

НАУЧНАЯ МЫСЛЬ



*Системотехника*

*А.И. Рубан*

# АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY



**НАУЧНАЯ МЫСЛЬ**

СЕРИЯ ОСНОВАНА В 2008 ГОДУ



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

**А.И. РУБАН**

# **АДАПТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ**

**МОНОГРАФИЯ**

Москва  
ИНФРА-М

Красноярск  
СФУ

2018

УДК 681.5(075.4)

ББК 32.965

Р82

Рецензенты:

*Г.А. Доррер*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системной техники Сибирского государственного технологического университета;

*И.В. Ковалев*, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета

**Рубан А.И.**

Р82      Адаптивные системы управления с идентификацией : монография / А.И. Рубан. — М. : ИНФРА-М ; Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2018. — 139 с. — (Научная мысль).

ISBN 978-5-16-013430-7 (ИНФРА-М)

ISBN 978-5-7638-3194-8 (СФУ)

Изложен новый простой метод синтеза управлений с обратной связью. В основе адаптивных систем с идентификацией лежит использование динамических моделей стохастических объектов. Задаются (или находится из критериев оптимальности) структура разностной модели с точностью до параметров, и по ней строится модель с переменными параметрами. Параметры модели перестраиваются непрерывно по мере поступления новой информации об объекте. По модели из локальных критериев оптимальности вычисляются и подаются на объект управляющие воздействия. Особенно эффективно адаптивное управление с идентификацией для объектов с чистыми запаздываниями по управлению и измеряемым внешним воздействиям. Это, как правило, распределенные в пространстве объекты. Для таких достаточно сложных в управлении технических объектов удалось синтезировать и испытать алгоритмы адаптивного управления: нагревом металла в дуговых сталеплавильных печах, нагревом и охлаждением жидких сред, обжигом извести и клинкера во вращающихся печах.

Предназначена для магистрантов по направлению 27.04.03 «Системный анализ и управление» и аспирантов по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

УДК 681.5(075.4)

ББК 32.965

ISBN 978-5-16-013430-7 (ИНФРА-М)  
ISBN 978-5-7638-3194-8 (СФУ)

© Рубан А.И., 2015, 2018  
© Сибирский федеральный университет, 2015, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	10
1.1. Дискретные динамические модели стохастических объектов.....	10
1.2. Рекурсивные модели.....	14
1.3. Модели с использованием функций чувствительности.....	19
Упражнения.....	25
2. АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ СТОХАСТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ.....	26
2.1. Схема синтеза закона управления.....	26
2.2. Примеры синтеза устройств управления для простейших линейных систем.....	27
2.3. Синтез алгоритмов управления для линейных систем.....	36
2.4. Алгоритмы адаптивного управления для нелинейных систем.....	38
2.5. Стабилизация движения двухколесного экипажа.....	43
2.6. Адаптивное управление дугowymi сталеплавильными печами.....	50
Упражнения.....	58
3. АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ С ЧИСТЫМ ЗАПАЗДЫВАНИЕМ.....	59
3.1. Постановка задачи адаптивного управления.....	59
3.2. Управление динамическими системами с чистым запаздыванием.....	60
3.3. Примеры синтеза устройств управления.....	61
3.4. Управление температурным режимом жидких сред.....	68
Упражнения.....	75
4. АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ.....	76
4.1. Адаптивное управление процессом обжига извести во вращающихся печах.....	76
4.2. Управление обжигом клинкера во вращающихся печах.....	93
4.3. Схема адаптивного управления многомерными объектами.....	103
5. АЛГОРИТМЫ АДАПТИВНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ.....	115
5.1. Алгоритмы квадратичных критериев.....	115
5.2. Подстройка робастных параметров.....	125
5.3. Простейшие адаптивные алгоритмы.....	129
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	134
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	135