



А.Л. ХОМИЧ,
Р.И. ФУРУНЖИЕВ

СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ ВИБРОЗАЩИТЫ И СТАБИЛИЗАЦИИ



Минск
Издатель А.Н. Вараксин
2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1.

ВВЕДЕНИЕ В УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ	9
1. Принцип работы систем активной виброзащиты	9
Активные системы виброзащиты с золотниковым распределителем	9
Активная системы виброзащиты типа «сопло-заслонка»	11
Электромеханические виброзащитные системы	13
Активная система виброзащиты с «парой винт-гайка».....	16
Активная система виброзащиты многоопорных машин	17
Система регулирования положения корпуса	21
2. Элементы классификации задач управления	23
Предварительные замечания	23
Задача детерминированного управления	25
Задача оценки состояния системы	25
Задача стохастического управления	26
Задача идентификации (оценивания параметров системы)	27
Задача адаптивного управления	27
Задачи непрерывного и дискретного управления	28
3. Учет ограничений	29
Общая формулировка задачи оптимального управления с ограничениями на управляющие функции и фазовый вектор	29
Задачи управления с ограничениями в форме равенств и неравенств	31
Задачи управления с краевыми условиями.....	32
Задачи Больца, Лагранжа и Майера.....	32
4. Обратные задачи динамики управляемых систем	33
Общая формулировка задачи.....	33
Построение уравнений движения по заданному многообразию свойств движения системы.....	35
Восстановление уравнений движения.....	35
Замыкание уравнений движения.....	36
5. Управляемость и наблюдаемость систем управления	36
Управляемость	36
Наблюдаемость и восстанавливаемость.....	38
Наблюдатели	39
6. Устойчивость управляемых систем	42
Основные определения	42
Функции Ляпунова.....	44
Условия устойчивости по Ляпунову	46

Глава 2

КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ	47
1. Вариационные основы критериев	47
Формулировка задачи.....	47
Уравнения Эйлера.....	47
Уравнение Эйлера-Пуассона	55
2. Критерии и ограничения	56
Критерии качества в задачах без ограничений.....	56
Критерии качества в задачах с ограничениями	59

3. Интегральные квадратичные критерии	66
Предварительные замечания	66
Интегральные критерии и уравнения Эйлера-Пуассона.....	68
Интегральные оценки.....	69
4. Критерии качества переходных процессов выходных координат	75
Задание переходных процессов полиномами	79
5. Задание желаемых свойств движения дифференциальными уравнениями	80
Нелинейные уравнения эталонного движения	82
6. Векторные критерии	84
7. Статистические критерии	88
8. Нечёткие критерии	92

Глава 3

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ	97
1. Одномассовая модель	97
2. Универсальная двухмассовая модель	102
Математические основы двухмассовой модели	104
Преобразование двухмассовой модели в одномассовую.....	109
Нелинейная модель	113
3. Основные элементы электрогидравлических приводов	114
4. Математические модели основных элементов гидроприводов	118
Типы гидроприводов.....	118
Уравнения движения золотникового распределителя.....	120
Уравнения движения гидродвигателя.....	122
Уравнение неразрывности	126
5. Математические модели активных систем виброзащиты с различными приводами	126
Уравнения движения системы с золотниковым распределителем	126
Уравнения движения системы типа «сопло-заслонка».....	128
Уравнения движения системы электромеханического типа.....	129
Активные виброзащитные системы с передаточной парой «винт-гайка».....	133
Уравнения движения системы гидромеханического типа.....	136
6. Общие математические модели	142
Стохастические модели.....	142
Уравнения движения исполнительных приводов.....	143
Алгоритмы идентификации неизмеримых координат	144
Математические модели эталонных систем	151
Общие уравнения движения.....	153
7. Уравнения движения колесных машин	155
Уравнения движения системы двигатель-колеса	155
Взаимодействие шин с опорной поверхностью	158
Адаптивная фильтрация возмущений шинами	159
Основы гидропневматической виброзащиты	160
Уравнения пространственного движения многоопорных машин	173
8. Уравнения движения гусеничных машин	180

Глава 4.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ	189
1. Введение	189
2. Методы решения задачи	190
Программное управление движением.....	193
3. Стабилизация положения линейных систем	195

Управление вынужденным движением при задании свойств движения управляемой системы экспоненциальными функциями	195
Задание программного управления, исходя из общих принципов	198
Управление «свободным» движением	199
Управление вынужденным движением при задании желаемых свойств движения системы уравнением второго порядка для ошибки	200
Управление вынужденным движением в случае, когда желаемые свойства движения системы заданы нелинейной функцией	201
Управление вынужденным движением при задании желаемых свойств системы полиномами	206
4. Стабилизация скорости движения линейных систем	210
Управление скоростью движения при задании желаемых свойств движения экспоненциальными функциями	210
Управление скоростью движения при задании желаемых свойств движения системы уравнением второго порядка для ошибки	212
Управление скоростью движения в случае, когда желаемые свойства движения системы заданы нелинейной функцией	213
Управление скоростью движения при задании желаемых свойств движения системы уравнением первого порядка для ошибки	214
Управление скоростью движения в системе третьего порядка при задании желаемых свойств движения суммой экспоненциальных функций	215
Управление скоростью движения системы третьего порядка при задании желаемых свойств движения уравнением третьего порядка для ошибки	216
Управление скоростью движения системы третьего порядка при задании желаемых свойств движения системы функцией вида $\phi[1/(\lambda + t)]$	217
5. Обобщение результатов по управлению движением линейных систем	219
6. Управление движением нелинейных систем	224
Системы, линейные относительно управляющей функции	224
Системы, нелинейные относительно управляющей функции	226
Задачи управления движением, сводящиеся к задачам стабилизации положения	228
Задачи управления движением типа стабилизации скорости	234
7. Некоторые частные случаи	235
Управление по производным фазовых координат	235
8. Общие алгоритмы управления движением	238
Задачи управления, сводящиеся к задачам типа стабилизации положения	238
Задачи управления, сводящиеся к задачам типа стабилизации скорости	239
Управление нестационарными объектами	247
Адаптивные регуляторы	248

Глава 5.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	251
1. Основные определения	251
2. Метод Монте-Карло	254
3. Алгоритмы моделирования последовательности случайных величин	263
4. Алгоритмы моделирования реализаций случайных процессов	268
Математические модели стохастической среды	268
Моделирование реализаций одномерных случайных процессов	271
Моделирование реализаций двумерных случайных процессов	280
Моделирование реализаций многомерных случайных процессов	281
Моделирование реализаций временных рядов с трендом	284
Моделирование таблично заданных реализаций	284

5. Фильтрация и сглаживание реализаций	290
Сглаживание экспериментальных данных	292
6. Спектральный анализ колебаний	296
7. Анализ вибраций, воздействующих на человека-оператора	303
8. Оценка точности вычисления статистических характеристик	314

Глава 6.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	321
1. Расчетные схемы	321
2. Параметры микропрофиля	324
3. Уравнения движения	324
4. Критерии качества и ограничения	325
5. Формулировка задачи управления	331
Формулировка задачи адаптивной виброзащиты/стабилизации	331
Формулировка задачи устойчивости движения	332
Формулировка задачи адаптивной виброзащиты при условии безотрывного движения управляемых колес	332
6. Алгоритмы управления	335
7. Компьютерное моделирование	336

Глава 7.

ПРОГРАММИРОВАНИЕ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	369
1. Микропроцессорные системы управления	369
Программируемые логические контроллеры (ПЛК)	376
2. Общая структура систем активной виброзащиты	376
3. Организация микропроцессорных систем обработки данных и управления	381
Логическая структура микропроцессорной системы	381
Логическая структура универсального программируемого контроллера	384
4. Программирование контроллеров в среде CodeSys	385
Система программирования CoDeSys	388
5. Процесс создания приложений в среде CoDeSys	390
6. Основные элементы языков программирования	398
Язык последовательных функциональных схем (SFC)	404
Язык функциональных блочных диаграмм (FBD)	410
7. Встроенная визуализация	412
Windows визуализация	413
Web визуализация	414
Целевая визуализация	415
Система реального времени CoDeSys SP RTE	416
8. Работа в системе программирования CoDeSys	417

ЛИТЕРАТУРА	426
К главе 1	426
К главе 2	434
К главе 3	435
К главе 4	438
К главе 5	441
К главе 6	444
К главе 7	450