

**Р. О. Оморов**

---

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ,  
РОБАСТНОСТЬ  
И ГРУБОСТЬ  
ДИНАМИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ**



---

URSS

**Р. О. Омор**

**ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ,  
РОБАСТНОСТЬ  
И ГРУБОСТЬ  
ДИНАМИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ**



**URSS**  
**МОСКВА**

**Оморов Роман Оморович**

**Чувствительность, робастность и грубость динамических систем.**  
М.: ЛЕНАНД, 2021. — 304 с.

В монографии рассмотрены вопросы чувствительности, робастности и грубости динамических систем. Представлены результаты, полученные автором в направлении исследований и разработки методов модальной чувствительности систем управления и синтеза модально-робастных многомерных систем. Приведены положения оригинального алгебраического метода исследования робастности интервальных динамических систем как в непрерывном, так и в дискретном времени. Представлены основные положения теории и метода топологической грубости, разработанные автором, использование результатов которых показывается на примерах известных синергетических систем, таких как системы Лоренца, Рёсслера, Белоусова—Жаботинского, цепи Чуа, преобразования Хенона, «хищник—жертва», модели экономических систем Калдора и Шумпетера, динамо Рикитаке, а также бифуркации Хопфа.

Книга предназначена для широкого круга исследователей и ученых, интересующихся вопросами чувствительности, робастности и грубости систем управления, в особенности синергетикой и хаосом систем различной физической природы, а также студентам физико-математических, естественно-научных и технических специальностей, изучающих проблемы синергетики и динамических систем.

Формат 60×90/16. Печ. л. 19. Зак. № АТ-9852.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД».

117312, Москва, проспект 60-летия Октября, 11А, стр. 11.

**ISBN 978-5-9710-8187-6**  
(мягкий переплет)

**ISBN 978-5-9710-8188-3**  
(твердый переплет)

© Р. О. Оморов, 2020

© ЛЕНАНД, 2020



Все права защищены. Никакая часть настоящей книги не может быть воспроизведена или передана в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, будь то электронные или механические, включая фотокопирование и запись на магнитный носитель, а также размещение в Интернете, если на то нет письменного разрешения владельцев.

# Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>6</b>
<b>Глава 1. Чувствительность динамических систем .....</b>	<b>10</b>
1.1. Методы анализа чувствительности систем.....	10
1.2. Методы синтеза малочувствительных систем.....	15
1.2.1. Разработки Е. Н. Розенвассера и Р. М. Юсупова.....	15
1.2.2. Разработка М. В. Меерова.....	29
1.2.3. Метод сравнительной чувствительности Перкинса—Круса.....	30
1.2.4. Метод Крейнндлера.....	35
1.2.5. Метод Т. Мита.....	37
<b>Глава 2. Модальная чувствительность систем управления .....</b>	<b>41</b>
2.1. Математические основы модальной чувствительности .....	41
2.2. Метод функций модальной чувствительности .....	54
2.3. Число обусловленности матриц.....	60
<b>Глава 3. Параметрическая чувствительность качества процессов в системах .....</b>	<b>64</b>
3.1. Модальные оценки качества процессов в системах.....	64
3.2. Параметрическая чувствительность модальных оценок показателей качества процессов .....	90
<b>Глава 4. Синтез модально-робастных многомерных систем управления.....</b>	<b>100</b>
4.1. Выбор модально-робастной модели малой потенциальной параметрической чувствительности .....	100
4.1.1. Полиномиальные динамические модели (ПДМ) в задаче модального управления .....	100
4.1.2. Числа обусловленности матриц как аппарат оценки потенциальной параметрической чувствительности ПДМ .....	102

4.1.3. Числа обусловленности матриц состояний полиномиальных динамических моделей .....	109
4.1.4. Алгоритм синтеза модально-робастного регулятора на заданные показатели качества с минимальной параметрической чувствительностью .....	111
4.1.5. Синтез модально-робастного регулятора, обеспечивающего малую потенциальную параметрическую чувствительность при особых случаях объекта управления .....	115
4.2. Метод функций модальной чувствительности для синтеза модально-робастных многомерных систем минимальной модальной параметрической чувствительности .....	124
4.2.1. Основные положения подхода синтеза, построенного на методе функций модальной чувствительности .....	124
4.2.2. Вычислительный алгоритм синтеза модально-робастных систем МПЧ. Подход метода функций модальной чувствительности.....	143
4.3. Подход синтеза модально-робастных систем на основе метода чисел обусловленности матриц.....	150
4.4. Дополнительные вопросы синтеза модально-робастных систем малой параметрической чувствительности .....	157
4.4.1. Достижение минимальной параметрической чувствительности нулей и выхода .....	158
4.4.2. Достижение малой чувствительности при особых случаях объекта управления .....	164
<b>Глава 5. Робастность динамических систем .....</b>	<b>166</b>
5.1. Робастная устойчивость интервальных динамических систем по В. Л. Харитонову .....	167
5.2. Робастная устойчивость линейных непрерывных интервальных динамических систем.....	171
5.3. Вопросы робастности интервальных динамических систем.....	182
5.4. Робастная устойчивость линейных дискретных интервальных динамических систем.....	185

---

<b>Глава 6. Теория грубости и бифуркаций динамических систем</b> .....	<b>197</b>
6.1. Свойство грубости динамических систем .....	197
6.1.1. Грубость динамических систем в современной теории .....	198
6.1.2. Метод мер топологической грубости ДС .....	204
6.2. Некоторые понятия и определения теории динамических систем .....	206
6.3. Бифуркации динамических систем.....	212
6.3.1. Основные понятия и определения теории бифуркации динамических систем .....	212
6.4. Понятие «типичности» динамических систем .....	216
<b>Глава 7. Хаос в динамических системах</b> .....	<b>224</b>
7.1. Возникновение хаотических колебаний (хаоса).....	224
7.2. Системы с хаотическими колебаниями.....	230
7.3. Критерии хаотических колебаний .....	235
<b>Глава 8. Основные положения теории и метода топологической грубости динамических систем</b> .....	<b>246</b>
8.1. Топологическая грубость динамических систем.....	246
8.2. Применение метода топологической грубости к исследованию бифуркаций динамических систем.....	254
<b>Глава 9. Приложения теории и метода топологической грубости к исследованиям грубости, бифуркаций и хаоса синергетических систем</b> .....	<b>260</b>
<b>Заключение</b> .....	<b>278</b>
<b>Литература</b> .....	<b>282</b>