

# Оглавление

<b>Введение</b>	<b>6</b>
<b>1 Построение уравнений газовой динамики</b>	<b>10</b>
1.1 Процедура осреднения . . . . .	10
1.2 Интегральные законы сохранения . . . . .	18
1.3 Законы сохранения в дифференциальном виде . . . . .	21
1.4 Уравнения Эйлера и Навье–Стокса . . . . .	22
1.5 Квазигазодинамические уравнения . . . . .	26
<b>2 Элементы кинетической теории газов</b>	<b>38</b>
2.1 Уравнение Больцмана . . . . .	38
2.2 Равновесная функция распределения и система Эйлера	40
2.3 Уравнения Навье–Стокса . . . . .	41
2.4 Уравнение Бхатнагара–Гросса–Крука . . . . .	43
2.5 Средние характеристики движения частиц . . . . .	44
2.6 Коэффициенты переноса в равновесном газе . . . . .	46
2.7 Численное моделирование течений разреженного газа	49
2.8 Кинетически-согласованные разностные схемы . . . . .	53
<b>3 Квазигазодинамические уравнения</b>	<b>57</b>
3.1 Модельное кинетическое уравнение . . . . .	58
3.2 Кинетический вывод КГД уравнений . . . . .	61
3.3 КГД уравнения в форме законов сохранения . . . . .	63
3.4 Коэффициенты диссипации . . . . .	71
3.5 Система Навье–Стокса как асимптотика КГД системы	75
3.6 Модель для течений с внешними источниками . . . . .	79
3.7 Уравнение баланса энтропии . . . . .	84
<b>4 КГД уравнения и системы координат</b>	<b>89</b>
4.1 КГД уравнения в произвольной системе координат . . . . .	89
4.2 Декартова система координат . . . . .	93
4.3 Цилиндрическая система координат . . . . .	99

<b>5</b>	<b>Алгоритмы решения задач газовой динамики</b>	<b>103</b>
5.1	Система уравнений для плоских двумерных течений . . . . .	103
5.2	Система уравнений в цилиндрической геометрии . . . . .	106
5.3	Граничные условия . . . . .	108
5.4	Безразмерный вид уравнений . . . . .	110
5.5	Разностная аппроксимация . . . . .	111
5.6	Введение искусственной диссипации . . . . .	116
5.7	Задача о распаде сильного разрыва . . . . .	118
5.8	Задача о течении в окрестности цилиндра . . . . .	126
5.9	Задача о течении в канале с уступом . . . . .	133
5.10	Численный алгоритм расчета дозвуковых течений . . . . .	137
5.11	Устойчивость и точность КГД алгоритмов . . . . .	140
<b>6</b>	<b>Расчеты течений на неструктурированных сетках</b>	<b>144</b>
6.1	Выбор сетки и построение контрольного объема . . . . .	144
6.2	Аппроксимация системы уравнений . . . . .	147
6.3	Аппроксимация частных производных . . . . .	149
6.4	Разностные схемы для двумерных течений . . . . .	155
6.5	Аппроксимация граничных условий . . . . .	162
6.6	Расчет течения в окрестности цилиндра . . . . .	164
<b>7</b>	<b>Течения вязкой несжимаемой жидкости</b>	<b>170</b>
7.1	Квазигидродинамическая система уравнений . . . . .	170
7.2	Вычислительный алгоритм . . . . .	175
7.3	Отрывное течение за обратным уступом . . . . .	179
7.4	Тепловая конвекция в квадратной области . . . . .	186
7.5	Тепловая конвекция при низких числах Прандтля . . . . .	190
7.6	Конвекция Марангони в невесомости . . . . .	197
7.7	Течение в кубической каверне с подвижной крышкой . . . . .	201
<b>8</b>	<b>КГД уравнения для течений неравновесного газа</b>	<b>208</b>
8.1	Молекулярная модель и функции распределения . . . . .	208
8.2	Системы координат и некоторые интегралы . . . . .	211
8.3	Построение моментных уравнений . . . . .	213
8.4	Вычисление обменных членов . . . . .	219
8.5	КГДР уравнения . . . . .	221

8.6	Примеры численных расчетов . . . . .	225
<b>9</b>	<b>КГД уравнения для бинарной смеси газов</b>	<b>232</b>
9.1	Исходная кинетическая модель . . . . .	233
9.2	Построение моментных уравнений . . . . .	235
9.3	Вычисление обменных членов . . . . .	239
9.4	Определение частот столкновений . . . . .	241
9.5	Квазигазодинамические уравнения для смеси газов .	242
9.6	Одножидкостные приближения . . . . .	244
9.7	КГДМ система для одномерного течения . . . . .	249
9.8	Структура ударной волны в смеси гелия и ксенона . .	252
9.9	Задача диффузии аргона и гелия . . . . .	263
<b>A</b>	<b>Пример построения КГД уравнений</b>	<b>267</b>
<b>B</b>	<b>Течение вязкого сжимаемого газа в микроканалах</b>	<b>272</b>
<b>C</b>	<b>Структура неподвижной ударной волны</b>	<b>298</b>
<b>D</b>	<b>Турбулентное течение за обратным уступом</b>	<b>315</b>
	<b>Список литературы</b>	<b>348</b>