

A. G. Mazko. Robust stability and stabilization of dynamic systems. Methods of matrix and cone inequalities // Proceedings of the Institute of Mathematics of NAS of Ukraine. Mathematics and its Applications. — Vol. 102. — Kyiv, 2016. — 332 p. [Russian]

ISBN 978-966-02-7839-4

The book describes the modern methods of analysis and synthesis of dynamic systems based on the application of matrix equations and inequalities. Much attention is paid to the matrix interpretations of the Lyapunov functions method for different classes of dynamic systems including those with uncertainties. The generalizations of Lyapunov equation are presented providing a basis for the methods of the spectrum localization of linear systems. New criteria for stabilizability of linear systems are given as well as the methods for constructing regulators which provide a robust stability of equilibrium state, common quadratic Lyapunov function and evaluation of the performance index of a family of nonlinear systems. New approaches to solving the generalised H_∞ -optimization problems of linear and nonlinear systems with controllable and observable outputs are proposed. The stability theory is developed for continuous and discrete-time systems in a partially ordered space. Robust stability conditions for equilibrium states of generalized positive and monotone systems are described in terms of cone inequalities and positive invertible operators. New method for construction of invariant sets and a consequent comparison principle for a family of dynamic systems are worked out.

The book is intended for scientists, engineers and graduate students interested in stability theory and stabilization of dynamic systems, matrix analysis and its applications.

УДК 517.93; 519.71

Мазко А. Г. Робастная устойчивость и стабилизация динамических систем. Методы матричных и конусных неравенств / Мазко О. Г. // Праці Інституту математики НАН України. Математика та її застосування. — Т. 102. — Київ, 2016. — 332 с.

В книге изложены современные методы анализа и синтеза динамических систем, основанные на применении матричных уравнений и неравенств. Большое внимание уделено матричным интерпретациям метода функций Ляпунова для различных классов динамических систем, включая системы с неопределенностью. Представлены обобщения уравнения Ляпунова, лежащие в основе методов локализации спектра линейных систем. Изложены новые критерии стабилизируемости линейных систем и методы построения регуляторов, обеспечивающих робастную устойчивость состояния равновесия, общую квадратичную функцию Ляпунова и оценку функционала качества семейства нелинейных систем. Представлены новые подходы к решению обобщенных задач H_∞ -оптимизации линейных и нелинейных систем с управляемыми и наблюдаемыми выходами. Развита теория устойчивости непрерывных и дискретных систем в полуупорядоченном пространстве. В терминах конусных неравенств и положительно обратимых операторов описаны условия робастной устойчивости состояний равновесия обобщенных позитивных и монотонных систем. Разработаны новый метод построения инвариантных множеств и вытекающий из него принцип сравнения семейства систем.

Монография рассчитана на научных работников, инженеров и аспирантов, интересующихся теорией устойчивости и стабилизации динамических систем, матричным анализом и его приложениями.

Рецензенты: академик НАН Украины *А. А. Мартынюк*,
член-корреспондент НАН Украины *А. А. Бойчук*,
доктор физ.-мат. наук *Д. Я. Хусаинов*.

Утверждено к печати ученым советом Института математики НАН Украины

ISBN 966-02-2571-7
ISBN 978-966-02-7839-4

© А. Г. Мазко, 2016
© Институт математики
НАН Украины, 2016

Оглавление

Предисловие	9
Указатель обозначений	13
ГЛАВА 1. МАТРИЧНЫЕ УРАВНЕНИЯ И НЕРАВЕНСТВА	15
1.1 Линейные матричные уравнения общего вида . . .	16
1.1.1 Ранг и инерция решений	16
1.1.2 Трансформации и условия разрешимости .	19
1.1.3 Основные теоремы об инерции решений . .	24
1.2 Обобщенное уравнение Ляпунова для аналитических кривых	32
1.3 Расщепление и локализация спектра матричных функций	41
1.4 Аналоги уравнения Ляпунова для линейных динамических систем	48
1.4.1 Дескрипторные системы	48
1.4.2 Дифференциальные и разностные системы s -го порядка	57
1.5 Матричные неравенства с неопределенными коэффициентами	65
1.6 Методы ЛМН в задачах локализация спектра . . .	71
1.6.1 Матричные функции и аналитические области	71
1.6.2 Матричные полиномы и алгебраические области	76
1.6.3 Робастная локализация спектра	84

1.7	Матричные неравенства в терминах функций следа	90
1.7.1	Функции следа $\mu(A)$ и $\mu_*(A)$	90
1.7.2	Локализация и дихотомия спектра матрицы относительно аналитических кривых . .	93
ГЛАВА 2. УСТОЙЧИВОСТЬ И РОБАСТНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ		95
2.1	Основные определения и теоремы об устойчивости движения	96
2.2	Критерии устойчивости линейных систем	107
2.3	Дифференциальные системы второго порядка . . .	113
2.4	Робастная абсолютная устойчивость линейных систем с запаздыванием	119
2.5	Робастная устойчивость в среднем квадратическом стохастических систем типа Ито	122
2.6	Условия устойчивости линейных систем в терминах функций следа	123
ГЛАВА 3. СТАБИЛИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ		129
3.1	Системы стабилизации со статической обратной связью	130
3.1.1	Обратная связь по состоянию	131
3.1.2	Обратная связь по выходу $y = Cx$	135
3.1.3	Обратная связь по выходу $y = Cx + Du$. .	142
3.2	Динамическая обратная связь	147
3.3	Робастная стабилизация линейных систем	153
3.4	Оптимизация в системах стабилизации	160
3.4.1	Матричное уравнение Риккати	160
3.4.2	Оптимизация и локализация спектра	163
3.4.3	Оптимизация при условиях неопределенности	167

3.5	Дескрипторные системы управления	173
ГЛАВА 4. НЕЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ВЕКТОРНО-МАТРИЧНОЙ ФОРМЕ		177
4.1	Нелинейные статические и динамические регуляторы	178
4.2	Робастная стабилизация нелинейных систем управления	181
4.3	Оценка квадратичного критерия качества при условиях неопределенности	186
4.4	Системы управления механическими объектами	189
ГЛАВА 5. ОБОБЩЕННОЕ H_∞-УПРАВЛЕНИЕ ПО ВЫХОДУ		201
5.1	Оценка уровня гашения входных сигналов	201
5.2	Линейные системы с управляемыми и наблюдаемыми выходами	211
5.3	Неэкспансивные системы управления	216
ГЛАВА 6. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ДИСКРЕТНЫМ ВРЕМЕНЕМ		219
6.1	Условия стабилизируемости линейных дискретных систем управления	220
6.2	Робастная стабилизация нелинейных дискретных систем управления	225
6.3	Оценка квадратичного критерия качества при условиях неопределенности	230
6.4	Обобщенное H_∞ -управление для дискретных систем	233
ГЛАВА 7. ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОНУСНЫЕ НЕРАВЕНСТВА		239

7.1	Определения и вспомогательные факты	240
7.2	Классификация динамических систем относительно конуса	244
7.2.1	Дифференциальные системы	246
7.2.2	Разностные системы	250
7.3	Позитивность и устойчивость автономных систем	251
7.3.1	Дифференциальные системы	253
7.3.2	Разностные системы	262
7.3.3	Системы с запаздыванием	266
7.4	Инвариантные множества в терминах конусных неравенств	272
7.5	Обобщенный метод сравнения систем	281
7.6	Робастная устойчивость позитивных систем	287
7.7	Позитивная стабилизация динамических систем	295
ГЛАВА 8.	ПРИЛОЖЕНИЕ	299
8.1	Эрмитовы матрицы и закон инерции	299
8.2	Блочные матрицы и лемма Шура	300
8.3	Двучленное матричное неравенство	301
8.4	Каноническая форма линейного пучка матриц	302
8.5	Функции от матрицы	303
8.6	Векторные, матричные и операторные нормы	306
8.7	Конусы в векторных и матричных пространствах	308
	Комментарии и библиографические указания	311
	Список литературы	315
	Предметный указатель	327