

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Основные обозначения	7
Введение	10
В1. Методы определения аэродинамических характеристик	10
В2. Модели газовой среды	15
1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АЭРОГАЗОДИНАМИКИ	19
1.1. Интегральная форма записи законов сохранения	19
1.2. Дифференциальные уравнения аэрогазодинамики	23
1.3. Уравнение движения среды с развитой турбулентностью	29
1.4. Модели турбулентности	31
1.5. Основные соотношения теории скачков уплотнения	36
1.6. Основное кинематическое уравнение аэрогазодинамики	47
1.7. Модель обтекания изломов поверхностей тела. Течение Прандтля — Майера	52
1.8. Корпускулярная модель обтекания тела сверхзвуковым потоком. Метод Ньютона	57
1.9. Математическое моделирование динамического пограничного слоя	61
1.10. Интегральное соотношение для теплового пограничного слоя	69
1.11. Учет сжимаемости в расчете параметров пограничного слоя на плоской пластине	74
2. МОДЕЛЬ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СРЕДЫ С ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ	78
2.1. Аэродинамические силы и моменты	78
2.2. Коэффициенты аэродинамических сил и моментов	82
2.3. Аэродинамические характеристики при неустановившемся движении	86
2.4. Анализ производных устойчивости и аэродинамических коэффициентов	89
2.5. Характерные условия обтекания летательных аппаратов	95
2.6. Критерии аэродинамического подобия	102
2.7. Численное решение задач аэрогазодинамики. Построение расчетных сеток	111
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТРЫВНОГО ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	125
3.1. Отрывные течения и причины их возникновения	125
3.2. Физическое моделирование отрывных течений	131
3.3. Аэродинамический гистерезис	151
3.4. Нестационарные аэродинамические характеристики тел при отрывных режимах обтекания	155
3.5. Влияние колебательных движений тел на аэродинамические характеристики в условиях гистерезисного обтекания	163
3.6. Математические модели течений в областях отрыва и присоединения потока	170
3.7. Методы математического моделирования отрывных течений	180

4. МЕТОДЫ ДИСКРЕТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ В ЗАДАЧАХ ДОЗВУКОВОЙ АЭРОГАЗОДИНАМИКИ	194
4.1. Постановка задач обтекания тел дозвуковым потоком	194
4.2. Численный метод решения краевых задач для уравнения Лапласа	197
4.3. Способы повышения эффективности численной математической модели и расширение диапазона ее применения	206
4.4. Особенности численного решения прикладных задач. Результаты моделирования и их анализ	216
4.5. Линейные математические модели аэродинамики пространственных несущих систем в неустановившемся дозвуковом потоке газа	243
5. РАСЧЕТ ВЯЗКИХ ДОЗВУКОВЫХ ТЕЧЕНИЙ НЕСЖИМАЕМОГО ГАЗА. МЕТОД КОНТРОЛЬНЫХ ОБЪЕМОВ	248
5.1. Математическая модель и метод дискретизации	248
5.2. Методы аппроксимации производных и интегралов	252
5.3. Дискретный аналог обобщенного уравнения	258
5.4. Задание граничных условий	260
5.5. Неявные методы расчета давления. Алгоритм SIMPLE	265
5.6. Численное моделирование отрывного обтекания тел различной конфигурации	272
6. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ОБТЕКАНИЯ КОРПУСА РАКЕТЫ ПРИ СВЕРХЗВУКОВЫХ СКОРОСТЯХ ПОЛЕТА	281
6.1. Численные схемы решения краевой задачи для нестационарных уравнений газовой динамики	282
6.2. Стационарный аналог схемы Годунова	299
6.3. Численный расчет безотрывного обтекания корпуса ракеты	306
6.4. Расчет сверхзвукового обтекания корпуса ракеты с учетом развитой области отрыва	318
6.5. Расчет аэродинамических характеристик поворотного сопла маршевого двигателя	328
7. МЕТОДЫ РАСЧЕТА АЭРОГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ РАЗДЕЛЕНИИ СТУПЕНЕЙ РАКЕТЫ	338
7.1. Минометная схема разделения ступеней ракеты	338
7.2. Методика расчета усредненных газодинамических параметров в межступенном отсеке при минометном разделении ступеней	341
7.3. Численное моделирование газодинамических процессов в межступенном отсеке при работе порохового аккумулятора давления	351
7.4. Расчет газодинамических процессов при запуске двигателя активной ступени	358
8. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СВЕРХЗВУКОВОГО ОБТЕКАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ЩИТКОВ	362
8.1. Физическое моделирование обтекания щитковых органов управления, размещенных на конической поверхности ЛА	363
8.2. Математическая модель взаимодействия сверхзвукового потока с аэродинамическим щитком	374
8.3. Обтекание комбинаций щитковых органов управления сверхзвуковым потоком	394

8.4. Математическая модель сверхзвукового отрывного обтекания комбинации щитков	399
8.5. Результаты математического моделирования процессов обтекания комбинаций щитков	404
9. ГАЗОСТРУЙНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ОБТЕКАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	407
9.1. Структуры струй, инжектируемых в неподвижную среду и сверхзвуковой поток	407
9.2. Экспериментальное моделирование процессов обтекания струйных органов управления	415
9.3. Особенности взаимодействия поперечных недорасширенных струй газа с высокоскоростным потоком на конических поверхностях ЛА	422
9.4. Аэродинамические характеристики конических тел с инжектируемыми струями при транзвуковых и сверхзвуковых скоростях обтекания	428
9.5. Математическая модель взаимодействия сверхзвукового потока с поперечными струями газа	435
9.6. Обтекание блочно-дипольных струй сверхзвуковым потоком в условиях интерференции отрывных и струйных течений	442
9.7. Моделирование процессов обтекания ЛА с затупленной частью при инжекции центральных встречных струй в сверхзвуковой поток	450
9.8. Торможение ЛА конической формы инжекцией встречных струй	462
Приложение 1. Краевые задачи дозвуковой аэродинамики	465
Приложение 2. Алгоритм и программа решения линейной стационарной задачи обтекания тонкого крыла единичного удлинения	471
Приложение 3. Математические обоснования метода дискретных особенностей при решении краевых задач для уравнения Лапласа	480
ПЗ.1. Постановка краевых задач	480
ПЗ.2. Простой и двойной слои. Интегральные уравнения	481
ПЗ.3. Общие положения, предположения и допущения	482
ПЗ.4. Квадратурные формулы и их сходимость	486
ПЗ.5. Построение СЛАУ метода, свойства матрицы системы, способы решения системы уравнений	494
ПЗ.6. Результаты решения модельных задач и анализ эффективности предложенных модификаций численного метода	505
Приложение 4. Использование методов дискретных особенностей при решении прикладных инженерных задач	510
Литература	515
Предметный указатель	522