

А. Д. СЕМЕНОВ, А. В. ВОЛКОВ, О. В. ЕРМИЛИНА

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

А. Д. Семенов, А. В. Волков, О. В. Ермалина

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 681:001.891.573

ББК 32.965

С30

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры управления и информатики
Национального исследовательского университета «МЭИ» *О. С. Колосов*;
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных
систем и технологий Самарского национального исследовательского
университета им. академика С. П. Королева *С. А. Прохоров*

Семенов, А. Д.

С30 Математические модели систем управления : учебное пособие /
А. Д. Семенов, А. В. Волков, О. В. Ермилина. – Москва ; Вологда :
Инфра-Инженерия, 2022. – 200 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0889-9

Рассматриваются основы моделирования систем управления с использованием линейных непрерывных и импульсных динамических моделей, математических моделей случайных процессов, нелинейных и нейросетевых моделей. Затрагиваются вопросы теории подобия и теории размерностей. Приводятся основные методы идентификации объектов управления. Показаны особенности применения временных, частотных, спектральных, стохастических непараметрических и параметрических методов идентификации.

Для студентов и аспирантов технических вузов. Может быть полезно инженерам и научным работникам, занимающимся проектированием и эксплуатацией систем управления.

УДК 681:001.891.573

ББК 32.965

ISBN 978-5-9729-0889-9

© Семенов А. Д., Волков А. В., Ермилина О. В., 2022

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	6
1.1. Особенности моделирования систем управления.....	6
1.2. Этапы моделирования и классификация математических моделей....	8
1.3. Основные подходы к построению математических моделей.....	13
1.4. Имитационное моделирование.....	18
1.5. Обобщенные аналитические модели объектов управления.....	22
1.6. Линеаризация нелинейных моделей объектов управления.....	26
2. ЛИНЕЙНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ	32
2.1. Математические модели в пространстве состояний.....	32
2.2. Линейные преобразования в пространстве состояний.....	37
2.3. Структурированные модели на основе передаточных функций....	47
2.4. Временные характеристики линейных моделей.....	54
2.5. Частотные характеристики.....	56
3. ЛИНЕЙНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ И ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ	63
3.1. Квантование информации.....	63
3.2. Решетчатые функции и дискретные передаточные функции.....	66
3.3. Теоремы z-преобразования.....	69
3.4. Разностные уравнения и АРСС-модели.....	70
3.5. Правила преобразования линейных импульсных систем.....	75
3.6. Представление дискретных систем управления в пространстве состояний.....	77
3.7. Временные характеристики линейных импульсных систем.....	82
3.8. Частотные характеристики линейных импульсных систем.....	85
4. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ	90
4.1. Характеристики случайных процессов и их оценивание.....	90
4.2. Математические модели стационарных внешних возмущений....	94
4.3. Линейные дискретные модели и их применение для формирования случайных процессов и оценивания их характеристик.....	100
4.4. Аппроксимация временных рядов с помощью матричных операторов.....	105
5. НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ	112
5.1. Особенности нелинейных систем.....	112
5.2. Виды нелинейностей.....	117

5.3. Особые точки фазовых траекторий систем.....	123
5.4. Особые линии фазовых траекторий нелинейных систем.....	127
5.5. Автоколебания.....	137
5.6. Резонанс в нелинейных системах.....	145
5.7. Нелинейная следящая система с трехпозиционным регулятором...	153
6. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ПОДОБИЯ.....	168
6.1. Геометрическое и физическое подобие. Аналогии.....	168
6.2. Теоремы подобия.....	172
6.3. Основы теории размерностей.....	176
6.4. Представление математических моделей в безразмерной форме...	180
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	183
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	184
ЛИТЕРАТУРА.....	195