

Оглавление

Введение	3
I Теоретические основы вычислительной механики сплошной среды	11
1 Основные понятия	13
1.1 Основные гипотезы и определения	13
1.2 Жидкости и твердые тела	29
1.3 Уравнения Навье-Стокса	34
1.3.1 Уравнение неразрывности	34
1.3.2 Уравнение движения	36
1.3.3 Уравнение энергии	39
1.4 Уравнения теории упругости	46
2 Вводный обзор численных методов	48
2.1 Основные численные методы	48
2.2 Понятие о дискретизации	50
2.3 Метод конечных разностей	56
2.4 Метод конечных объемов	57

2.5 Метод конечных элементов	60
3 Построение сеток	73
3.1 Общие положения	73
3.2 Построение регулярных сеток	75
3.2.1 Однонаправленная интерполяция	79
3.2.2 Трансфинитная интерполяция	82
3.2.3 Примеры построения сеток в двумерных областях	87
3.2.4 Трехмерная трансфинитная интерполяция . .	90
3.2.5 Дифференциальные методы построения сеток	94
3.3 Построение неструктурированных сеток	102
3.3.1 Типы элементов и критерии их качества . . .	105
3.3.2 Триангуляция	108
3.3.3 Другие приемы построения неструктурированных сеток	113
4 Применение метода конечных объемов	117
4.1 Общие положения	117
4.2 Дискретные аналоги интегралов	119
4.3 «Численная» вязкость	127
4.4 Особенности нерегулярных сеток	133
4.5 Производная по времени	138
4.5.1 Явный метод Эйлера	139
4.5.2 Неявный метод Эйлера	142
4.5.3 Смешанные схемы	143
4.5.4 Метод Рунге–Кутты	143
4.5.5 Решение стационарных задач. Метод установления	148

<i>Оглавление</i>	643
4.6 Границные условия	148
4.7 Общий алгоритм решения	153
5 Решение СЛАУ	155
5.1 Матрицы и операции над ними	156
5.2 Решение СЛАУ и обращение матриц	164
5.2.1 Метод Крамера	165
5.2.2 Метод исключения Гаусса	166
5.2.3 LU-разложение	169
5.2.4 Метод прогонки	171
5.2.5 Итерационные методы	175
5.2.6 Многосеточные методы	180
5.3 Блочные матрицы	190
6 Несжимаемая жидкость	192
6.1 Система уравнений Н.-С. и ее особенности	193
6.2 Дискретизация и линеаризация	194
6.3 Связь давления и скорости	196
6.4 «Шахматное» поле давления	201
6.5 Дискретное уравнение для давления	203
7 Сжимаемая жидкость	209
7.1 Обобщенное уравнение	210
7.2 Расщепление потоков	216
7.2.1 Модельное уравнение	217
7.2.2 Одномерное уравнение динамики жидкости .	218
7.2.3 Матрицы перехода	226
7.2.4 Двумерные и трехмерные задачи	236

7.3	Представление вязких потоков	237
7.4	Границные условия	241
7.4.1	Характеристики. Инварианты Римана	243
7.4.2	Типы граничных условий	249
7.4.3	Фиктивные ячейки	257
II Моделирование физических явлений в механике сплошной среды		269
8	Моделирование турбулентности	271
8.1	Явление турбулентности	271
8.1.1	Осредненное и пульсационное движение . . .	277
8.1.2	Двухмерный слой смешения несжимаемых жидкостей	281
8.1.3	Алгебраические модели турбулентности	287
8.1.4	Осреднение по Фавру	288
8.2	Уравнения для осредненных величин	290
8.2.1	Осреднение основных уравнений	290
8.2.2	Основные допущения	293
8.3	Двухпараметрические модели турбулентности	296
8.3.1	Вывод уравнения для турбулентной кинетической энергии K	297
8.3.2	Несжимаемая жидкость. Уравнение для скорости диссипации	301
8.3.3	Двухпараметрические модели турбулентности для несжимаемой жидкости	305

8.3.4	Дополнительные члены в уравнении переноса турбулентной энергии в случае сжимаемой жидкости	312
8.3.5	Двухпараметрические модели турбулентности для сжимаемой жидкости	321
8.4	Модель V2f	328
8.5	Перенос напряжений Рейнольдса	330
8.5.1	Вывод основного уравнения	330
8.6	Теплообмен и диффузия	333
8.7	ГУ для моделей турбулентности	335
8.7.1	Границные условия на входе	335
8.7.2	Границные условия на стенке	338
8.8	Особенности численных методов	346
8.9	О ламинарно-турбулентном переходе	347
9	Моделирование химических реакций	352
9.1	Основные положения	353
9.1.1	Определения	353
9.1.2	Основная система уравнений, описывающих течение химически и термически неравновесной газовой смеси	357
9.1.3	Моделирование потоков	358
9.2	Химическая кинетика	360
9.2.1	Определение скорости протекания химических реакций	360
9.2.2	Элементарные реакции	363
9.2.3	Упрощенная модель - модель распада вихрей .	367
9.3	Жесткие системы уравнений	369

9.3.1	Общие положения	369
9.3.2	Решение жёстких систем применительно к задачам химической кинетики	380
10	Моделирование излучения в газах	384
10.1	Основные понятия	385
10.2	Источник в уравнении энергии	391
10.3	Уравнение переноса излучения	392
10.4	Коэффициенты Эйнштейна	394
10.5	Атомный и молекулярный спектр	404
10.5.1	Вращательные переходы	404
10.5.2	Колебательные переходы	407
10.5.3	Смешанные колебательно-вращательные переходы	409
10.6	Излучение линии	411
10.6.1	Уширение	411
10.6.2	Излучение изолированной линии	414
10.6.3	Силы спектральных линий в полосе	415
10.7	Методы решения для однородной среды	417
10.7.1	Простые оценочные методы	418
10.7.2	Модели полос	421
10.8	Методы решения для неоднородной среды	426
10.8.1	N -параметрические аппроксимационные методы	426
10.8.2	Методика расчета излучения для неоднородной среды	427
10.9	Методы line-by-line и k-distribution	430
10.9.1	Метод k-распределения для однородной среды	431

10.9.2 Методы k-распределения для неоднородной среды	434
10.9.3 Масштабированная аппроксимация	435
III Решение задач	437
Инженерные системы расчетов	439
11 Введение в Ansys	442
11.1 Общий вид интерфейса	443
11.2 Формулировка задачи и ее решение	444
12 Задача о струе	472
12.1 Физика сверхзвуковых струй	473
12.2 Постановка задачи	475
12.3 Подготовка геометрии	477
12.4 Построение грубой сетки	480
12.5 Подготовка модели	493
12.6 Расчет и промежуточные результаты	500
12.7 Построение «тонкой» расчетной сетки	503
12.8 Проведение окончательного расчета	505
13 Химические реакции и излучение	509
13.1 Постановка задачи	509
13.2 Предварительный расчет	511
13.3 Учет горения	528

14 Нестационарное течение	530
14.1 Постановка задачи	531
14.2 Построение геометрии расчетной области	537
14.3 Построение расчетной сетки	543
14.4 Подготовка расчетной модели	554
14.5 Анализ полученных результатов	564
15 Расчет ламинарно-турбулентного перехода	573
15.1 Постановка задачи	573
15.2 Решение задачи	574
15.3 Анализ полученных результатов	592
16 Расчет трансзвукового течения	600
16.1 Постановка задачи	601
16.2 Решение задачи	602
16.3 Обработка результатов	626
Послесловие	629
Литература	631
Предметный указатель	638