

В. Н. Афанасьев

**УПРАВЛЕНИЕ  
НЕЛИНЕЙНЫМИ  
НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ  
ДИНАМИЧЕСКИМИ  
ОБЪЕКТАМИ**

---



URSS

---

**В. Н. Афанасьев**

**УПРАВЛЕНИЕ  
НЕЛИНЕЙНЫМИ  
НЕОПРЕДЕЛЕННЫМИ  
ДИНАМИЧЕСКИМИ  
ОБЪЕКТАМИ**



**URSS**

**МОСКВА**

**Афанасьев Валерий Николаевич**

**Управление нелинейными неопределенными динамическими объектами.**  
М.: ЛЕНАНД, 2015. — 224 с.

Сложность большого количества современных систем управления зачастую не позволяет получить заранее полное описание процессов, протекающих внутри системы, и ее взаимодействия со средой. Как правило, реальные системы описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, и достаточно часто математические модели систем управления учитывают лишь допустимые области изменения параметров и характеристик отдельных элементов без конкретизации самих этих параметров и характеристик. Указанные области могут определяться, например, интервальными ограничениями, соответствующими заданным техническим допускам на систему.

Применение классических методов, основанных на предположении, что все характеристики системы и возмущающих воздействий известны, либо сопряжено с большими вычислительными трудностями, либо не представляется возможным. Следовательно, в общем случае невозможно гарантировать выполнения требуемых условий оптимальности.

Книга посвящена систематическому изложению методов математического конструирования нелинейных неопределенных динамических систем, представимых системами с параметрами, зависящими от состояния. Материал книги может быть интересен как для специалистов, работающих в области управления разнообразными объектами, так и для студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

*В основу книги вошел ряд результатов исследований, проводимых автором в рамках исследовательского проекта № 14-01-0112, выполняемого при поддержке Программы «Научный фонд НИУ ВШЭ в 2014–2015 годах».*

Формат 60×90/16. Печ. л. 14. Зак. № ИО-90.

Отпечатано в ООО «ЛЕНАНД». 117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, 11А, стр. 11.

**ISBN 978-5-9710-2064-6**

© ЛЕНАНД, 2015

17130 ID 196235



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 владельца.

# Содержание

<b>Введение .....</b>	<b>6</b>
<b>Глава 1. Постановка задачи поиска управлений неопределенными нелинейными динамическими объектами в ключе дифференциальных игр и основные результаты синтеза .....</b>	<b>17</b>
§ 1.1. Математические модели неопределенных динамических объектов .....	17
§ 1.2. Методы линеаризации нелинейных динамических систем .....	23
§ 1.3. Основной результат теории игр .....	26
§ 1.4. Уравнения для функционала качества .....	29
§ 1.5. Существование решения уравнения Гамильтона—Якоби—Айзекса .....	37
§ 1.6. Оптимальные стратегии дифференциальной игры при $T \rightarrow \infty$ .....	45
§ 1.7. Анализ устойчивости по Ляпунову .....	52
§ 1.8. Общие замечания .....	54
<b>Глава 2. Оптимальное и субоптимальное управления неопределенными нелинейными системами с параметрами, зависящими от состояния .....</b>	<b>56</b>
§ 2.1. Расширенная линеаризация .....	56
§ 2.2. Задача оптимального и субоптимального управления системами с параметрами, зависящими от состояния .....	62
2.2.1. Задача оптимального управления с заданным временем окончания переходного процесса .....	62
2.2.2. Задача субоптимального управления при $T \rightarrow \infty$ .....	72
2.2.3. Алгебраическое уравнение Риккати с параметрами, зависящими от состояния .....	74
2.2.4. Множество стабилизирующих управлений, .....	82
§ 2.3. Задача слежения .....	84
2.3.1. Оптимальное управление в задаче слежения .....	86
2.3.2. Субоптимальное управление в задаче слежения .....	92

§ 2.4. Задача с фиксированными значениями некоторых переменных состояния в заданный момент окончания переходного процесса .....	94
2.4.1. Задача оптимального управления .....	95
2.4.2. Задача субоптимального управления .....	100
§ 2.5. Управление при неполной информации о состоянии .....	101
2.5.1. Наблюдатель минимальной сложности .....	102
2.5.2. Наблюдатель для стохастической системы .....	106
§ 2.6. Выводы .....	112

<b>Глава 3. Концепция гарантирующего управления системами с параметрами, зависящими от состояния .....</b>	<b>114</b>
§ 3.1. Постановка задачи .....	114
§ 3.2. SDRE-метод в задачах дифференциальных игр .....	118
3.2.1. Уравнение Риккати с параметрами, зависящими от состояния .....	118
3.2.2. Условия существования стабилизирующего управления построенного SDRE-методом .....	121
§ 3.3. Зависимость решений нелинейного дифференциального уравнения от начальных условий и параметров .....	128
§ 3.4. Мажорирующая модель и общие условия для «наименее благоприятных» значений параметров системы .....	132
3.4.1. Мажорирующая модель системы .....	134
3.4.2. «Наименее благоприятные» параметры системы и функционала качества .....	136
§ 3.5. «Коридор» отклонений решений в задаче дифференциальной игры с конечным временем переходного процесса .....	147
§ 3.6. Исследование влияния возмущений .....	149
§ 3.7. Гарантирующее управление в задаче парирования возмущений .....	150
§ 3.8. Гарантирующее управление в задаче с фиксированными значениями некоторых переменных состояния в заданный момент окончания переходного процесса .....	157
§ 3.9. Регулятор с дискретным изменением параметров .....	160
3.9.1. Задача дифференциальной игры .....	160
3.9.2. Задача управления с разомкнутым контуром по возмущениям .....	164
§ 3.10. Алгоритмический метод поиска параметров регулятора .....	166
§ 3.11. Выводы .....	170



---

<b>Глава 4. Отдельные примеры моделирования нелинейных систем с гарантирующим управлением.....</b>	<b>171</b>
§ 4.1. Синтез управления для модели реактора на тяжелой воде .....	171
4.1.1. Постановка задачи.....	171
4.1.2. Синтез гарантирующего управления .....	173
4.1.3. Математическое моделирование ядерного реактора с гарантирующим управлением.....	176
§ 4.2. Орбитальное движение космического аппарата на эллиптических орбитах.....	178
4.2.1. Математическая модель системы и постановка задачи управления.....	178
4.2.2. Синтез управления .....	183
4.2.3. Результаты моделирования .....	186
§ 4.3. Синтез гарантированного управления в задаче повышения иммунной реакции путем применения антивирусных препаратов .....	188
4.3.1. Математическая модель системы.....	188
4.3.2. Синтез гарантирующего управления .....	191
§ 4.4. Синтез гарантирующего управления в задаче «глюкоза-инсулин» .....	197
4.4.1. Постановка задачи управления.....	197
4.4.2. Синтез гарантирующего управления .....	200
4.4.3. Результаты математического моделирования.....	202
§ 4.5. Управление брожением биомассы в реакторе .....	206
§ 4.6. Система с дискретно изменяющимися параметрами.....	208
§ 4.7. Пример алгоритмического конструирования регулятора для нелинейной системы.....	211
<b>Список литературы .....</b>	<b>216</b>