

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 технологических процессов производства авиационных, ракетных 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	
5	9	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-5.8 — Способен применять системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) при решении задач профессиональной деятельности

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-5.8

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; Подготовка графического материала для оформления КД; Наложение граничных условий; Задание параметров среды для проведения расчета; Запуск расчёта; Остановка расчёта;

навыки:

Анализ результатов расчета; Обработка результатов расчёта.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части 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-5.1 — Способен разрабатывать и выпускать конструкторскую документацию на детали и узлы двигателей, а так же средства технологического оснащения
- ПСК-5.13 — Способен применять системы автоматизированного проектирования (CAD) при решении задач профессиональной деятельности
- ПСК-5.4/24 — Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям
- ПСК-5.8 — Способен применять системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) при решении задач профессиональной деятельности

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-5.8
5	9	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
5	9	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
5	9	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
5	9	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
5	9	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
5	9	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
5	9	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 9 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 с "центральными разностями".	2
5		Решение задач стационарной одномерной конвекции и диффузии с использованием схемы "против потока".	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. Получение численного решения.	6
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. Анализ результатов.	2
Всего за 9 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 9 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
9					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 **обязательной части 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-5.8 Способен применять системы автоматизации инженерных расчётов (САЕ) при решении задач профессиональной деятельности.

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-5.8	
5	9	Раздел 1. Введение. Проблематика исследования высокотемпературных процессов. Основные принципы моделирования.	7	2	2	0	5	10	Отчет по практическому заданию
5	9	Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	12	6	2	4	6	10	Домашнее задание
5	9	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	12	6	2	4	6	10	Домашнее задание
5	9	Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.	12	6	2	4	6	10	Домашнее задание
5	9	Раздел 5. Совместное определение поля скоростей и давлений.	8	2	2	0	6	10	Отчет по практическому заданию
5	9	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов в камере сгорания ГТД.	21	16	6	10	5	20	Отчет по практическому заданию
5	9	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.	36	13	1	12	23	30	Отчет по практическому заданию
Всего за 9 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-5.8 - Способен применять системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) при решении задач профессиональной деятельности

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какой метод численного моделирования чаще всего применяется для расчета течений в камере сгорания?
1. Метод конечных разностей
 2. Метод Монте-Карло
 3. Метод конечных элементов
 4. Метод конечных объемов
- № 2 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какой метод используется для учета химических реакций при численном моделировании горения?
1. Метод Жуковского
 2. Метод Ван-дер-Поля
 3. Метод глобальных кинетических механизмов
 4. Метод Лагранжа
- № 3 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Какой параметр наиболее важен при моделировании турбулентного горения?
1. Число Маха
 2. Число Прандтля
 3. Число Рейнольдса
 4. Число Фруда
- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие
Выберите соответствие между типами расчетных сеток и их применимостью в моделировании процессов движения жидкости.
1. Структурированная сетка
 2. Неструктурированная сетка
 3. Гибридная сетка
 4. Адаптивная сетка
- А - Подходит для регулярных геометрий с низкими градиентами переменных
- Б - Позволяет моделировать сложные геометрии, но требует значительных вычислительных ресурсов
- В - Оптимальна для задач с большими градиентами переменных, так как уточняет расчет в критических областях
- Г - Обеспечивает преимущество совместного использования структурированных и неструктурированных сеток

Д - Используется для построения сетки в сильно искривленных областях с сохранением качества элементов

№ 5 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

При выполнении численного моделирования горения в камере сгорания наблюдается нестабильность расчетов и значительные численные ошибки. Какую роль играет выбор схем дискретизации уравнений (конвективных, диффузионных, временных) в повышении устойчивости решения? Какой подход можно применить для минимизации численных ошибок и получения физически корректных результатов?

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

После выполнения численного расчета камеры сгорания газотурбинного двигателя необходимо убедиться в достоверности результатов. Определите правильную последовательность оценки валидации и верификации расчетной модели.

- 1) Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными
- 2) Анализ чувствительности расчетной сетки и учет возможных ошибок дискретизации
- 3) Проверка устойчивости и сходимости численного решения
- 4) Анализ физической обоснованности полученных полей температуры и скорости
- 5) Коррекция модели и параметров расчета при обнаружении отклонений

№ 7 Прочитайте текст и установите последовательность

Вы используете метод конечных объемов для моделирования течения и горения в камере сгорания. Определите правильную последовательность этапов численного решения.

- 1) Дискретизация уравнений движения и горения
- 2) Расчет потоков между контрольными объемами
- 3) Решение системы алгебраических уравнений
- 4) Построение и уточнение расчетной сетки
- 5) Анализ сходимости и коррекция параметров расчета

№ 8 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

При моделировании процессов в камере сгорания необходимо учитывать турбулентные эффекты. Сравните модели турбулентности RANS, LES и DNS по их применимости в расчетах камер сгорания ГТД. Опишите их преимущества и недостатки.

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

Какие параметры определяют точность численного моделирования?

1. Размер расчетной сетки
2. Количество итераций
3. Скорость расчета
4. Начальное приближение

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

Какие критерии важны для проверки корректности численного моделирования?

1. Сходимость решения
2. Валидация результатов
3. Баланс массы
4. Баланс моментов

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

ответов

Почему возникает необходимость в разработке специальных алгоритмов определения поля скоростей и давлений?

1. Отсутствует уравнение сохранения для величины давления
2. Поля давления и скорости тесно связаны друг с другом
3. Получение более компактной расчетной схемы
4. Ускорение расчетной процедуры

№ 12 Прочитайте текст и установите соответствие

Выберите соответствие между моделями горения и их применением в расчетах камеры сгорания.

1. Модель предположения о мгновенном смешении (PDF)
2. Модель горения с детальным химическим кинетическим механизмом
3. Eddy Dissipation Concept (EDC)
4. Flamelet модель

А - Используется для моделирования турбулентного горения, основана на взаимодействии вихрей и химии

Б - Применяется в задачах детального моделирования химии горения, но требует значительных вычислительных ресурсов

В - Позволяет учитывать турбулентное смешение с вероятностным распределением

Г - Используется в сильнотурбулентных потоках, предполагает, что турбулентность доминирует над химией

Д - Применяется для моделирования ламинарного и малотурбулентного горения, учитывает мелкомасштабные структуры пламени