

## Оглавление

<b>Предисловие ко второму изданию</b> .....	3
<b>Предисловие к первому изданию</b> .....	3
<b>Глава 1. Математические основы анализа энергетического спектра стационарных случайных процессов</b> .....	7
1.1. Периодограмма реализации непрерывного случайного процесса .....	7
1.2. Первое определение СПМ непрерывного случайного процесса .....	8
1.3. Соотношение между СПМ и АКФ непрерывного случайного процесса. Второе определение СПМ .....	9
1.4. Периодограмма дискретного случайного процесса .....	14
1.5. Соотношение между СПМ и АКФ дискретного случайного процесса .....	18
1.6. Соотношение между периодограммой и выборочной АКФ	20
1.6.1. Непрерывный случай .....	20
1.6.2. Дискретный случай .....	20
1.7. Применение тестовых сигналов при исследовании характеристик спектральных оценок .....	22
1.8. Свойства периодограммы .....	25
1.8.1. Смещение периодограммы .....	25
1.8.2. Дисперсия периодограммы .....	29
1.9. Разрешающая способность методов спектрального оценивания .....	37
1.9.1. Спектральное разрешение детерминированных сигналов .....	37
1.9.2. Разрешающая способность и статистическая устойчивость методов спектрального оценивания случайных процессов .....	42
<b>Глава 2. Классические методы спектрального оценивания</b> ...	46
2.1. Коррелограммные методы оценки СПМ .....	46
2.1.1. Две формы оценки АКФ .....	46
2.1.2. Вычислительные алгоритмы коррелограммных методов .....	48
2.2. Применение окон при спектральном оценивании .....	49
2.2.1. Влияние корреляционного окна на среднее значение периодограммы .....	50

2.2.2. Применение операции взвешивания в классических методах спектрального оценивания.....	52
2.3. Периодограммные методы оценки СПМ стационарного СП	54
2.3.1. Модифицированные периодограммы.....	54
2.3.2. Метод Бартлетта: усреднение периодограмм.....	58
2.3.3. Метод Уэлча: усреднение модифицированной периодограммы.....	63
2.3.4. Метод Блекмана–Тьюки: сглаживание периодограммы	67
2.3.5. Сравнение статистических характеристик периодограммных методов.....	72
<b>Глава 3. Параметрические модели случайных процессов.....</b>	<b>75</b>
3.1. Параметрический метод спектрального оценивания и его основные этапы.....	75
3.2. АР-, СС-, АРСС-модели случайных процессов.....	76
3.2.1. Дискретные линейные системы и их реакция на случайные сигналы.....	76
3.2.2. Три типа параметрических моделей случайных процессов.....	80
3.3. Связь коэффициентов АР-, СС- и АРСС-моделей.....	85
3.4. Связь параметров АР-, СС- и АРСС-модели с АКП.....	88
3.5. Спектральная факторизация.....	91
<b>Глава 4. Представление авторегрессионного процесса с помощью фильтров специальных классов.....</b>	<b>93</b>
4.1. Линейное предсказание АР-процесса.....	93
4.2. Минимально-фазовое свойство фильтра ошибки предсказания.....	96
4.3. Рекурсивная процедура решения уравнений Юла–Уокера.	99
4.4. Коэффициенты отражения.....	106
4.5. Алгоритм Левинсона.....	110
4.6. Решетчатые фильтры.....	111
4.7. Взаимосвязь альтернативных представлений авторегрессионных процессов.....	113
<b>Глава 5. Авторегрессионное спектральное оценивание на основе блочной обработки данных.....</b>	<b>116</b>
5.1. Оценка СПМ авторегрессионного процесса и методы блочной обработки данных.....	116
5.2. Оценивание авторегрессионных параметров и коэффициентов отражения методом максимального правдоподобия....	118
5.3. Алгоритм Юла–Уокера.....	122

5.4. Ковариационный метод .....	124
5.5. Модифицированный ковариационный метод .....	126
5.6. Метод Берга .....	129
5.7. Рекурсивное оценивание по методу максимального правдоподобия .....	132
5.8. Результаты численного исследования алгоритмов блочной обработки данных .....	134
5.9. Выбор порядка АР-модели .....	137
<b>Глава 6. Блочные алгоритмы спектрального оценивания на основе модели скользящего среднего .....</b>	<b>141</b>
6.1. Оценивание СПМ процесса скользящего среднего .....	141
6.2. Оценивание СС-параметров методом максимального правдоподобия .....	143
6.3. Выбор порядка СС-модели .....	147
6.4. Некоторые результаты компьютерного моделирования алгоритмов спектрального оценивания на основе СС-модели ...	148
<b>Глава 7. Блочные алгоритмы спектрального оценивания на основе моделей авторегрессии — скользящего среднего .....</b>	<b>151</b>
7.1. Оценивание АРСС-параметров методом максимального правдоподобия .....	151
7.2. Совместное оценивание АРСС-параметров методом максимального правдоподобия Акаике .....	154
7.3. Раздельное оценивание АР- и СС-параметров методом модифицированных уравнений Юла–Уокера .....	157
7.4. Раздельное оценивание АР- и СС-параметров модифицированным методом наименьших квадратов Юла–Уокера .....	160
7.5. Выбор порядка АРСС-модели .....	162
7.6. Некоторые результаты компьютерного моделирования алгоритмов спектрального оценивания на основе АРСС-моделей .....	164
<b>Глава 8. Спектральное оценивание по методу минимума дисперсии .....</b>	<b>167</b>
8.1. Фильтровая интерпретация спектральной оценки по методу МД .....	167
8.2. Приложение метода МД к оценке частот комплексных экспонент на фоне шума .....	172
8.3. Реализация метода спектральной оценки по критерию МД	174
8.4. Некоторые результаты компьютерного моделирования алгоритмов спектрального оценивания по МД-методу .....	177

<b>Глава 9. Методы спектрального оценивания, основанные на экстраполяции АКП.....</b>	<b>179</b>
9.1. Проблема, обусловленная конечным числом значений АКП.....	179
9.2. Постановка задачи вычисления СПМ по конечному числу значений АКП.....	180
9.3. Разрешающая способность и ограничения классических спектральных оценок.....	181
9.4. Спектральное оценивание по методу максимальной энтропии.....	183
9.5. Интерпретация случайного процесса с максимальной энтропией как процесса авторегрессии.....	186
9.6. Связь АКП с параметрами АР-модели.....	187
9.7. Процедура вычисления МЭ-оценки СПМ.....	188
9.8. Метод МЭ как метод спектрального оценивания высокого разрешения.....	189
9.9. МЭ-оценка мощности гармонических составляющих.....	190
9.10. Связь между спектральными МД- и МЭ-оценками.....	192
<b>Глава 10. Основы декомпозиционных методов оценивания дискретных компонентов спектра.....</b>	<b>195</b>
10.1. Представление АКМ гармонической модели случайного процесса.....	196
10.2. Анализ собственных значений АКМ для случая $M = 1$ .....	198
10.3. Анализ собственных значений АКМ для случая $M = 2$ .....	200
10.4. Анализ собственных значений АКМ в общем случае.....	201
10.5. Псевдоспектры декомпозиционных методов.....	205
<b>Глава 11. Алгоритмы оценки частоты в подпространстве шума.....</b>	<b>209</b>
11.1. Метод гармонического разложения Писаренко.....	209
11.2. Метод MUSIC.....	215
11.3. Методы EV и MN.....	218
11.4. Алгоритмы инвариантного вращения ESPRIT.....	221
11.4.1. Исходный метод ESPRIT.....	222
11.4.2. Алгоритмы LS ESPRIT и TLS ESPRIT.....	225
11.5. Сводка результатов.....	230
<b>Глава 12. Алгоритмы оценки частоты в подпространстве сигнала.....</b>	<b>233</b>
12.1. Применение аппроксимации РС для улучшения авторегрессионных оценок СПМ.....	234
12.2. Применение аппроксимации РС для улучшения коррелограммных оценок частоты.....	238

---

12.3. Применение аппроксимации РС для улучшения оценок метода минимума дисперсии .....	239
Заключение .....	241
Приложения .....	242
1. Тестовые последовательности данных .....	242
2. Автокорреляционная матрица случайного вектора и ее оценка .....	243
3. Линейные преобразования случайных векторов .....	245
Литература .....	246
Список основных сокращений .....	250