

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	6
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ	12
1.1. Задачи аэроакустики	12
1.2. Шумы и их классификация	15
1.2.1. Общие сведения и характеристики шума	15
1.2.2. Спектральные и временные характеристики шума	18
1.2.3. Аэродинамический шум	21
1.3. Случайные процессы и их характеристику	22
1.3.1. Детерминированный и случайный процессы колебаний	22
1.3.2. Спектр случайного процесса	23
1.3.3. Спектральная плотность	25
1.3.4. Спектральный анализ	28
1.4. Распространение звука и характеристики акустического поля	32
1.4.1. Волновое уравнение	32
1.4.2. Основные характеристики	33
1.4.3. Частотный спектр	36
1.5. Уравнения акустики	38
1.6. Способы снижения шума	41
1.7. Основные направления снижения шума силовой установки самолета	44
1.7.1. Характеристики шума самолета на местности	44
1.7.2. Нормирование авиационного шума	46
1.7.3. Характеристики шума реактивного двигателя	46
1.7.4. Проблема авиационного шума на местности	48
1.7.5. Источники шумов	48
1.7.6. Шум струи	51
1.7.7. Шум вентилятора	52
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ШУМА, И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ	54
2.1. Методы моделирования турбулентных течений	54
2.1.1. Основные подходы	54
2.1.2. Решение уравнений Рейнольдса	55
2.1.3. Прямое численное моделирование	57
2.1.4. Моделирование крупных вихрей	57
2.1.5. Моделирование отсоединенных вихрей	58
2.2. Уравнения газовой динамики	59
2.3. Основные методы акустики	60
2.4. Гибридные методы	63

2.5. Прямые методы	64
2.6. Модель Блохинцева и ее развитие	65
2.7. Акустическая аналогия Лайтхилла и ее развитие	66
2.7.1. Волновое уравнение	66
2.7.2. Решение волнового уравнения	70
2.7.3. Различные формы волнового уравнения	71
2.7.4. Уравнение Филлипса	73
2.7.5. Уравнение Лилли	73
2.7.6. Варианты акустической аналогии ю.....	74
2.8. Интегральные методы расчета шума в дальнем поле	76
2.8.1. Особенности реализации	76
2.8.2. Дифференциальная форма	76
2.8.3. Интегральная форма	82
2.8.4. Компактные источники	86
2.9. Двумерная формулировка интегрального подхода	88
2.9.1. Формулировка в физическом пространстве	88
2.9.2. Формулировка в волновом пространстве	89
2.10. Модели широкополосного шума	90
2.10.1. Характеристики акустического поля	91
2.10.2. Особенности формулировки	92
2.10.3. Модель Праудмана	93
2.10.4. Модель Голдштейна	94
2.10.5. Модель Керла	95
2.10.6. Источниковые члены в линеаризованных уравнениях Эйлера	96
2.10.7. Источниковые члены в уравнении Лилли	97
ГЛАВА 3. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В АЭРОАКУСТИКЕ	98
3.1. Математические модели аэроакустики	99
3.2. Вычислительные алгоритмы	101
3.3. Гибридные схемы	106
3.4. Схемы DRP для дискретизации пространственных производных	108
3.4.1. Центральные-разностные схемы DRP	109
3.4.2. Узкополосная фильтрация	113
3.4.3. Схемы DRP и фильтрация со смещенными шаблонами	115
3.5. Многошаговые схемы Рунге–Кутты	118
3.6. Программная реализация	119
3.7. Верификация и тестирование	121
3.8. Требования к вычислительным ресурсам	123
3.9. Численная реализация в трехмерном случае	126
3.9.1. Выбор контрольной поверхности	126

3.9.2. Квадратурные формулы	128
3.9.3. Интерполяция подынтегральных выражений	130
3.10. Численная реализация в двумерном случае	132
ГЛАВА 4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ГЕНЕРИРУЕМЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ТЕЧЕНИЯМИ	134
4.1. Точечные источники	134
4.1.1. Монополь	134
4.1.2. Диполь	136
4.1.3. Квадруполь	137
4.1.4. Граница дальней волновой зоны	140
4.2. Генерация шума компактными источниками	140
4.2.1. Основные уравнения	140
4.2.2. Трехмерные источники	141
4.2.3. Двумерные источники	147
4.2.4. Вихревые источники	150
4.2.5. Монопольный источник в однородном потоке	152
4.3. Распространение акустического импульса	154
4.4. Гармонический источник звука в неограниченном однородном потоке	163
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	169
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	171