

В.И. Аверченков,  
В.П. Федоров, М.Л. Хейфец

**ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ**

Учебное пособие

4-е издание, стереотипное

МОСКВА  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФЛИНТА»  
2021

УДК 519.85(075.8)

ББК 22.185.4

A19

Р е ц е н з е н т ы:  
кафедра САПР Волгоградского государственного  
технического университета;  
доктор технических наук, профессор *Лозбинец Ф.Ю.*

**Аверченков В.И.**

A19 Основы математического моделирования технических систем  
: учебное пособие / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л.  
Хейфец. – 4-е изд., стер. – Москва : ФЛИНТА, 2021. – 271 с.  
– ISBN 978-5-9765-1278-8. – Текст : электронный.

Изложены основы современных методов математического моделирования технических объектов, широко используемых в инженерной практике и научных исследованиях. Рассмотрены общие понятия и определения математического моделирования, приведены классификации моделей и даны рекомендации по их использованию при решении различных задач. Особое внимание уделено построению математических моделей с использованием матриц, теорией множеств и графов, алгебры логики и исчисления предикатов. Рассмотрены элементы и направления применения таких современных средств моделирования и оптимизации, как теория нечетких множеств, нейрокомпьютерное моделирование и генетические алгоритмы. Приведены сведения о современных подходах и оптимизации при математическом моделировании технических систем.

Учебное пособие предназначено для студентов инженерных специальностей всех форм обучения, магистров направления 552900 – «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» и аспирантов, выполняющих исследования в области технологии машиностроения, математического моделирования, САПР и автоматизации и управления технологическими процессами и производствами (в машиностроении) (научные специальности 05.02.08, 05.13.18, 05.13.12 и 05.13.06 соответственно).

УДК 519.85(075.8)

ББК 22.185.4

ISBN 978-5-9765-1278-8

© Коллектив авторов, 2016

© Издательство «ФЛИНТА», 2016

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ.....	4
Вопросы для самопроверки.....	12
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ..	13
1.1. Классификация моделей по типам, свойствам и назначению.....	13
1.2. Методы моделирования сложных систем.....	21
1.3. Общие принципы и средства построения математических моделей процессов в машиностроении.....	28
1.3.1. Основные принципы построения математических моделей.....	28
1.3.2. Схема построения детерминированных моделей.....	35
1.3.3. Схема построения стохастических моделей.....	38
1.3.4. Средства математического моделирования технических объектов и обеспечение.....	41
Вопросы для самопроверки.....	46
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	48
2.1. Роль и место математических методов в моделировании технических систем и их элементов.....	48
2.2. Матрицы и операции над ними.....	53
2.3. Элементы теории множеств.....	63
2.3.1. Основные понятия и определения.....	63
2.3.2. Операции над множествами.....	66
2.3.3. Упорядочение элементов и прямое произведение множеств.....	74
2.3.4. Соответствия.....	77
2.3.5. Отображения и функции.....	79
2.3.6. Отношения.....	83
2.3.7. Ключевые понятия высшей алгебры.....	87
2.4. Основы прикладной теории графов.....	89
2.4.1. Общие положения.....	90
2.4.2. Основные понятия и определения.....	91
2.4.3. Матричные представления графовых моделей.....	101
2.4.4. Отношения на графе и его основные характеристики.....	106
2.4.5. Элементы оптимизации на основе графовых моделей.....	108
2.5. Моделирование технических систем на основе алгебры логики.....	114
2.5.1. Понятие о простых и составных высказываниях.....	114

2.5.2. Элементарная алгебра высказываний.....	117
2.5.3. Порядок моделирования логических высказываний и технических систем на основе синтеза комбинационных схем.....	125
2.5.4. Исчисление предикатов.....	129
Вопросы для самопроверки.....	150
<b>ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>151</b>
3.1. Основные понятия корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализов.....	151
3.2. Условия применимости статистического анализа.....	155
3.3. Оценка достоверности результатов анализа.....	159
3.4. Выбор факторов статистической модели.....	163
3.5. Выбор параметров статистической модели.....	165
3.6. Выбор вида статистической модели.....	167
3.7. Ортогональное планирование второго порядка.....	170
3.8. Рототабельное планирование экспериментов.....	172
Вопросы для самопроверки.....	175
<b>ГЛАВА 4. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>176</b>
4.1. Критерии оптимизации моделей в машиностроении.....	177
4.2. Классификация методов оптимизации.....	188
4.3. Оптимизация производственных процессов методом линейного программирования.....	191
4.3.1. Алгебраическая постановка задачи.....	192
4.3.2. Геометрические представления понятий линейного программирования в пространстве решений.....	197
4.3.3. Симплексный метод решения задачи линейного программирования.....	206
4.4. Примеры оптимизации технических систем, решаемые методом линейного программирования.....	213
4.4.1. Задача о загрузке технологического оборудования.....	214
4.4.2. Управление производственными запасами.....	216
4.4.3. Планирование работы производственного подразделения по критерию максимума комплектов.....	219
4.4.4. Задача оптимизации перевозок.....	222
4.5. Условная оптимизация нелинейных моделей.....	224
Вопросы для самопроверки.....	228
<b>ГЛАВА 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....</b>	<b>229</b>

## Оглавление

---

5.1. Основные понятия и определения.....	229
5.2. Основные теории нечетких множеств.....	231
5.3. Применение экспертных систем и нечетких регуляторов в моделях управления объектами.....	240
5.4. Элементы нейросетевого моделирования процессов в технических объектах и системах.....	243
5.5. Генетические алгоритмы и их применение в моделировании технических систем.....	250
Вопросы для самопроверки.....	255
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	257
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..	266