

Ф.Ф. Дедус, С.А. Махортых, М.Н. Устинин, А.Ф. Дедус

**ОБОБЩЕННЫЙ
СПЕКТРАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ
МЕТОД ОБРАБОТКИ
ИНФОРМАЦИОННЫХ МАССИВОВ**

**ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ
И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ**



Ф.Ф.Дедус, С.А.Махортых, М.Н.Устинин, А.Ф.Дедус

**ОБОБЩЕННЫЙ СПЕКТРАЛЬНО-
АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ
МАССИВОВ.**

Задачи анализа изображений и распознавания образов

Под общей редакцией д.т.н. Ф.Ф.Дедуса

Москва «Машиностроение» 1999

УДК 517.5+683.32

ББК 22.18+32

Ф.Ф.Дедус, С.А.Махортых, М.Н.Устинин, А.Ф.Дедус. Обобщенный спектрально-аналитический метод обработки информационных массивов. Задачи анализа изображений и распознавания образов. *Под общей редакцией д.т.н. Ф.Ф.Дедуса.*

В монографии изложен обобщенный спектрально-аналитический метод – новый подход к обработке информационных массивов. Приводятся теоретические основы метода, а также его приложения к различным задачам обработки экспериментальных данных. Метод основан на адаптивном разложении исходных массивов в функциональном базисе из числа классических алгебраических систем полиномов и функций (многочленов Якоби, Чебышева, Лагранжа, Лагерра, Гегенбауэра и др.). Данный подход объединяет в себе аналитические и цифровые процедуры обработки данных и фактически является универсальной комбинированной технологией обработки информационных массивов. В монографии основное внимание уделяется задачам анализа видеоданных и распознавания образов. Помимо этого излагаются приложения метода к задачам параметрической идентификации и разработки систем управления и диагностики.

Для специалистов в области прикладной математики, информатики, обработки экспериментальных данных, анализа изображений и распознавания образов, студентов старших курсов и аспирантов названных специальностей.

*Издание осуществлено при поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований по проекту 98-01-14108*

*Основные исследования проводились при поддержке РФФИ, проекты
94-01-00226, 97-01-00526, 98-02-16833*

F.F.Dedus, S.A.Makhortykh, M.N.Ustinin, A.F.Dedus. Generalized spektral-analytical method of information files processing. Problems of images analysis and pattern recognition. Ed. by Dr.Sci. F.F.Dedus

In the monography the generalized spektral-analytical method - the new approach to information files processing is presented. Theoretical bases of a method, and also its application to various problems of experimental data processing are discussed. The method is based on adaptive decomposition of initial arrays in functional basis of classical algebraic systems of polynomials and functions (polynomials Jacobi, Chebyshev, Lagrange, Laguerre, etc.). This approach unites in itself analytical and digital procedures of data processing and actually is the universal combined technology of processing of information files. In the monography the basic attention is given problems of the visual data analysis and pattern recognition. Besides it applications of the method to problems of system parameters identification and control and diagnostics systems design are stated. For specialists in the field of applied mathematics, computer science, processing of experimental data, images analysis and pattern recognition, students of the senior rates and post-graduate students of the named above specialties.

The edition is prepared at support of the Russian Foundation for Basic Research, project 98-01-14108

Basic researches were carried out at support РФФИ, projects 94-01-00226, 97-01-00526, 98-02-16833

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

РАЗДЕЛ I. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ОБОБЩЕННОГО СПЕКТРАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Глава 1. Анализ методов и требования к обработке цифровых информационных массивов. Общие положения

Глава 2. Классические ортогональные полиномы (базисы). Полные ортогональные системы функций в пространстве L^2

2.1. Основные теоретические положения

2.2. Классические ортогональные базисы

2.3. Модифицированные классические ортогональные базисы непрерывного аргумента

2.4. Тригонометрические ряды Фурье. Функции Бесселя (цилиндрические функции)

Глава 3. Адаптивные алгоритмы аналитической аппроксимации информационных массивов

3.1. Основные факторы, влияющие на сложность структуры аналитического описания данных

3.2. Коэффициент формы

3.3. Разработка и использование адаптивных процедур при аналитической аппроксимации информационных массивов

3.4. Алгоритмы адаптивного сжатия объема измерительной информации на основе ортогонального проектирования

3.5. Фильтрующие свойства алгоритмов аналитического описания и сжатия, базирующихся на ортогональных разложениях

Глава 4. Вычисление коэффициентов разложения. Получение временных и частотных характеристик динамических систем

4.1. Вычисление коэффициентов Фурье

4.2. Вычисление коэффициентов Фурье-Лагерра методом подстановки

4.3. Вычисление интеграла свертки

4.4. Спектральные характеристики. Вычисление обобщенных коэффициентов разложения передаточных функций динамических систем

4.5. Определение временных характеристик динамических объектов

4.6. Определение частотных характеристик объектов

4.7. Алгоритмы вычисления коэффициентов разложения

Глава 5. Основы обобщенного спектрально-аналитического метода

5.1. Общие положения.

5.2. Особенности алгоритмической реализации метода

- 5.3. Преобразования результатов аналитического описания сигналов при решении типовых задач
- 5.4. Каноническое представление случайных процессов в аналитической форме
- 5.5. Получение статистических оценок
- 5.6. Решение прямых и обратных задач математической физики.
- 5.7. Решение интегрального уравнения Виннера - Хопфа. Фильтрация помех при анализе контурных изображений (фильтр Винера -Хопфа)
- 5.8. Аналитическая аппроксимация решений в задаче о поляроне

РАЗДЕЛ II. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО СПЕКТРАЛЬНО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Глава 6. Параметрическая идентификация и диагностика динамических объектов в пространстве коэффициентов разложения

- 6.1. Общие замечания
- 6.2. Статистический подход к задаче оценивания
- 6.3. Идентификация линейных стационарных и квазистационарных математических моделей исследуемых объектов
- 6.4. Параметрическая идентификация нелинейных моделей динамических объектов
- 6.5. Идентификация экспоненциальных сигналов методом взвешенных моментов.
- 6.6. Диагностика линейных стационарных объектов
- 6.7. О сглаживании помех аналоговыми спектральными анализаторами ортогональных функций при диагностике динамических объектов
- 6.8. Спектральные методы неразрушающего контроля механических систем.
- 6.9. Об одном методе вычисления размерности графика функции

Глава 7. Обобщенный спектрально-аналитический метод в задачах анализа изображений и распознавания образов

- 7.1. Общие положения.
- 7.2. Параметрическое представление изображений
- 7.3. Векторизация контурных изображений
- 7.4. Фрагментация и описание сложных изображений
- 7.5. Построение алгоритма распознавания изображений на основе обобщенного спектрально-аналитического метода
- 7.6. Выбор оптимальных условий аналитического описания контурных объектов
- 7.7. Инвариантные соотношения. Аналитические алгоритмы распознавания образов
- 7.8. Анализ результатов работы алгоритмов распознавания

Приложение 1. Модифицированные классические ортогональные базисы

Приложение 2. Примеры ортонормированных базисов непрерывного аргумента. Структурные схемы спектральных анализаторов параллельного и последовательного типов

Приложение 3. Взвешенные ортогональные полиномы Якоби при $n = 0, 1, 2$ и различных значениях параметров α и β

Приложение 4. Восстановление типовых процессов с использованием ортогональных разложений

Приложение 5. Использование ортогональных полиномов для определения частотных характеристик исследуемых объектов

Приложение 6. Формулы аналитических преобразований

Список литературы

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование систем управления и контроля сложными объектами и технологическими процессами, появление новых приборов и датчиков, основанных на новейших достижениях науки и техники, требуют непрерывного улучшения измерительных устройств, повышения их чувствительности и точности, а также способствуют расширению области применения измерительных систем. Все это ведет к устойчивой тенденции роста объемов информации и ужесточению требований к обработке информационных массивов данных.

Аналогичная ситуация сложилась и при решении задач распознавания образов и анализа изображений. Традиционные цифровые способы обработки данных на современных ЭВМ при распознавании сложных объектов часто не удовлетворяют потребителей из-за существенного увеличения времени обработки. Ситуация еще более усложняется при решении задач распознавания и анализа сцен в условиях движущихся объектов наблюдения.

Тенденции к росту объемов информационных массивов и повышению требований к точности и полноте их обработки за минимальное время заставляют разработчиков новых информационных систем наращивать их вычислительные мощности. Непрерывное увеличение быстродействия вычислительных комплексов ведет к росту стоимости обработки информации, далеко не всегда обеспечивая выполнение требуемых условий обработки данных.

Таким образом, в настоящее время остается актуальной задача создания новых методов обработки данных, которые, наряду с обеспечением заданной точности и скорости обработки, не требовали бы обязательного увеличения мощности вычислительных комплексов.

Широкое распространение цифровых вычислительных машин объясняется, главным образом, универсальностью цифровых расчетов и высоким быстродействием современных ЭВМ. Кроме того, наличие сравнительно недорогих персональных ЭВМ различной мощности обусловило превращение цифровых расчетов фактически в единственную вычислительную технологию. В то же время, непрерывное усложнение большинства решаемых задач, необходимость во многих случаях многократной цифровой обработки массивов данных сводит к минимуму достижения по увеличению быстродействия цифровых ЭВМ. С другой стороны, в сложившейся ситуации представляется явно недостаточным при создании алгоритмического и программного обеспечения использование достижений отраслей чистой математики (анализа, геометрии, алгебры и т.д.). Выполнять же на цифровой технике аналитические преобразования и выводы формул на основе фундаментальных закономерностей при определении сложных характеристик объектов различной физической

природы весьма затруднительно и неудобно для дальнейшего использования.

В предлагаемой монографии описаны результаты поиска возможных путей совмещения цифровых расчетов с аналитическими преобразованиями и выводами с целью повышения точности и скорости вычислений на ЭВМ. При этом сохраняется наглядность аналитических выводов и возможность на каждом шаге вычислений иметь аналитическое представление вычисляемых характеристик, искомых параметров и оценок.

Успешная реализация комбинированного метода обработки данных непосредственно зависит от формы аналитического описания исходных числовых массивов. Анализ возможных методов получения аналитического описания показал [3, 5, 9, 11-14], что наиболее полно поставленным условиям отвечает метод, основанный на аппроксимации данных отрезками ортогональных рядов с использованием классических ортогональных полиномов и функций непрерывного и дискретного аргументов [11]. В настоящей монографии речь будет идти только о полиномах и функциях непрерывного аргумента. Замечательные аппроксимативные свойства ортогональных базисов определяют их привлекательность при решении указанных ранее задач, а использование результатов аппроксимации в разнообразных аналитических преобразованиях и выводах для получения требуемых оценок или характеристик делают классические ортогональные базисы перспективным инструментом в имеющемся множестве методов и подходов аналитического описания цифровых информационных массивов.

Теория классических ортогональных базисов есть обобщение теории рядов Фурье на алгебраические полиномы. Их отличительная особенность состоит, главным образом, в том, что в большинстве формул, задающих конкретные базисы, имеются параметры, изменение которых может заметно менять свойства ортогональных полиномов и весовых функций, образующих конкретный ортогональный базис. Последнее обстоятельство особенно важно в задачах оптимальной аналитической аппроксимации, когда заданная точность должна быть обеспечена наиболее коротким отрезком ортогонального ряда. Применение специальных адаптивных процедур обеспечивает оптимальную (квазиоптимальную) аналитическую аппроксимацию данных на цифровых ЭВМ в автоматическом режиме. Появляется реальная возможность весьма эффективно проводить разнообразные аналитические преобразования и выводы, способствующие получению в аналитической форме необходимых оценок и характеристик. Выведенные в общем виде заранее формулы вводятся в ЭВМ программно либо “записываются” в постоянное запоминающее устройство. При поступлении цифровых информационных массивов выполняется их описание в аналитической форме. Вычисленные при этом конкретные коэффициенты разложения направляются в соответствующие ячейки памяти, в которых хранятся выведенные формулы для вычисления требуемых оценок и характеристик. При этом дальнейшее нахождение искомых характеристик по предлагаемой схеме определяется временем

обмена данными в ЭВМ. Работа в описываемом режиме исключает необходимость проведения многократных расчетов и не приводит к счетной неустойчивости. Повышается точность и скорость получения искомым оценок. Высокая универсальность метода обеспечивается достаточно полным набором формул и аналитических соотношений в пространстве коэффициентов разложения, выведенных для каждого используемого базиса при решении типовых задач обработки данных независимо от их физической природы.

Наряду с теоретическими основами, в монографии приведены примеры применения обобщенного спектрально-аналитического метода при решении широкого круга прикладных задач, прежде всего задач распознавания образов и анализа изображений. Так как обобщить метод на функции двух переменных, которыми описываются плоские изображения, оказалось довольно сложной задачей, дальнейшее его развитие для данных проблем шло по пути использования параметрического описания плоских и пространственных изображений. При этом плоские изображения описываются системой из двух уравнений одного переменного, а пространственные конфигурации однозначно определяются системой из трех уравнений одного переменного. При таком подходе требуется векторизация поступающего изображения, т.е. представление его математического описания в параметрической форме в виде системы уравнений одного аргумента. В дальнейшем анализе полностью применимы алгоритмы и программы, наработанные для функций одного аргумента. В этом случае признаками объекта распознавания выступают коэффициенты разложения проекций по наиболее подходящему ортонормированному базису из числа классических.

Разработанные алгоритмы обеспечивают решение следующих задач анализа изображений и распознавания образов: аналитического описания данных; «сжатия» объема представления информации; фильтрации низкочастотных и высокочастотных помех; определения геометрических характеристик объекта; реализации процедур масштабирования; определения координат и ориентации объекта в поле зрения, а также расстояния до него; реализации спектральной процедуры распознавания. Решение задач анализа изображений проводится путем получения соответствующих оценок по коэффициентам разложения. Дальнейшее увеличение эффективности данного метода связано с решением задачи ускорения процедуры вычисления коэффициентов разложения. Перспективы высокоскоростного расчета коэффициентов связываются с возможностью построения специализированного вычислителя, совместимого с серийными ЭВМ. Последовательная алгоритмизация выполнения разнообразных аналитических преобразований и выводов для наиболее употребляемых ортонормированных базисов является основой формирования альтернативной вычислительной технологии, особенно удобной при решении задач распознавания в широком смысле. Предлагаемая технология обеспечивает высокое быстродействие при решении информационных задач,

требуемую точность вычислений и их наглядность при сравнительно небольшой стоимости таких вычислителей за счет распараллеливания операций и высокой унификации блоков, их образующих. Программирование для решения разнообразных задач на рассматриваемых вычислителях будет сведено к минимуму за счет предварительного выполнения аналитических преобразований и выводов в пространстве коэффициентов разложения.

Полученные результаты демонстрируют высокую эффективность обобщенного спектрально-аналитического метода применительно к решению информационных задач различного назначения. В рамках предлагаемого подхода эффективно решаются следующие задачи: аналитическое описание цифровых информационных массивов, полученных в эксперименте или путем теоретических расчетов для получения необходимых оценок или характеристик; аналитическое описание одномерных, плоских и пространственных кривых с целью сжатия объема представления данных, а также для разработки аналитических алгоритмов распознавания сложных конфигураций; математическое моделирование (замена реальной модели эквивалентной с заданной точностью в виде отрезка ортогонального ряда); исследование сложных динамических систем, математическая модель которых не известна, путем аналитического описания динамики отдельных звеньев или блоков исследуемого объекта; синтез технических устройств с заданными динамическими характеристиками.

Авторы убеждены в том, что развитие комбинированных численно-аналитических методов приведет к новым теоретическим и техническим решениям, позволит существенно оптимизировать вычислительные процессы при решении многих научных и прикладных задач. Цель настоящей книги состоит в изложении теоретических основ новой информационной технологии, направленной на повышение оперативности, достоверности и точности обработки больших информационных массивов, получаемых в системах управления, наблюдения, навигации, а также разработке соответствующего алгоритмического, программного и технического обеспечения.

Авторы благодарят профессора Х.Л.Смолицкого и профессора А.Ф.Никифорова за многочисленные консультации при выполнении исследований. Мы искренне признательны академику Ю.И.Журавлеву за помощь и советы при написании книги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фарлоу С. Уравнения с частными производными. – М.: Мир, 1985.
2. Чебышев П.Л. Вопросы о наименьших величинах, связанные с приближенным представлением функций. Полн. собр. соч.. Т. 2.– М.-Л., 1947, с. 151-235.
3. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолли Дж. Теория сплайнов и ее приложения. – М.: Мир, 1972.
4. Бернштейн С.Н. Собр. соч. Т.1. –М., 1952, с. 105. Т.2. –М., 1954, с. 310.
5. Гончаров В.Л. Теория интерполирования и приближения функций. – М., 1954.
6. Галлагер Р. Теория информации и надежность связи. – М., 1974.
7. Губер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. – М.: ГИФМЛ, 1962.
8. Паплаускас А.Б. Тригонометрические ряды от Эйлера до Лебега. – М., 1966.
9. Дедус Ф.Ф., Бикташев В.Н. и др. Адаптивные численно-аналитические методы обработки данных биологического эксперимента, основанные на ортогональных разложениях. Отчет НИВЦ АН СССР. Рег. номер 0187.0.066.494, 1991.
10. Дедус Ф.Ф. Автоматизация аналитического представления и обработки результатов экспериментальных исследований. //Материалы I Международной школы по автоматизации научных исследований. – Пушкино, 1985, с.96-112.
11. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. Специальные функции математической физики. – М.: Наука, 1978.
12. Dedus F.F., Dedus A.F., Ustinin M.N. A new data processing technology for pattern recognition and image analysis problems. Pattern Recognition and Image Analysis, vol.2, pp.195-207, 1992.
13. Dedus A.F., Dedus F.F., Makhortykh S.A., Ustinin M.N. Analytical description of multidimensional signals for solving problems of pattern recognition and image analysis. Pattern Recognition and Image Analysis, vol.3, pp.459-469, 1993.
14. Толстов Г.П. Ряды Фурье. – М., 1960.
15. Ахиезер Н.И., Глазман И.М. Теория линейных операторов в гильбертовом пространстве. – М: Наука, 1965.
16. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М: Наука, 1968.
17. Бейтмен Г., Эрдейи Э. Высшие трансцендентные функции. Том 2. – М: Наука, 1966.
18. Специальные функции / Под ред. Абрамовица и Стиган. – М.: Мир, 1982.

19. Дедус Ф.Ф., Гальченко А.А., Малахов В.Н. и др. Разработка методов и аппаратуры помехоустойчивого преобразования информации. Отчет по НИР. Номер гос. регистрации 76047147. – Пушкино: НИВЦ АН СССР, 1982.
20. Дедус Ф.Ф. Синтез алгоритмов аналитического представления адаптивного сжатия и интерпретации результатов экспериментальных исследований //Труды I-ой Международной школы молодых ученых "Автоматизация биотехнологических процессов и биологических экспериментов". – Варна, 1986.
21. Дедус Ф.Ф. Аналитическое представление экспериментальных данных и их обработка. Кибернетика и вычислительная техника. Вып. 74. – Киев: Наукова думка, 1987.
22. *Weierstrass K. Sitzungsber. Akad. Berlin.* 1885, s. 633-639, 789-805.
23. Хейес У.Д. Введение в теорию распространения волн. //Нелинейные волны/ Под ред. С.Лейбовича и А.Сибасса. – М.:Мир, 1977, с. 13-53.
24. Ватсон Дж.Н. Теория бесселевых функций. Ч. 1. – М., 1949.
25. Музыченко В.В., Рыбак С.А. Низкочастотное рассеяние звука ограниченными оболочками. Обзор. Акустич. ж. Том 34, вып. 4, 1988, с. 561 - 577.
26. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. – М.: Наука, 1987.
27. Бреховских Л.М., Гончаров В.В. Введение в механику сплошных сред. – М.: Наука, 1982.
28. Худсон Д. Статистика для физиков. – М.: Мир, 1970.
29. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. – М.: Физматгиз, 1962.
30. Бесекерский В.А., Дедус Ф.Ф., Ройтберг М.А. Сжатие информации и идентификация на основе ортогональных разложений // Труды Ленинградского ИАП, 1977.
31. Шафер, Ребайнер. Методы цифровой обработки сигналов в задачах интерполяции. ТИИЭР, т.61, N 6, 1973, с.5-18.
32. G.Oetken, T.W.Parks, H.W.Schussler. New results in the design of digital interpolators. IEEE Trans. Asoust. Speech Signal Proc., vol.23, pp.301-309, June 1975.
33. R.E.Crochiere, L.R.Rabiner. Multirate Digital Signal Processing. – Engwood Cliffl, NJ: Prentice Hall, 1983.
34. Шеннон К. Связь при наличии шума. //Работы по теории информации и кибернетике. – М.: ИЛ, 1963, с.433 - 460.
35. Джерри А.Дж.. Теория отсчетов Шеннона, ее различные приложения и обобщения. Обзор. ТИИЭР, т.65, N 11, 1977, с.53 - 89.
36. Дедус Ф.Ф. Автоматизация процессов аналитического представления и интерпретации результатов экспериментальных исследований. Препринт НЦБИ АН СССР. – Пушкино, 1983.
37. Бесекерский В.А. Динамический синтез автоматического регулирования. – М.: Наука, 1970.

38. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1966.
39. Бесекерский В.А., Востоков С.Б., Цейтмен Я.М. Электромеханические сглаживающие устройства. – Л.: Судостроение, 1964.
40. Гальченко А.А., Дедус Ф.Ф. Идентификация экспоненциальных сигналов методом взвешенных моментов. Автометрия. № 4, 1983.
41. Дедус Ф.Ф. Комбинированные цифро-аналитические методы обработки данных экспериментов //Материалы III Международной школы по автоматизации научных исследований. – Пущино, 1990, с. 52–77.
42. Никольский С.М. Курс математического анализа. Т.2. – М.: Наука, 1975.
43. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975.
44. Коляда А.А., Пак И.Т. Модулярные структуры конвейерной обработки цифровой информации. – Минск: Университетское, 1992.
45. Пугачев В.С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз, 1962.
46. Свеишников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968.
47. Махортых С.А. Ортогональные разложения и некоторые обратные задачи математической физики // ММРО-7. – Пущино - Москва, 1995, с. 88-89.
48. F.F.Dedus, S.A.Makhortykh, M.N.Ustinin. Generalized spectral-analytic method: Applications. Proc. SPIE, vol. 2363, 1995, p.113.
49. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1980.
50. Бикташева И.В., Дедус Ф.Ф., Махортых С.А. Фильтрация помех при анализе контурных изображений. // ММРО-6. – Москва, 1993, с.76.
51. Wiener N. Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series. – N.-Y.: J.Wiley, 1949.
52. Махортых С.А. Об одном методе вычисления размерности графика функции // Труды семинара "Спектральные методы обработки информации в биологических исследованиях". – Пущино: ОНТИ, 1996.
53. Scott W.B. New teraflops machines aim to fill computational gap. AW&ST, April 15, 1996, p. 52.
54. A.F.Dedus, F.F.Dedus, S.A.Makhortykh, M.N.Ustinin. Generalized spectral-analytic method: Theoretical fundamentals. - Proc.SPIE, vol. 2363, 1995, p.109.
55. F.F.Dedus, S.A.Makhortykh, M.N.Ustinin. Generalized spectral-analytic method for the problems of signal processing and image analysis. - Proc. The 9th Scandinavian Conf. on Image Analysis, June 1995, Uppsala, Sweden, 1995, pp. 973-980.
56. Пикаев А.К. Сольватированный электрон в радиационной химии. – М., Наука, 1969
57. Раиба Э.И., Левинсон И.Б. УФН, т.111, вып. 4, 1973, с.683.
58. Стоунхэм А.М. Теория дефектов в твердых телах. – М., Мир, 1978

59. Балабаев Н.К., Лахно В.Д. О структуре полярона сильной связи. ТМФ, т.45, 1, 1980, с.139.
60. Балабаев Н.К., Лахно В.Д. Самосогласованные решения в континуальной модели F-центров. Оптика и спектроскопия, т.55, вып.2, 1980, с.308
61. Дедус Ф.Ф., Воронцов В.Б. Диагностика непрерывных систем с использованием ортогональных фильтров. Техническая диагностика. Труды I Всесоюзного совещания по технической диагностике. – М.: Наука, 1972.
62. Пекар С.И. Исследования по электронной теории кристаллов.–М.:Гостехиздат, 1951.
63. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем автоматического управления. – М.: Энергия, 1969.
64. Кузьмин И.В. Оценка эффективности автоматических систем контроля и управления. – Харьков: ХВКИУ, 1964.
65. Диткин В.А., Прудников А.П. Интегральные преобразования и операционное исчисление. – М.: Физматгиз, 1961.
66. Махортых С.А. О модуляции звука низкочастотной волной малой амплитуды.// Современные вопросы механики сплошной среды в геокосмических исследованиях. – М.: МФТИ. 1987. С.35.
67. Махортых С.А. Структура поля внутренней волны в окрестности волнового конуса.// Вопросы механики сплошной среды в геокосмических исследованиях. – М.: МФТИ. 1989. С.47.
68. Шакин В.В. Диагностическая классификация континуальных эквивалентных электрических кардиогенераторов // Математическая обработка медико-биологической информации. – М.: 1985.
69. Распространение звука во флуктуирующем океане / Под ред. С.Флатте. М.: Мир, 1984.
70. Винер Н. Интеграл Фурье и некоторые его приложения. – М.: Физматгиз, 1963.
71. Ключев Н.И. Информационные основы передачи сообщений. – М.: Советское радио, 1966.
72. Костарев С.А., Махортых С.А., Перфильев О.К., Рыбак С.А. Руководство по определению физико-механических свойств грунтов при расчетах вибрации в помещениях жилых и общественных зданий от движения поездов метрополитена // Комплекс нормативных документов по оценке шума и вибрации от метрополитена. М.: Информационно-издательский центр “ТИМР”, 1998, с. 79-96.
73. Махортых С.А., Сычев В.В. Алгоритм вычисления стохастического аттрактора и его применение к анализу электрофизиологических данных. – Abstracts. Nonlinear Phenomena in Biology. Pushchino. 1998. P. 33-34.

74. *Махортых С.А.* О спектральных методах неразрушающего контроля // Труды семинара "Спектральные методы обработки информации в биологических исследованиях". – Пущино: ОНТИ, 1996.
75. *Мнев Е.Н., Перцев А.К.* Гидроупругость оболочек. – Л.: Судостроение, 1970.
76. *Исакович М.А.* Общая акустика. – М.: Наука, 1973.
77. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Гидродинамика. – М.: Наука, 1986.
78. *Федер Е.* Фракталы. – М.: Мир, 1991.
79. *Кахан Ж.-П.* Случайные функциональные ряды. – М., 1973.