

e outlined
ng special
ory.

Khlebalin

1990 and
decided to
ly enough

РЕЦЕНЗИЯ

на книгу: Ludyk, G. "CAE von Dynamischen Systemen. Analyse, Simulation, Entwurf von Regelungssystemen." — Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1990 — 335 с.

В книге по-новому изложены некоторые разделы прикладной математики, широко применяемые в теории систем регулирования. Новизна изложения состоит, во-первых, в рассмотрении вычислительных алгоритмов с позиций интервальной математики, во-вторых, в распространении известных методов на объекты с интервальной неопределенностью, в-третьих, в описании новых специальных вычислительных методов, учитывающих интервальность.

Книга состоит из девяти глав и приложения.

В первой главе "Основы компьютерной арифметики" излагаются сведения о машинных числах, ошибках округления и направленных округлениях, особенностях "интервальных" версий Паскаля и Фортрана, вводятся понятия обусловленности задачи и качества алгоритмов ее решения.

2-я глава "Собственные значения и собственные векторы" содержит описание методов и соответствующих алгоритмов вычисления собственных значений матриц из характеристического уравнения и с помощью ортогональных преобразований подобия. Корни полиномов второй и третьей степени определяются через рациональные операции, для полиномов высоких степеней указывается связь с сопровождающей матрицей. Матричные методы включают обобщенную и вещественную формы Шура, QR-разложения посредством форм Хаусхолдера и Гессенберга с

использованием матриц Гивенса и Френсиса. Приводится пример плохо обусловленной задачи — нахождение корней полинома 20-го порядка (Уилкинсон) и технический пример — описание двигателя постоянного тока с интервальными коэффициентами.

3-я глава “Высокоточное решение систем уравнений” состоит из разделов, в которых на примере итерационного метода Ньютона излагается постановка задачи, даются интервальные методы решения для систем линейных и нелинейных уравнений, систем линейных интервальных уравнений, высокоточного определения обратной матрицы, а также описываются приложения методов в задаче о собственных значениях (вещественных и комплексных).

4-я глава “Управляемость и назначение полюсов” посвящена важнейшим вопросам теории регулирования. В ней наряду с определением управляемости дискретных и непрерывных динамических систем большое внимание уделено структурным особенностям матрицы управляемости в случае скалярных и многомерных систем. При этом используется описанная во второй главе форма Гессенберга. Фундаментальный вопрос введения обратной связи в динамическую систему решается методом модального управления. Для систем с одним входом и одним выходом численное определение вектора обратной связи производится двумя способами — через форму Эккермана (в трех модификациях, причем в одной из них используется интервальная матрица управляемости) и путем приведения объекта к форме Хессенберга (предложили Миминис и Пэйдж). Для многосвязных систем описываются четыре метода решения этой задачи.

В пятой главе “Наблюдаемость и восстановление состояний” даются определения дуальной к рассмотренной в четвертой главе задаче и на идейном уровне описывается устройство наблюдателя.

6-я глава “Разложение по сингулярным значениям и приложения” посвящена очень важной математической характеристике автоматической системы — сингулярным числам матриц ее модели. Сингулярные значения вначале увязываются с геометрическими понятиями теории матриц (образ, ядро), затем описывается метод их вычисления, предложенный Голубом и Райншем, а

также
шее в
декомп
даемук
ческой
объект
рядка,
матриц

7-я г.
тересна
исследу
ных дис
показы
дискрет
рез пон
лизирое
ки и ре
красные
симость
альные
стояний
ства, пр
способа
аппрокс
точно
ными ус
руются
оценки р
ми (нор
ми, 2) то
то же, но
тервалом
мером “э
ждение
линейны
и растет
следует
ются ре

также высокоточный интервальный метод. Наряду с этим большое внимание уделяется применениям сингулярных чисел: для декомпозиции системы на управляемую, неуправляемую, наблюдаемую и ненаблюдаемую подсистемы, для пояснения геометрической теории ослабления возмущений, для приведения модели объекта к специальной форме и последующему понижению ее порядка, в методе наименьших квадратов и для псевдообращения матриц.

7-я глава "Моделирование динамических систем" наиболее интересна новизной излагаемых материалов. В первом подразделе исследуются классические методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. На примере метода Эйлера показывается процесс интегрирования и его зависимость от шага дискретизации, ошибка метода связывается с рядом Тейлора через понятия ее локальности, глобальности и порядка. Затем анализируется метод Рунге-Кутты, способы корректирования ошибки и регулирования ширины шага. Завершают подраздел прекрасные примеры дифференциальных уравнений с жесткой зависимостью от начальных условий и шага (жесткие дифференциальные уравнения). Второй подраздел посвящен уравнениям состояний. Обсуждаются понятия переходной матрицы и ее свойства, принцип моделирования с помощью этой матрицы и три способа ее вычисления (диагонализация, представление рядом, аппроксимация Паде). Описание новейших результатов сосредоточено в третьем подразделе "Моделирование систем с начальными условиями и параметрами в виде интервалов". Формулируются три круга задач: 1) вычисление хорошей интервальной оценки решения дифференциальных уравнений с точно известными (нормальными, как их называет автор) начальными условиями, 2) то же, но с интервальным вектором начальных условий, 3) то же, но с параметрами дифференциальных уравнений в виде интервалов. Трудность решения этих задач демонстрируется примером "эффекта раскрутки". Интересным является также утверждение о сведении задачи (3) к задаче (2). При этом, правда, линейные дифференциальные уравнения становятся нелинейными и растет размерность вектора состояний. Дальнейшее изложение следует работам Лонера, центральными идеями которых являются рекурсивное вычисление коэффициентов разложения в ряд

Тейлора элементарных функций, линеаризация, матричные методы прогнозирования глобальной ошибки. К сожалению, этот материал не имеет алгоритмического обеспечения.

Материал глав 8 и 9 (“Уравнение Ляпунова и Риккати” и “Частотные характеристики” соответственно) подчеркивает направленность книги на теорию автоматического управления. В восьмой главе рассматривается связь основных условий работоспособности регулируемой системы — устойчивости и качества — с уравнениями Ляпунова и Риккати в непрерывной и дискретной матричной форме. Приводятся алгоритмы методов численного решения этих уравнений. В девятой главе описывается интересный алгоритм построения частотных характеристик непосредственно по матричному описанию объекта в пространстве состояний, реализация которого в PASCAL-XSC дает возможность получать области расположения частотных характеристик для систем с интервальными параметрами.

В Приложении сконцентрированы необходимые сведения об элементах интервальных вычислений: интервальной арифметике, ее машинной реализации, интервальном представлении функций, интервальных матрицах и векторах.

В целом книга оставляет приятное впечатление за счет рассмотрения не только чисто вычислительных вопросов, но и применения интервальных методов к объектам с интервальной неопределенностью, а также многочисленных тщательно подобранных примеров и продуманных алгоритмов. Очень полезным является материал по анализу управляемости-наблюдаемости, частотным характеристикам и моделированию интервальных автоматических систем.

Имеются и недостатки. Самый значительный из них — игнорирование результатов, опубликованных в международных журналах по теории автоматического управления (*Automatica*, *International Journal of Control*, *IEEE Transactions on Automatic Control* и др.) в период с 1978 по 1988 гг. и непосредственно относящихся к теме книги. Между тем эти результаты касаются как чисто математических вопросов (например, фундаментальный результат В.Л.Харитонова по интервальным полиномам, работы

по устойчивости систем с интервальными параметрами, работы Робертса и др. (о роботах)). Были устроены несбалансированные занятия, хотя книги.

Имею ритмов 1 4.10 (с. ссылка 1

Тем н специали- тике, по- ности и мненно 1 вычисли

От реда- некоторы- шили пом- как нам- мненные же среди

по устойчивости интервальных матриц), так и специальных вопросов робастной теории автоматического управления (интервальное модальное управление, интервальное уравнение Риккати, робастные частотные методы, работы по грубости наблюдателей). Включение этих материалов в главы 5, 8, 9 позволило бы устранить второй недостаток книги — бросающуюся в глаза несбалансированность объемов глав. Так, например, главы 2, 4, 6 занимают около 60 страниц каждая, главы 8, 9 — по 15 страниц, хотя тематика этих последних глав вынесена в подзаголовки книги.

Имеются и мелкие погрешности, например, нумерация алгоритмов идет не по порядку, а с пропусками. Далее, в алгоритме 4.10 (с. 108) есть ссылка на отсутствующий алгоритм 2.16, а ссылка на формулу (7.190) на стр. 275 вызывает сомнение.

Тем не менее, каждый прочитавший эту монографию, будь то специалист в теории управления или в вычислительной математике, получит истинное удовольствие от методичности, аккуратности и обширности излагаемого материала. Книга будет несомненно полезна преподавателям вузов при чтении спецкурсов по вычислительным аспектам теории автоматического управления.

Н.А.Хлебалин

От редакции. Хотя рецензируемая книга вышла в 1990 г. и в некоторых частных вопросах уже устарела, тем не менее мы решили поместить данную рецензию в нашем журнале, поскольку, как нам представляется, эта монография, несмотря на ее несомненные достоинства, до сих пор еще недостаточно известна даже среди специалистов в области интервальных вычислений.