

УДК 62-526
ББК 34.423
О-31

Издание доступно в электронном виде по адресу
<https://bmstu.press/catalog/item/7020/>

Факультет «Специальное машиностроение»
Кафедра «Роботехнические системы и мехатроника»

*Рекомендовано Научно-методическим советом
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

Овсянников, С. В.

О-31 Проектирование систем управления объектов мехатроники : учебное пособие / С. В. Овсянников, А. А. Бошляков. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — 251, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-5474-7

Описано проектирование систем управления объектов мехатроники на примере систем наведения радиотехнических и оптических комплексов. Подробно рассмотрены вопросы структурного и функционального построения высокоточных систем управления с использованием принципа двухканального управления, а также их анализ и синтез с учетом различных помех и возмущающих воздействий. Приведены принципы и особенности построения и реализации систем управления, обусловленные цифровыми технологиями обработки информации.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 15.04.06.

УДК 62-526
ББК 34.423



Уважаемые читатели! Пожелания, предложения, а также сообщения о замеченных опечатках и неточностях Издательство просит направлять по электронной почте: info@baumanpress.ru

ISBN 978-5-7038-5474-7

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021
© Оформление. Издательство
МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021

Оглавление

Предисловие	3
Основные сокращения	4
Введение	6
1. Особенности систем наведения радиотехнических и оптических комплексов.....	9
1.1. Классификация систем наведения	9
1.2. Виды управления и режимы работы систем наведения	10
1.3. Опорно-поворотные устройства	14
1.3.1. Двухосные опорно-поворотные устройства.....	14
1.3.2. Трехосные опорно-поворотные устройства	15
1.3.3. Четырехосное опорно-поворотное устройство	16
1.4. Виды стабилизации	16
1.5. Особенности работы систем наведения радиотехнических комплексов.....	17
1.5.1. Основные типы антенн и их характеристики.....	17
1.5.2. Формирование сигнала рассогласования радиолокационного приемного устройства.....	19
1.5.3. Характеристики радиолокационного приемного устройства	22
1.6. Особенности работы систем наведения оптических комплексов....	24
1.6.1. Многозеркальные системы	24
1.6.2. Оптическая редукция	26
1.6.3. Характеристика оптического приемного устройства	27
Контрольные вопросы	27
Задачи	28
2. Управляющие и возмущающие воздействия систем наведения	29
2.1. Управляющие воздействия	29
2.1.1. Гармонический сигнал	29
2.1.2. Прямолинейное и равномерное движение цели	30
2.2. Возмущающие воздействия (помехи)	33
2.2.1. Ветровая нагрузка.....	33
2.2.2. Качка подвижного основания	35
2.2.3. Вибрация подвижного основания	36
2.2.4. Кинематическая погрешность механического редуктора.....	36
2.2.5. Помехи приемных устройств.....	44

2.2.6. Параллактическое смещение и разъюстировка приемных устройств	44
Контрольные вопросы	46
Задачи	46
3. Кинематика систем наведения	47
3.1. Преобразование координат систем наведения на подвижном основании	47
3.2. Кинематика двухосного опорно-поворотного устройства с азимутальной монтировкой при косвенной стабилизации	49
3.3. Кинематика двухосного опорно-поворотного устройства с карданной монтировкой при косвенной стабилизации	52
3.4. Преобразование координат систем наведения при автосопровождении.....	54
3.4.1. Двухосное опорно-поворотное устройство с азимутальной монтировкой.....	54
3.4.2. Двухосное опорно-поворотное устройство с карданной монтировкой.....	56
Контрольные вопросы	58
Задачи	58
4. Способы повышения точности систем наведения радиотехнических и оптических комплексов.....	59
4.1. Комбинированное управление.....	59
4.1.1. Теоретическое обоснование.....	59
4.1.2. Реализация канала по первой производной.....	64
4.2. Двухканальное управление систем наведения	70
4.2.1. Особенности работы систем наведения в режиме автосопровождения.....	70
4.2.2. Двухканальные системы.....	72
4.2.3. Функциональное построение двухканальной системы наведения с силовым дифференциалом.....	73
4.2.4. Функциональное построение двухканальной системы наведения с разделенной нагрузкой	74
Контрольные вопросы	75
Задачи	75
5. Принципы построения двухканальных систем наведения с разделенной нагрузкой.....	76
5.1. Простейшая двухканальная система наведения.....	76
5.2. Двухканальная система наведения с компенсацией ошибки грубого канала	80
5.3. Двухканальная система наведения с компенсацией относительного угла поворота привода точного канала	84

5.4. Двухканальные системы наведения с компенсацией ошибки грубого канала и относительного угла поворота привода точного канала (системы с обобщенными структурами)	87
5.5. Режим двухканального автосопровождения.....	88
5.5.1. Организация процесса наведения	88
5.5.2. Двухканальная система наведения с двумя компенсирующими связями из грубого канала в точный	90
5.6. Электронные фильтры частотной селекции в компенсирующих связях	96
5.6.1. Классификация электронных фильтров частотной селекции....	96
5.6.2. Идеальные и реальные фильтры	98
5.6.3. Фильтр Баттерворта.....	100
5.6.4. Фильтр Чебышева.....	102
5.6.5. Обратный фильтр Чебышева	103
5.6.6. Эллиптический фильтр	104
5.6.7. Фильтр Бесселя.....	105
5.6.8. Сравнение фильтров низких частот	107
5.6.9. Передаточная функция фильтра по ошибке.....	107
5.6.10. Получение фильтра из прототипа — фильтра низких частот... ..	110
5.6.11. Реализация электронных фильтров в цифровом виде	111
Контрольные вопросы	124
Задачи	124
6. Анализ динамики двухканальных систем наведения с разделенной нагрузкой.....	125
6.1. Уравнения динамики двухканальных систем наведения с разделенной нагрузкой.....	125
6.1.1. Уравнения механической части двухканальной системы наведения, расположенной на подвижном основании	125
6.1.2. Уравнения динамики двухканальных систем наведения с компенсирующими связями без учета упругих свойств объекта регулирования	130
6.1.3. Уравнения динамики двухканальных систем наведения с компенсирующими связями с учетом упругих свойств объекта регулирования грубого канала	132
6.2. Анализ динамики двухканальных систем наведения с компенсирующими связями	137
6.2.1. Анализ передаточных функций двухканальных систем наведения с компенсирующими связями без учета упругих свойств объекта регулирования и динамического взаимодействия между каналами и подвижным основанием....	137
6.2.2. Оценка влияния динамического взаимодействия каналов на динамику двухканальных систем наведения с компенсирующими связями.....	148

6.2.3. Анализ влияния упругих свойств объекта регулирования грубого канала на динамику двухканальных систем наведения с компенсирующими связями.....	156
6.2.4. Повышение помехозащищенности двухканальных систем наведения при наличии упругих деформаций в грубом канале...167	167
Контрольные вопросы	172
Задачи	173
7. Синтез двухканальных систем наведения с разделенной нагрузкой.....	174
7.1. Общее выражение среднеквадратичной динамической ошибки.....	174
7.2. Синтез системы с конечной памятью при детерминированном и случайном воздействиях, приложенных в одной точке	176
7.3. Синтез оптимальных компенсирующих связей двухканальной системы наведения.....	180
7.4. Оптимизация двухканальной системы наведения	187
7.5. Процедура синтеза двухканальной системы наведения	189
Контрольные вопросы.....	195
Задачи.....	195
8. Особые случаи использования двухканальных систем наведения радиотехнических и оптических комплексов.....	196
8.1. Режим одноканального автосопровождения	196
8.2. Использование двухканальных систем наведения с компенсиру- ющими связями в многозеркальных оптических устройствах	202
Контрольные вопросы	209
Задачи	209
9. Особенности построения и реализации современных систем наведения радиотехнических и оптических комплексов.....	210
9.1. Принципы построения современных систем наведения	210
9.2. Внутренние шины систем наведения	212
9.2.1. Общие положения.....	212
9.2.2. Интерфейс RS-485.....	213
9.2.3. Интерфейс «Манчестер» (MIL-STD-1553)	219
9.2.4. Интерфейс CAN	223
9.2.5. Сравнение внутренних шин систем наведения.....	229
9.3. Примеры реализации принципов построения современных систем наведения радиотехнических и оптических комплексов	231
9.3.1. Пример реализации одноканальной двухосной системы наведения радиотехнического комплекса	231
9.3.2. Пример структурно-функционального построения двухканальной системы наведения оптического комплекса.....	236
Контрольные вопросы.....	242
Задачи	242
Литература.....	243
Словарь терминов.....	244