

Л. И. Тывес

МЕХАНИЗМЫ РОБОТОТЕХНИКИ

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВЯЗОК
В КИНЕМАТИКЕ,
ДИНАМИКЕ
И ПЛАНИРОВАНИИ
ДВИЖЕНИЙ



Л. И. Тывес

МЕХАНИЗМЫ РОБОТОТЕХНИКИ

**КОНЦЕПЦИЯ РАЗВЯЗОК
В КИНЕМАТИКЕ,
ДИНАМИКЕ
И ПЛАНИРОВАНИИ
ДВИЖЕНИЙ**

Издание третье,
стереотипное



URSS

МОСКВА

Тывес Леонид Иосифович

Механизмы робототехники: Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений. Изд. 3-е, стереотип. — М.: ЛЕНАНД, 2021. — 204 с.

В книге излагается подход к решению задач кинематики и динамики управляемых механизмов с несколькими степенями свободы, каковыми, в частности, являются механизмы роботов. Суть подхода, названного развязкой, в поиске и реализации условий, при выполнении которых системы уравнений кинематики или динамики либо распадаются на независимые подсистемы уравнений меньшего порядка, либо приводят к выделению отдельных независимых подсистем. В результате определены последовательные кинематические структуры, для которых обратная задача о положениях решается в явном виде, и синтезированы кинематические схемы параллельной структуры, для которых в явном виде решается прямая задача о положениях. Динамическая развязка вследствие устранения динамических взаимовлияний между приводами, с одной стороны, позволила построить механизм с упругими рекуператорами энергии, а с другой, помогла построить алгоритмы планирования движений механизма без развязки по собственной траектории.

Книга предназначена для специалистов в области теории механизмов и машин, научных работников и инженеров, чья деятельность связана с исследованиями и созданием новых робототехнических устройств, а также аспирантов и студентов старших курсов вузов.

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор *В. К. Асташев*;

д-р техн. наук, профессор *С. М. Каплунов*

ООО «ЛЕНАНД». 117312, Москва, пр-т Шестидесятилетия Октября, д. 11А, стр. 11.
Формат 60х90/16. Печ. л. 12,75. Зак. № 158895.

Отпечатано в АО «Т 8 Издательские Технологии».
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корп. 5.

ISBN 978–5–9710–7841–8

© ЛЕНАНД, 2014, 2020

28447 ID 263480



9 785971 078418



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

Введение	6
Глава 1. Кинематика руки робота – механизма последовательной структуры	12
1.1. Обобщенные координаты скелета руки. Матричные преобразования для определения положения звеньев пространственных механизмов.....	12
1.2. Матрица Якоби J частных передаточных отношений. Связь элементов матрицы J с элементами матриц $M_{i-1,i}$	15
1.3. Число степеней свободы захвата, его связь с числом степеней подвижности механизма. Понятие об индикаторной матрице	18
1.4. Уменьшение числа степеней свободы захвата. Кинематические признаки наличия особых конфигураций скелета руки.....	23
1.5. Кинематические признаки существования решения обратной задачи о положениях в явном виде	28
1.6. Кинематика передач привода звеньев механической руки. Матрицы частных передаточных отношений цепей привода	37
1.7. Компенсация кинематического взаимовлияния цепей привода звеньев механической руки.....	41
1.8. Синтез механизмов компенсации для базовых моделей механических рук с приводами на основании	43
1.9. Типовая схема руки с треугольной матрицей частных передаточных отношений цепей привода звеньев	44
Глава 2. Кинематика робота – механизма параллельной структуры (МПС).....	48
2.1. Достижения в теории и практике МПС	48
2.2. Два способа представления задач кинематики МПС.....	51
2.3. Индикаторная матрица частных передаточных отношений МПС.....	55
2.4. Способы снижения сложности уравнений кинематики МПС.....	59
2.5. Алгоритм численного решения прямой задачи о положении МПС 3×2 с неполной групповой кинематической развязкой.....	62
2.6. Синтез механизма параллельной структуры 3×2 с полной групповой кинематической развязкой	69

Глава 3. Динамическая развязка движений механической руки робота	79
3.1. Запись уравнений Лагранжа II рода механической руки.....	79
3.2. Упрощенные динамические модели механических рук	81
3.2.1. Простейшие «базовые» и упрощенные модели исполнительных механизмов роботов.....	81
3.2.2. Модель усилительно-преобразовательного устройства (УПУ) на основе двигателя постоянного тока	85
3.3. Концепция динамической развязки движений по степеням подвижности механической руки	87
3.4. Условия цикличности и ортогональности обобщенных координат механической руки	95
3.5. Примеры реализации динамической развязки в роботах	103
Глава 4. Динамика цикловых роботов с рекуперацией механической энергии	108
4.1. Анализ свойств и предельных возможностей привода цикловых роботов	108
4.2. Методика выбора параметров электропривода робота с рекуперацией механической энергии. Оптимальная настройка привода	113
4.3. Экспериментальная проверка динамической развязки на макете циклового робота с рекуперацией энергии	118
4.4. Реализация эффекта рекуперации энергии в цикловых роботах	125
Глава 5. Устойчивость модели регулятора при квантовании сигналов управления по времени	129
5.1. Обеспечение качества автоматического регулирования	129
5.2. Структура МСАР ПР с охватом механической руки контуром обратной связи.....	131
5.3. Динамика и устойчивость модели регулятора при квантовании сигналов управления по времени	136
5.4. Применение метода структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления при создании системы регулирования промышленного робота	144

5.5. Закон регулирования, обеспечивающий устойчивость при заданном периоде квантования сигналов управления по времени.....	147
Глава 6. Программирование движений роботов с учетом динамических свойств исполнительных механизмов.....	150
6.1. Программирование движений ПР и элементарные двигательные операции.....	150
6.2. Необходимость учета динамических свойств ПР при программировании движений.....	154
6.3. Особенности оптимального по быстродействию режима движения робота по заданной траектории.....	159
6.4. Особенности оптимальных по быстродействию движений моделей роботов с циклическими обобщенными координатами при точно-склерономном задании.....	165
Глава 7. Программирование движений роботов по собственной траектории.....	169
7.1. Декомпозиция задачи программирования движения роботов в соответствии с собственными динамическими свойствами их механизмов.....	169
7.2. Общий алгоритм планирования траекторий движений роботов в соответствии с собственными динамическими свойствами моделей исполнительных механизмов.....	172
7.2.1. Постановка задачи и выбор метода её решения.....	172
7.2.2. Описание метода дифференцирования по параметру решения поставленной граничной задачи.....	175
7.2.2. Обеспечение заданной точности решений граничной задачи.....	178
7.2.3. Алгоритм решения граничной задачи.....	180
7.3. Примеры решения задачи поиска собственной траектории движения руки робота между заданными позициями.....	182
7.4. Программирование оптимального по быстродействию движения робота по собственной траектории.....	189
Список литературы.....	196