

## ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе своего развития человечество как в виде его отдельных представителей, так и коллективов, организаций и объединений, постоянно сталкивается с необходимостью количественных оценок характеристик различных систем, объектов и процессов (в технике, экономике, политике, экологии, социологии, бизнесе и т. п.), в той или иной мере влияющих на его жизнедеятельность.

В качестве таковых выступают, например, сложные технические, экономические, экологические системы, объекты промышленного, хозяйственного, социального, военного назначения, процессы производства различного вида промышленной и сельскохозяйственной продукции и т. п., обеспечивающие как возможность самого физического существования человека, так и облегчающие его жизнедеятельность в той или иной окружающей обстановке.

Количественные оценки характеристик подобных систем, объектов и процессов в различных областях человеческой деятельности принципиально необходимы как для непосредственного управления в реальном времени ими с целью выполнения требуемой программы их функционирования, развития и совершенствования, так и для принятия определенных решений по результатам этих оценок. При этом особое место занимают задачи исследования будущего состояния указанных систем, объектов и процессов, основанные на результатах прогнозных оценок их характеристик.

Указанные количественные оценки в практических приложениях могут обеспечиваться либо путем непосредственного измерения исследуемых характеристик в некоторые моменты времени с применением соответствующих измерительных устройств, либо расчетным путем по значениям (измерениям) ряда определяющих их параметров с использованием специальных, как правило, машинно-ориентированных алгоритмов. В основе подобных алгоритмов должны лежать пригодные для практического применения инженерные методы обработки имеющейся информации об оцениваемых характеристиках, учитывающие как формальное описание процессов формирования этих характеристик (их математические модели), так и существующие данные о значениях этих характеристик (статисти-

ку) при определенных значениях определяющих их параметров (в определенные моменты времени).

К настоящему времени для ряда математических моделей исследуемых характеристик и при определенных допущениях и ограничениях получены строгие теоретические методы их оценок, основанные, например, на теории стационарных случайных последовательностей и процессов, теории линейной фильтрации и ее модификаций, методе наименьших квадратов и др.

Использование этих теоретических методов, однако, требует выполнения двух неперенных условий, которые на практике иногда становятся трудно преодолимыми, а именно:

- математические модели, лежащие в их основе, должны быть адекватны процессам формирования реальных оцениваемых характеристик;
- теоретические алгоритмы получения количественных оценок этими методами должны быть реализуемыми в конкретных практических приложениях.

Например, при применении метода максимального правдоподобия оптимальные оценки характеристик, совпадающие с оценками, получаемыми с использованием метода наименьших квадратов, требуют обоснования этих характеристик как линейных с гауссовыми шумами. Оценки с использованием байесовского подхода в натуральном масштабе времени требуют аналитического задания апостериорной плотности вероятности исследуемой случайной характеристики, а также того, чтобы ее апостериорная и априорная функции плотности вероятности принадлежали к одному и тому же семейству.

Обстоятельством, дополнительно усложняющим для инженеров-практиков использование указанных теоретических методов, является, как правило, их довольно сложное математическое содержание.

Заметим, что одним из главных требований к качеству оценок исследуемых характеристик (автоматизированных систем управления, технологических процессов, производимой продукции, состояния окружающей среды и т. п.) является достижение их необходимой точности, в том числе за счет ее повышения. Практическая реализация этого требования, всегда являясь актуальной, зачастую представляет собой сложную научно-методическую и техническую задачу.

Из сказанного следует необходимость определения задачи количественных оценок характеристик различных систем, объектов

и процессов независимо от их видовой принадлежности с единой научно-методической точки зрения и создания инженерного аппарата для указанных оценок, пригодного для использования в практических приложениях.

В настоящее время трудно назвать работу, в которой эти вопросы объединялись единой методологией, позволяющей получать конкретные результаты в различных практических областях, обобщались и излагались основные способы и методы оценок, пригодные для инженерного использования. Цель настоящей книги — попытка частично восполнить указанный пробел.

Для этого в книге осуществлен обзор существующих теоретических аналитических и вычислительных методов оценок характеристик для выявления их сходства, различий, достоинств и недостатков, проведено исследование условий их применения в практических приложениях, а также рассмотрены вопросы исследования точности указанных оценок и возможности ее повышения.

Настоящая книга написана с точки зрения инженера-практика, т. е. в ней основное внимание уделяется не математической строгости существующих теоретических положений, способов и методов оценок, а систематическому изложению научно-методических вопросов их практических приложений и существующим при этом ограничениям.

Материал книги представлен в виде одиннадцати глав.

В главе 1 приводятся основные определения и понятия, касающиеся задачи оценок характеристик систем, и рассматривается ее постановка.

В главе 2 анализируется существующий теоретический аппарат оценок стационарных однопараметрических характеристик систем при отсутствии и наличии помех измерениям.

В главе 3 рассматривается практический аппарат оценок многопараметрических характеристик систем с линейными и нелинейными детерминированными основами.

Глава 4 посвящена практическим вопросам оценок многомерных характеристик систем, описываемых системами дифференциальных уравнений, алгоритмическими моделями, с применением оптимальной фильтрации их измерений, а также метода статистических испытаний.

В главе 5 рассматриваются вопросы оценок характеристик систем в условиях неоднородной и ограниченной измерительной информации на основе теории экспоненциального сглаживания, при учете результатов измерений с различными весами, а также при

применении предлагаемого способа расширения статистической информации.

Глава 6 посвящена выбору моделей характеристик систем с позиции обеспечения требуемой точности расчетного пути их оценок. Предлагается алгоритм выбора детерминированных основ многопараметрических характеристик систем с использованием системы признаков, обеспечивающий наилучшее с точки зрения точности оценок соответствие выбираемых моделей действительной закономерности формирования этих характеристик.

В главе 7 проводится подробный теоретический анализ и приводятся зависимости для практических расчетов ошибок оценок характеристик систем всеми изложенными в предыдущих главах методами и способами.

Глава 8 посвящена вопросам использования дублирующих источников информации при оценках характеристик систем и вычисления их комбинированных оценок.

В главе 9 рассматриваются возможности повышения точности оценок характеристик систем за счет комплексирования информации дублирующих источников с использованием математических моделей формирования их ошибок. Анализируются физические основы такого комплексирования и разрабатываются математические основы опознавания и разделения ошибок источников информации.

В главе 10 определяется понятие качественных характеристик систем. Для двух важнейших из них — эффективности как интегральной характеристики качества систем и устойчивости как необходимого условия обеспечения их требуемой эффективности приводятся зависимости для их количественных оценок.

Глава 11 посвящена вопросам эвристических оценок характеристик систем.

Основные положения книги проиллюстрированы большим числом примеров, которые призваны помочь читателю легче усвоить представленный материал, но не имеют целью выработку каких-либо конкретных практических рекомендаций.

Материал книги предназначен для специалистов, занимающихся практическими оценками характеристик систем, объектов и процессов в технике, экономике, экологии, социологии, бизнесе и в других областях человеческой деятельности, а также для студентов и аспирантов соответствующих прикладных специальностей.

### **Основные обозначения и определения**

Все прописные латинские буквы, если не оговорено противное, обозначают матрицы.

Все строчные латинские и греческие буквы с чертой сверху (вида  $\bar{y}$ ) обозначают векторы-столбцы.

Все строчные латинские и греческие буквы обозначают скаляры.

Векторы и скаляры с «крышей» сверху (вида  $\hat{y}$  и  $\hat{y}$ ) обозначают их оценки.

Операция транспонирования векторов и матриц обозначается символом «т» сверху.

Операция обращения матриц обозначается символом «-1».

Норма вектора  $\bar{y}$  определяется как  $\|\bar{y}\|^2 = \bar{y}^t \bar{y}$ .

Для удобства нахождения в материалах книги ссылок на формулы, рисунки, таблицы и примеры их нумерация характеризуется обозначением главы, раздела и порядкового номера в этом разделе (например, формула (7.2.3) означает ее третий порядковый номер во втором разделе седьмой главы).

Содержание примеров напечатано петитом для выделения их из основного материала книги.