

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (подпись) Юнаков Л. П.
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА И ДИНАМИКИ ЖИДКОСТИ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование жидкостных ракетных двигателей
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	34	0	17	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: 2024

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

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА И ДИНАМИКИ ЖИДКОСТИ

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 — способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-5

знания:

основные положения метода контрольного объема, виды и особенности математических моделей высокотемпературных процессов;

умения:

подготовка и проведение численного моделирования высокотемпературных процессов;

навыки:

анализ результатов расчета; оформление отчета по результатам моделирования.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА И ДИНАМИКИ ЖИДКОСТИ** 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: **ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ, ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА**.

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 — Способен разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы

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
5	9	Раздел 1. Введение. Проблематика исследования теплообмена и динамики. Основные принципы моделирования. 1.1 Введение. Особенности высокотемпературных процессов в элементах ВТУ. 1.2 Основные принципы и методы моделирования. Метод контрольного объема. Расчетная сетка.	8	4	4	0	4	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.	16	8	4	4	8	10
5	9	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов. 3.1 Нестационарная одномерная теплопроводность. Основные расчетные схемы. 3.2 Устойчивость расчетных схем.	17	9	6	3	8	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.	14	6	4	2	8	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.	9	4	4	0	5	10
5	9	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов. 6.1 Моделирование турбулентности. 6.2 Моделирование двухфазных сред. 6.3 Моделирование течений смесей газов. Течения с химическими реакциями.	18	6	6	0	12	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.	26	14	6	8	12	30
Всего за 9 семестр			108	51	34	17	57	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	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.	1.5
3		Решение задач нестационарной одномерной теплопроводности с использованием неявной схемы.	1.5
4	Раздел 4. Конвективно- диффузионный перенос вещества и энергии.	Решение задач стационарной одномерной конвекции и диффузии.	2
5	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.	Выбор моделей физических процессов и расчетных схем.	1
6		Получение численного решения.	5
7		Создание расчетной области и задание граничных условий.	1
8		Анализ результатов.	1
Всего за 9 семестр			17

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение. Проблематика исследования	Проработка	4

	теплообмена и динамики. Основные принципы моделирования.	теоретического материала	
2	Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	Оформление отчета.	4
3		Выполнение домашнего задания.	4
4	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	Оформление отчета.	4
5		Выполнение домашнего задания.	4
6	Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.	Оформление отчета.	4
7		Выполнение домашнего задания.	4
8	Раздел 5. Совместное определение поля скоростей и давлений.	Проработка теоретического материала	5
9	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов.	Проработка теоретического материала	12
10	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.	Оформление отчета по практическому заданию.	12
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://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
2. <http://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
3. <http://www.biblio-online.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 2017 Teaching Advanced.

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 2017 Teaching Advanced.

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 **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕНА И ДИНАМИКИ ЖИДКОСТИ** 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-5 способность проводить расчёты процессов в ракетных двигателях, прочности и надёжности изделий и их составных элементов.

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 (**34 ч.**), практические занятия (**17 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 теплообмена и динамики. 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)	4
Итого по разделу 1		4
Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.		
Оформление отчета.	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач теплопроводности: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (2)	4
Выполнение домашнего задания.		4
Итого по разделу 2		8
Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.		
Оформление отчета.	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач теплопроводности: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (3-4)	4
Выполнение домашнего задания.		4
Итого по разделу 3		8
Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.		
Оформление отчета.	А. И. Мустейкис, Л. П. Юнаков. . Численное решение задач конвекции и диффузии: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1, 2)	4
Выполнение домашнего задания.		4
Итого по разделу 4		8
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)	5
Итого по разделу 5		5
Раздел 6. Моделирование различных физических процессов.		
Проработка теоретического материала	А. И. Мустейкис. . Моделирование процессов в камере сгорания ГТД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (1-2)	12
Итого по разделу 6		12
Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.		
Оформление отчета по практическому заданию.	А. И. Мустейкис. . Моделирование процессов в камере сгорания ГТД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2017 (2)	12
Итого по разделу 7		12

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:

- корректное задание расчетной области – 2 балла;
- верное задание системы уравнений – 4 балла;
- верное определение конечного результата – 2 балла;
- оформление задания в соответствии с шаблоном отчета – 2 балла.

За каждое задание не более 10 баллов.

Перечень заданий и шаблон отчета входит в состав УМК дисциплины.

Дифференцированный зачет

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.

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	
5	9	Раздел 1. Введение. Проблематика исследования теплообмена и динамики. Основные принципы моделирования.	8	4	4	0	4	10	Отчет по практическому заданию
5	9	Раздел 2. Стационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	16	8	4	4	8	10	Домашнее задание
5	9	Раздел 3. Нестационарная проблема. Метод получения дискретных аналогов.	17	9	6	3	8	10	Домашнее задание
5	9	Раздел 4. Конвективно-диффузионный перенос вещества и энергии.	14	6	4	2	8	10	Домашнее задание
5	9	Раздел 5. Совместное определение поля скоростей и давлений.	9	4	4	0	5	10	Отчет по практическому заданию
5	9	Раздел 6. Моделирование различных физических процессов.	18	6	6	0	12	20	Отчет по практическому заданию
5	9	Раздел 7. Совокупная задача моделирования течений с горением в потоке.	26	14	6	8	12	30	Отчет по практическому заданию
Всего за 9 семестр			108	51	34	17	57	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	

Критерии оценивания

ПСК-5

Вопросы открытого типа:

- № 1 Как связано значение переменной в расчетном узле на текущем шаге по времени в «явной» (explicit) схеме нестационарной задачи со значением переменных в соседних точках (расчетных узлах) на текущем (том же) шаге по времени? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 2 Какой параметр расчетной задачи можно изменить для выполнения требуемого условия по величине шага по времени в «явной» схеме нестационарной задачи? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 3 От чего зависит значение переменной в расчетном узле на текущем шаге по времени в «неявной» (implicit) схеме нестационарной задачи? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 4 В каком случае значение зависимой переменной на грани контрольного объема в расчетной схеме "против потока" может быть связано со значением переменной в расчетном узле данного контрольного объема? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 5 На какой грани контрольного объема в схеме "центральные разности" величина переменной оказывается связанной со значением переменной в соседнем расчетном узле? Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 6 Какое из перечисленных уравнений может не использоваться при моделировании однофазного течения смеси веществ без горения в камере ракетного двигателя. Выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа.

- Уравнение неразрывности потока
- Уравнение сохранения количества движения
- Уравнение сохранения энергии
- Уравнение состояния
- Транспортное уравнение для массовой концентрации компонент смеси

- № 7 Перечислите основные составляющие обобщенного дифференциального уравнения. Запишите развернутый обоснованный ответ.
- № 8 При моделировании течения с горением в камере ракетного двигателя температура продуктов сгорания получается значительно выше термодинамически возможной температуры. Приведите возможные варианты получения корректной температуры продуктов сгорания. Выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа.

- Использование равновесной теплоемкости продуктов сгорания
- Использование сокращенного кинетического механизма
- Использование глобального кинетического механизма

- № 9 Перечислите возможные модели двухфазного течения, которые позволяют моделировать распыл жидкостной центробежной форсунки в ЖРД. Выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа.

- Модель центробежной форсунки (DPM)
- Модель VOF to DPM
- Модель VOF

- № 10 Какое транспортное уравнение раскладывается на три уравнения при моделировании течения в ракетном двигателе в трехмерной постановке? Запишите развернутый обоснованный ответ.

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Назовите наиболее распространенный метод аппроксимации градиента переменной на грани контрольного объема?

Выберите один из следующих вариантов:

- С помощью конечных разностей.

- Линейная зависимость переменной между соседними расчетными узлами.
 - С помощью специальных аппроксимационных таблиц.
- № 2 Как называется метод для получения дискретного аналога дифференциального уравнения, основанный на использовании физических законов сохранения для некоторого объема пространства?
- Выберите один из следующих вариантов:
- Вариационный метод
 - Метод взвешенных невязок
 - Метод контрольного объема
 - Метод прогонки
- № 3 В чем заключается суть метода контрольного объема?
- Выберите один из следующих вариантов:
- Интегрирование исходного дифференциального уравнения по выделенному элементу пространства
 - Определение тепловых потоков на некоторых выбранных границах выделенного элемента пространства
 - Определение баланса потоков на выбранных гранях выделенного элемента пространства
- № 4 В чем недостаток применения явной схемы получения дискретного аналога нестационарной задачи?
- Выберите один из следующих вариантов:
- Необходимо тщательно подбирать коэффициенты дискретного аналога.
 - Уравнения получаются интегрированием по контрольному объему с продвижением на некоторый шаг dt по временной.
 - Величина максимально возможного шага по времени ничем не ограничена.
 - Существенно ограничена величина возможного шага по времени.
- № 5 Установите соответствие границ расчетной области – камера ракетного двигателя, и наиболее подходящих для них типов граничных условий:
- | | |
|---------------------|---|
| А – вход компонента | 1 – массовый расход (mass flow inlet) |
| Б – срез сопла | 2 – заданное давление (pressure outlet) |
| | 3 – свободный выход (outflow) |
| | 4 – скорость потока (velocity inlet) |
- № 6 Установите соответствие варианта постановки задачи моделирования течения в камере ракетного двигателя и наиболее подходящего типа решателя:
- | | |
|---|---------------------------|
| А – моделирование течения с горением в камере сгорания без учета сопловой части | 1 – Pressure Based Solver |
| Б – моделирование течения с горением с учетом сопловой части | 2 – Density Based Solver |
| | 3 – Incompressible Solver |
- № 7 Установите последовательность проведения расчетов при использовании алгоритма совместного расчета поля скоростей и давлений SIMPLE:
- А – Задание начальных значений скорости и давления
- Б – Решение уравнения для коррекции давления
- В – Решение уравнений сохранения импульса

- Г – Уточнение поля скоростей и давлений
- Д – Решение остальных транспортных уравнений
- Е – Проверка сходимости решения
- № 8 Установите последовательность проведения расчетов при совмещенном расчете поля скоростей и давлений (Coupled):
- А – Задание начальных значений скорости и давления
- Б – Уточнение поля скоростей и давлений
- В – Совместное решение системы уравнений сохранения импульса и уравнения неразрывности
- Г – Решение остальных транспортных уравнений
- Д – Проверка сходимости решения
- № 9 Где определяются компоненты вектора скорости при использовании шахматной сетки (staggered grid)?
- Выберите один из следующих вариантов:
- На гранях исходного контрольного объема
 - В расчетных узлах исходного контрольного объема
 - На гранях дополнительного контрольного объема
 - На гранях соседнего дополнительного контрольного объема
- № 10 Установите соответствие типа граничного условия и характеристики задания потоков переменных:
- | | |
|-------------------------------------|---|
| А – граничное условие стенки | 1 - нулевой градиент скалярных переменных в направлении, перпендикулярном границе |
| Б – граничное условие симметрии | 2 - поток всех зависимых переменных (кроме давления) равен нулю |
| В – граничное условие периодичности | 3 - поток всех зависимых переменных, покидающих расчетную область, равен потоку через входную границу |
| | 4 - потоки скалярных переменных через границу равны нулю |