание;
- отчет по практическому заданию.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. И. Мустейкис. . Моделирование процессов в камере сгорания ГТД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 41 экз.
2. А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач теплопроводности. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 39 экз.
3. А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач конвекции и диффузии. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017, 36 экз.

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. <http://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <http://www.biblio-online.ru/> — Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
3. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2/> — 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. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. ANSYS 2020 R2.

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. ANSYS 2020 R2.

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 **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-1.10 Владеет САЕ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами и способами моделирования процессов в элементах газотурбинных двигателей, в частности, в камере сгорания. Учебный курс предполагает усвоение терминологии, изучения методов построения математических моделей и использовании численных методов и ЭВМ при моделировании.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- домашнее задание;
- отчет по практическому заданию.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 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. Введение. Проблематика исследования высокотемпературных процессов. Основные принципы моделирования.		
Проработка теоретического материала	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач теплопроводности: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1)	5
Итого по разделу 1		5
Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.		
Выполнение домашнего задания и оформление отчета	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач теплопроводности: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (2-3)	6
Итого по разделу 2		6
Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.		
Выполнение домашнего задания и оформление отчета	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач теплопроводности: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (4)	6
Итого по разделу 3		6
Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.		
Выполнение домашнего задания и оформление отчета	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач конвекции и диффузии: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1-2)	6
Итого по разделу 4		6
Раздел 5. Совместное определение поля скоростей и давлений.		
Проработка теоретического материала	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач конвекции и диффузии: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3-4)	6
Итого по разделу 5		6
Раздел 6. Моделирование различных физических процессов в камере сгорания ГТД.		
Проработка теоретического материала	А. И. Мустейкис. . Моделирование процессов в камере сгорания ГТД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1)	5
Итого по разделу 6		5
Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.		
Проработка теоретического материала	А. И. Мустейкис. . Моделирование процессов в камере сгорания ГТД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (3-4)	10
Оформление отчета по практическому занятию		13
Итого по разделу 7		23

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- домашнее задание;
- дифференцированный зачет.

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

Прием отчета проходит в форме доклада студента и ответов на вопросы преподавателя.

Критерии оценивания: отчет считается принятым при получении не менее двух правильных ответов.

За успешную защиту отчета студенту начисляется 20 баллов.

Перечень вопросов входит в состав УМК дисциплины.

Отчет подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов;
- отсутствия необходимого графического материала;
- некорректной обработки результатов;
- низкое качество графического материала.

Перечень заданий и шаблон отчета входит в состав УМК дисциплины.

Домашнее задание

Отчет по домашнему заданию представляется в электронном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета.

Прием отчета проходит в форме проверки отчета преподавателем на предмет соответствия следующим критериям:

- верное задание системы уравнений – 3 балла;
- верное определение конечного результата – 4 балла;
- оформление задания в соответствии с шаблоном отчета – 3 балла.

За каждое задание не более 10 баллов.

Перечень заданий и шаблон отчета входит в состав УМК дисциплины.

Дифференцированный зачет

Предусматривается два сценария проведения дифференцированного зачета.

1. Дифференцированный зачет выставляется по количеству баллов, заработанными обучающимся в течении семестра. Суммарный балл выставляется по результатам написания диагностических работ, посещаемости аудиторных занятий и баллов за выполнение домашних заданий и практического задания.

Критерии оценивания:

менее 51 балла - не зачтено;

51 - 74 балла - зачтено-удовлетворительно;

75 - 84 балла - зачтено-хорошо;

85 и более баллов - зачтено-отлично.

2. Дифференцированный зачет проводится в форме устного ответа студента на три вопроса по тематике дисциплины.

Критерии оценивания:

отсутствие ответа на все вопросы - не зачтено;

развернутый ответ хотя бы на один вопрос - удовлетворительно;

развернутый ответ хотя бы на два вопроса - зачтено-хорошо;

развернутый ответ на все три вопроса - зачтено-отлично.

Вопросы представлены в УМК дисциплины

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-1.10	
4	8	Раздел 1. Введение. Проблематика исследования высокотемпературных процессов. Основные принципы моделирования.	7	2	2	0	5	10	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	12	6	2	4	6	10	Домашнее задание
4	8	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	12	6	2	4	6	10	Домашнее задание
4	8	Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.	12	6	2	4	6	10	Домашнее задание
4	8	Раздел 5. Совместное определение поля скоростей и давлений.	8	2	2	0	6	10	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов в камере сгорания ГТД.	21	16	6	10	5	20	Отчет по практическому заданию
4	8	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.	36	13	1	12	23	30	Отчет по практическому заданию
Всего за 8 семестр			108	51	17	34	57	100	
Всего по дисциплине			108	51	17	34	57	100	

Оценочные материалы по дисциплине МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ПСК-1.10 - Владеет САЕ системой на уровне, необходимом для выполнения работ по профилю

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Вам необходимо выполнить численное моделирование течения и горения в камере сгорания газотурбинного двигателя. Опишите, как выбор типа расчетной сетки (структурированной, неструктурированной, гибридной) влияет на точность и стабильность решения. Укажите, какие ошибки могут возникнуть при некачественной генерации сетки и как их можно минимизировать.

№ 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Что означает термин "устойчивость численного метода"?

1. Способность метода давать точное решение
2. Независимость решения от начальных условий
3. Способность метода ограничивать ошибки вычислений
4. Устойчивость метода к округлениям

№ 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой подход моделирования турбулентности чаще всего применяется при инженерных CFD-расчетах камеры сгорания?

1. DNS (прямое численное моделирование)
2. LES (моделирование больших вихрей)
3. RANS (усредненные уравнения Навье-Стокса)
4. SPH (метод сглаженных частиц)

№ 4 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие физические процессы необходимо учитывать при моделировании горения?

1. Турбулентное течение
2. Химическая кинетика
3. Адиабатическое расширение
4. Процессы фазового перехода

№ 5 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие численные методы применяются для решения уравнений переноса в задачах движения несжимаемой жидкости?

1. Метод SIMPLE
2. Метод Рунге-Кутты
3. Метод Ньютона
4. Метод PISO

№ 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие модели применяются для учета химических реакций при численном моделировании горения?

1. Модель ламинарного пламени

2. Модель глобальной кинетики
 3. Модель Дарси-Вейсбаха
 4. Модель Лагранжа
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
- Какой из перечисленных методов используется для решения линейных систем уравнений?
1. Метод бисекции
 2. Метод конечных разностей
 3. Метод Гаусса-Зейделя
 4. Метод Монте-Карло
- № 8 Прочитайте текст и установите последовательность
- При моделировании горения в камере сгорания необходимо корректно настроить модель турбулентного горения. Определите правильную последовательность этапов.
- 1) Выбор модели турбулентности (RANS, LES, DNS)
 - 2) Определение модели горения (Flamelet, PDF, EDC)
 - 3) Задание параметров входных потоков топлива и окислителя
 - 4) Учет теплового излучения и теплопередачи
 - 5) Оптимизация параметров сетки для учета турбулентных эффектов
- № 9 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
- Вам поручено выполнить численное моделирование процессов горения в камере сгорания газотурбинного двигателя с нетипичной геометрией, включающей сложные каналы и завихрители. Какие основные трудности могут возникнуть при моделировании такой камеры? Как следует адаптировать расчетную сетку, модель турбулентности и граничные условия для корректного расчета?
- № 10 Прочитайте текст и установите последовательность
- При численном моделировании турбулентного горения в камере сгорания газотурбинного двигателя необходимо учесть как химические реакции, так и влияние турбулентности на процесс горения. Вам необходимо оптимизировать расчетную модель, обеспечив баланс между точностью и вычислительной эффективностью. Определите правильную последовательность действий.
- 1) Анализ требований к точности и выбор модели горения
 - 2) Определение критериев адаптивного изменения расчетной сетки
 - 3) Выбор подходящей модели турбулентности (LES, RANS, гибридный подход)
 - 4) Настройка схем дискретизации для устойчивого численного решения
 - 5) Проведение тестового расчета и анализ чувствительности параметров модели
- № 11 Прочитайте текст и установите соответствие
- Выберите соответствие между физическими процессами в камере сгорания и моделями/подходами турбулентности, применяемыми для их описания.
1. Развитие крупных вихревых структур
 2. Диссипация кинетической энергии турбулентности
 3. Воспроизведение турбулентного каскада с высоким разрешением
 4. Усреднение характеристик потока во времени

А - Large Eddy Simulation (LES)

Б - Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS)

В - Direct Numerical Simulation (DNS)

Г - k-ε модель

Д - k-ω SST модель

№ 12 Прочитайте текст и установите соответствие

Выберите соответствие между методами численной дискретизации и их основными характеристиками.

1. Метод конечных разностей (FDM)

2. Метод конечных элементов (FEM)

3. Метод конечных объемов (FVM)

4. Метод спектральных элементов (SEM)

А - Применяется для решения задач механики сплошной среды, обладает гибкостью в построении сеток

Б - Наиболее широко используется в вычислительной гидродинамике, обеспечивает сохранение потоков

В - Основан на разностных представлениях производных, прост в реализации, но сложен для нерегулярных сеток

Г - Обеспечивает высокую точность за счет использования полиномов высокой степени

Д - Комбинирует преимущества различных методов для повышения точности и устойчивости