

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика и молекулярная физика

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
КОМПЬЮТЕРНЫЕ КОДЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.03
Трудоемкость в зачетных единицах:	1 семестр - 3;
Часов (всего) по учебному плану:	108 часов
Лекции	1 семестр - 16 часов;
Практические занятия	1 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	1 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	1 семестр - 73,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Индивидуальный проект	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	1 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Артемов В.И.
Идентификатор	Rd0ce031d-ArtemovVI-cec0a72f	

(подпись)

В.И. Артемов

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc	

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615	

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение современных компьютерных кодов для моделирования теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании

Задачи дисциплины

- изучение возможностей современных компьютерных кодов для моделирования теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании;;
- изучение методов построения неструктурированных и адаптивных сеток и особенностей получения на этих сетках дискретных аналогов исходных уравнений переноса;;
- изучение принципов параллельных вычислений при решении многомерных задач термогидравлики и используемых для этих целей программных средств;;
- освоение открытого компьютерного кода ANES;;
- изучение приемов работы с компьютерным кодом OpenFOAM.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен анализировать и моделировать физические процессы, используемые в атомной энергетике	ИД-1 _{ПК-1} Имеет навыки математического описания и моделирования процессов в рабочих телах и элементах энергетических установок	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- Визуальные способы представления результатов расчетов;- Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов;- Этапы решения прикладной задачи с помощью CFD кодов;- Типы сеток контрольных объемов метода МКО и принципы их построения;- Архитектуру, основное функциональное наполнение, математические модели и принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов термогидравлики в энергетических установках;. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- Уметь обрабатывать результаты расчетов с помощью постпроцессоров ANES и ParaView;- Привести описание своей задачи к математическим моделям кода ANES;- Использовать макропеременные ANES для описания математической постановки задачи;- Строить структурированные и неструктурированные сетки кода ANES;- Проводить расчеты с использованием Компилятора и Решателя кода ANES.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплофизика и молекулярная физика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать терминологию в области гидродинамики и теплообмена
- знать основы векторного анализа
- знать основные уравнения механики сплошных сред (уравнения неразрывности, Навье-Стокса и энергии)
- знать основные безразмерные критерии в задачах гидродинамики и теплообмена
- уметь самостоятельно разбираться в различных формах уравнений механики сплошных сред
- уметь использовать стандартные программные средства для обработки результатов расчета и построения графической информации

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Введение	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 1.1 , п. 1.2	
1.1	Введение	2		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2	Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов	1		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 8-12
2.1	Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов	1		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
3	Первое знакомство с кодом ANES	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		<u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 470 – 489
3.1	Первое знакомство с кодом ANES	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-		
4	Ф-переменные. Расчетная область. Граничные условия	10		4	-	2	-	-	-	-	-	4	-		<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.1,2 расчетного задания: 1.Формулировка физической и математической постановки задачи. 2.Выбор Ф-переменных прикладной задачи, макропеременных и формулировка граничных условий. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 13 - 23
4.1	Ф-переменные	7		1	-	2	-	-	-	-	-	4	-		
4.2	Расчетная область	2		2	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4.3	Граничные условия	1		1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
5	Функциональное наполнение кода ANES	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п. 3 расчетного задания: 3.Построение расчетной области и задание		

5.1	Функциональное наполнение кода ANES	7	1	-	2	-	-	-	-	-	4	-	необходимых патчей. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 133 - 144
6	Сетки контрольных объемов МКО	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.4 расчетного задания:
6.1	Сетки контрольных объемов МКО	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	4. Построение базовой численной сетки, доказательство сеточной сходимости. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 424- 442
7	Дискретные уравнения и методы их решения	9	1	-	2	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.5 расчетного задания:
7.1	Дискретные уравнения и методы их решения	9	1	-	2	-	-	-	-	-	6	-	5. Задание граничных условий на языке файла проекта кода ANES <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], п. 2.2, п. 2.3
8	Параллельные вычисления	14	1	-	1	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.6 расчетного задания:
8.1	Параллельные вычисления	14	1	-	1	-	-	-	-	-	12	-	6. Выполнение расчетов. Анализ полученных результатов <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 6.5
9	Обработка результатов расчетов	5	1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п. 7 расчетного задания:
9.1	Обработка результатов расчетов	5	1	-	2	-	-	-	-	-	2	-	7. Обработка результатов и сравнение с имеющимися в литературе данными <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], п. 6.4
10	Открытый код OpenFOAM	6	1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	<u>Подготовка расчетных заданий:</u> Выполнение п.8 расчетного задания:
10.1	Открытый код OpenFOAM	6	1	-	1	-	-	-	-	-	4	-	8. Подготовка презентации. Защита расчетного задания <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 5-25

	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	108.0		16	-	16	-	2	-	-	0.5	40	33.5	
	Итого за семестр	108.0		16	-	16	2	-	-	0.5	73.5			

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение

1.1. Введение

Что такое Computational Fluid Dynamics (CFD) технологии. История развития. Возможности CFD технологии. План практической работы студентов. Установка кода ANES. Распределение индивидуальных задач..

2. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов

2.1. Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов

Анализ этапов на примере задач о естественной конвекции в каверне и течении в канале с трубным пучком. Демонстрация возможностей кода ANES для описания расчетной области со сложной геометрией..

3. Первое знакомство с кодом ANES

3.1. Первое знакомство с кодом ANES

Изучение алгоритмов запуска ANES. Изучение структуры файла проекта ANES (его основные секции и операторы) и способов редактирования файла проекта (в текстовом редакторе и в дизайнера проекта). Макропеременные проекта. Результаты расчетов - поля пользователя и V-переменные. Анализ результатов с помощью постпроцессоров ANES и ParaView.

4. Ф-переменные. Расчетная область. Граничные условия

4.1. Ф-переменные

Обобщенное уравнение переноса в консервативной форме для CFD кодов и специфика его отдельных членов. Описание членов обобщенного уравнения в файле проекта кода ANES. Линеаризация источников и «внутренние» источники кода. Типы физических граничных условий..

4.2. Расчетная область

Алгоритмы описания расчетной области (PO) в современных CFD кодах: простая базовая PO, алгоритм вычитания заблокированных объектов, суммирование геометрических объектов. Алгоритм построения PO в коде ANES. Патчи кода ANES - основные объекты для построения PO.

4.3. Граничные условия

Описание граничных условий в файле проекта ANES. Граничные условия ANES по умолчанию.

5. Функциональное наполнение кода ANES

5.1. Функциональное наполнение кода ANES

Двухпараметрические модели турбулентности кода. Модели k-ε для больших и низких турбулентных чисел Рейнольдса. Логарифмический профиль скорости для сдвигового течения. Пристенные функции. Настройка сетки контрольных объемов для различных моделей. Задание турбулентных начальных условий.

6. Сетки контрольных объемов МКО

6.1. Сетки контрольных объемов МКО

Основные элементы КО (вершины, ребра, грани и контрольные объемы). Два типа сеток КО: структурированные и неструктурированные. Недостатки и преимущества этих сеток. Основные правила построения сеток КО. Понятие сеточной сходимости. Структурированные сетки кода ANES. Краткое описание и алгоритмы их построения. Неструктурированные сетки кода ANES. Алгоритм локального дробления декартовых структурированных сеток..

7. Дискретные уравнения и методы их решения

7.1. Дискретные уравнения и методы их решения

Стандартная форма дискретных уравнений метода МКО и их основные свойства. Основные численные схемы, используемые в современных CFD кодах.. Модель Рие-Чоу для совмещенных сеток скоростей и давления. Итерационный алгоритм решения системы дискретных уравнений. Модель поправок. Критерии «сходимости» итерационного процесса. Методы достижения сходимости итераций. Управление итерационным процессом в коде ANES. Методы решения дискретных уравнений. Примеры итерационных алгоритмов: метод прогонки, методы уменьшения невязки с использованием прекондиционеров, мульти-сеточные алгоритмы. Линейные солверы кода ANES: ATDMA, KIVA, KIVA_ILU, SPKT.*, HYPRE.

8. Параллельные вычисления

8.1. Параллельные вычисления

Основные архитектуры вычислительных систем для параллельных расчетов: многоядерные процессоры, многопроцессорные кластеры, графические карты. Основные понятия операционных систем: приложение (Process) и нити (Thread). Подсистемы OpenMP и MPI. Примеры их использования. Применение MPI в CFD кодах. Понятие декомпозиции РО. Необходимость обменов и использования HALO-ячеек. Параллельные вычисления в коде ANES. Алгоритмы декомпозиции для структурированных и неструктурированных сеток. Демонстрация параллельных расчетов в Windows и кластере Linux.

9. Обработка результатов расчетов

9.1. Обработка результатов расчетов

Просмотр и анализ результатов в постпроцессоре ANES и пакете ParaView. Расчет полей переменных с помощью подсистемы myFORM ANES..

10. Открытый код OpenFOAM

10.1. Открытый код OpenFOAM

Основные особенности кода: ориентация на Linux-архитектуру, набор - конструктор для работы сеточными полями скаляров, векторов и тензоров. Основные математические модели, реализованные в коде. Инсталляция кода в Windows и Linux. Описание прикладной задачи. Основные этапы решения задачи. Встроенные утилиты кода для построения сеток КО. Основные Решатели. Утилиты для обработки результатов расчета. Пример решения тестовой задачи.

3.3. Темы практических занятий

1. Выбор макропеременных индивидуальных задач. Описание граничных условий искомых переменных в проекте задачи;
2. Решение тестовой задачи кодом OpenFOAM;
3. Анализ результатов расчетов. Обработка результатов в виде графиков, таблиц, полей искомых переменных постпроцессором ANES и пакетом ParaView;
4. Демонстрация параллельных расчетов тестовых задач на персональном компьютере и вычислительном кластере;
5. Демонстрация различных численных схем на примере тестовых задач;
6. Построение расчетной сетки. Выбор трех вариантов сеток для индивидуальных задач: грубой (coarse), базовой (base) и подробной (fine), с целью исследования сеточной сходимости;
7. Выбор и настройка параметров моделей турбулентности;
8. Построение РО. Выбор и назначение патчей;
9. Описание физической и математической постановки индивидуальной задачи. Анализ и формулировка этапов решения. Установка кода ANES.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Введение"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Первое знакомство с кодом ANES"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Ф-переменные. Расчетная область. Граничные условия"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Функциональное наполнение кода ANES"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Сетки контрольных объемов МКО"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Дискретные уравнения и методы их решения"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Параллельные вычисления"
9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Обработка результатов расчетов"
10. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Открытый код OpenFOAM"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)										Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Знать:													
Архитектуру, основное функциональное наполнение, математические модели и принципы работы современных компьютерных кодов для моделирования процессов термогидравлики в энергетических установках;	ИД-1пк-1	+		+									Индивидуальный проект/КМ-1
Типы сеток контрольных объемов метода МКО и принципы их построения	ИД-1пк-1				+	+	+						Индивидуальный проект/КМ-2
Этапы решения прикладной задачи с помощью CFD кодов	ИД-1пк-1		+										Индивидуальный проект/КМ-1
Методы решения дискретных уравнений с использованием итерационных алгоритмов	ИД-1пк-1								+	+			Индивидуальный проект/КМ-3
Визуальные способы представления результатов расчетов	ИД-1пк-1										+	+	Индивидуальный проект/КМ-4
Уметь:													
Проводить расчеты с использованием Компилятора и Решателя кода ANES	ИД-1пк-1				+	+	+						Индивидуальный проект/КМ-2
Строить структурированные и неструктурированные сетки кода ANES	ИД-1пк-1								+	+			Индивидуальный проект/КМ-3
Использовать макропеременные ANES для описания математической постановки задачи	ИД-1пк-1	+	+	+									Индивидуальный проект/КМ-1
Привести описание своей задачи к математическим моделям кода ANES	ИД-1пк-1				+								Индивидуальный проект/КМ-1
Уметь обрабатывать результаты расчетов с помощью постпроцессоров ANES и ParaView	ИД-1пк-1										+	+	Индивидуальный проект/КМ-4

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

1 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. КМ-4 (Индивидуальный проект)

Форма реализации: Обмен электронными документами

1. КМ-1 (Индивидуальный проект)
2. КМ-2 (Индивидуальный проект)
3. КМ-3 (Индивидуальный проект)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №1)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ "МЭИ" на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 1 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Роуч, П. Вычислительная гидродинамика : пер. с англ. / П. Роуч . – М. : Мир, 1980 . – 616 с.;
2. Патанкар, С. В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости : пер. с англ. / С. В. Патанкар . – М. : Энергоатомиздат, 1984 . – 150 с.;
3. "Моделирование в программном пакете openfoam. Практикум", Издательство: "БашГУ", Уфа, 2020 - (28 с.)
<https://e.lanbook.com/book/179925>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. ANES;
4. OpenFOAM;
5. ParaView.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red

3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

5. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>
<http://docs.cntd.ru/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-417, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Компьютерные коды для расчета теплогидравлических процессов в энергетическом оборудовании

(название дисциплины)

1 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 КМ-1 (Индивидуальный проект)

КМ-2 КМ-2 (Индивидуальный проект)

КМ-3 КМ-3 (Индивидуальный проект)

КМ-4 КМ-4 (Индивидуальный проект)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	5	8	12	16
1	Введение					
1.1	Введение		+			
2	Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов					
2.1	Этапы решения прикладной задачи с использованием CFD кодов		+			
3	Первое знакомство с кодом ANES					
3.1	Первое знакомство с кодом ANES		+			
4	Ф-переменные. Расчетная область. Граничные условия					
4.1	Ф-переменные		+			
4.2	Расчетная область			+		
4.3	Граничные условия			+		
5	Функциональное наполнение кода ANES					
5.1	Функциональное наполнение кода ANES			+		
6	Сетки контрольных объемов МКО					
6.1	Сетки контрольных объемов МКО			+		

7	Дискретные уравнения и методы их решения				
7.1	Дискретные уравнения и методы их решения			+	
8	Параллельные вычисления				
8.1	Параллельные вычисления			+	
9	Обработка результатов расчетов				
9.1	Обработка результатов расчетов				+
10	Открытый код OpenFOAM				
10.1	Открытый код OpenFOAM				+
Вес КМ, %:		20	30	30	20