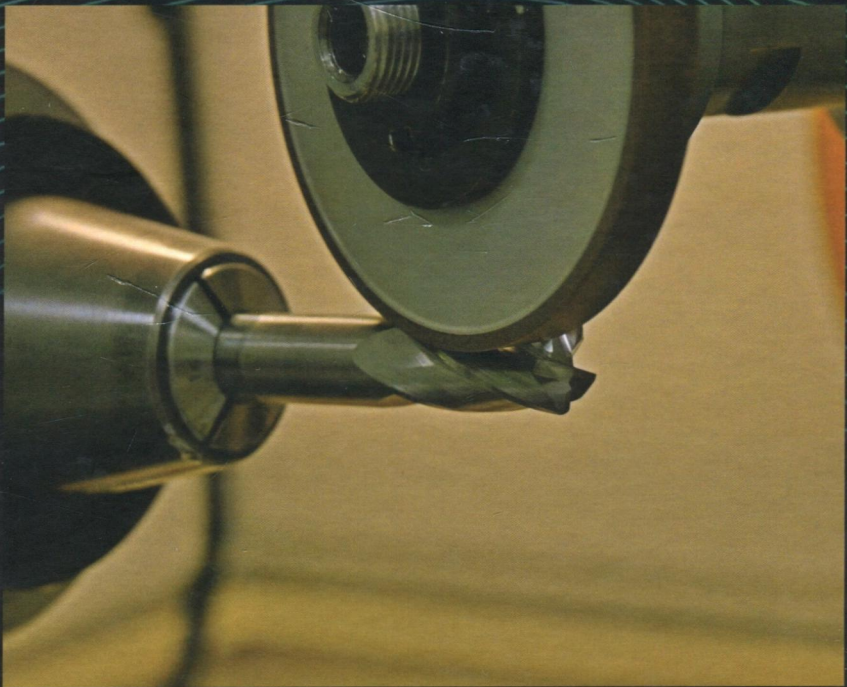


**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
ИНТЕГРИРОВАННЫХ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ  
И РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ**



**ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ  
СИСТЕМЫ  
ИНТЕГРИРОВАННЫХ  
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВ  
И РОБОТИЗИРОВАННЫХ  
КОМПЛЕКСОВ**

**МОНОГРАФИЯ**

Москва  
КУРС  
2021

УДК 621.7+621.9(075.4)  
ББК 34.63я73  
И72

Ф3 № 436-Ф3	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---

Рецензенты:

*В.П. Вороненко* — профессор, доктор технических наук (МГТУ «СТАНКИН»);

*В.А. Тимирязев* — профессор, доктор технических наук (МГТУ «СТАНКИН»)

И72 Инструментальные системы интегрированных машиностроительных производств и роботизированных комплексов: Монография // Гречишников В.А., Григорьев С.Н., Илюхин Ю.В., Исаев А.В., Маслов А.Р., Петухов Ю.Е., Пивкин П.М., Романов В.Б., Воротников А.А., Колесниченко Р.В., Домнин П.В., Косарев В.А. — М.: КУРС, 2021. — 400 с.

ISBN 978-5-906923-70-7

В монографии рассмотрены вопросы автоматизации многономенклатурного производства, моделирования формообразования поверхностей при резании, структуры инструментального обеспечения гибких производственных систем, построения робототехнических комплексов для осуществления роботизированного фрезерования. Описаны особенности инструментального обеспечения современных интегрированных машиностроительных производств, приведены результаты анализа свойств инструментов для роботизированного фрезерования, режимов механической обработки и сил, возникающих при фрезеровании. Значительная часть монографии посвящена решениям проблем формообразования поверхностей деталей на макроуровне, повышению точности движений инструмента, методам калибровки роботов, рассмотрению структур систем приводов, построению высокопроизводительных прецизионных систем роботизированного фрезерования, а также реализации основных операций, выполняемых с использованием гибких производственных систем.

Для научных и инженерно-технических работников, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

УДК 621.7+621.9(075.4)  
ББК 34.63я73

ISBN 978-5-906923-70-7

© Коллектив авторов, 2017, 2021  
© КУРС, 2017, 2021

Подписано в печать 20.01.2021.

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 25,0.

Доп. тираж 100 экз. Заказ № 493.

ТК 672789-937267-290917

ООО Издательство «КУРС»

127273, Москва, ул. Олонечкая, д. 17А, офис 104. Тел.: (495) 203-57-83.

E-mail: kursizdat@gmail.com <http://kursizdat.ru>

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>Глава 1. НАЗНАЧЕНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ИНТЕГРИРОВАННОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ</b> .....	10
1.1. Виды и задачи машиностроительных производств .....	10
1.2. Требования к инструментальным системам.....	17
<b>Глава 2. ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ</b> .....	27
2.1. Процесс формообразования на макроуровне.....	27
2.2. Формирование баз данных по видам обработки .....	40
<b>Глава 3. ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА</b> .....	74
3.1. Нанесение износостойких покрытий.....	81
3.2. Методы осаждения покрытий.....	88
<b>Глава 4. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ (АЛ)</b> .....	115
4.1. Назначение и развитие АЛ.....	115
4.2. Комплексное инструментальное оснащение АЛ.....	119
<b>Глава 5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ СТАНКОВ С ЧПУ</b> .....	130
5.1. Специфика инструмента для станков с ЧПУ.....	130
5.2. Тенденции развития инструментального оснащения станков с ЧПУ .....	150
<b>Глава 6. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ (ГПС)</b> .....	169
6.1. Особенности инструментального обеспечения и диагностики ГПС.....	169
6.2. Специальный вспомогательный инструмент для ГПС.....	191
<b>Глава 7. ОСОБЕННОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ</b> .....	215
7.1. Требования к технологическому процессу роботизированного фрезерования.....	215
7.2. Факторы, влияющие на точность движений инструмента при роботизированном фрезеровании .....	219

7.3.	Силы резания при роботизированном фрезеровании .....	222
7.4.	Подходы к организации управления технологическими роботами для роботизированного фрезерования.....	224

**Глава 8. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ..... 227**

8.1.	Инструментальные решения для роботизированного фрезерования.....	227
8.2.	Технологические решения для роботизированного фрезерования .....	230

**Глава 9. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНООБРАБАТЫВАЮЩИХ РОБОТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИХ КАЛИБРОВКИ..... 237**

9.1.	Проблема калибровки роботов.....	237
9.2.	Неопределенность при определении направлений осей промышленного робота.....	239
9.3.	Геометрический вид пространственного распространения погрешности.....	240
9.4.	Модель эллипсоида рассеяния .....	242
9.5.	Итерационный алгоритм поиска неопределенности .....	245

**Глава 10. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНСТРУМЕНТА С ОБРАБАТЫВАЕМЫМ ОБЪЕКТОМ..... 248**

10.1.	Пространственная модель силового взаимодействия инструмента с обрабатываемым объектом.....	248
10.2.	Линеаризованная модель силовых воздействий на манипулятор при роботизированном фрезеровании .....	250

**Глава 11. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ДВИЖЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТРАДИЦИОННОМ ПОСТРОЕНИИ КОМПЛЕКСА ПРИВОДОВ МАНИПУЛЯТОРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РОБОТОВ ..... 253**

11.1.	Влияние свойств механических передач на динамические свойства манипуляторов .....	253
11.2.	Анализ точности движений манипуляторов с приводами, замкнутыми по положению вала двигателя.....	257

**Глава 12. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ..... 260**

12.1.	Повышение точности роботизированного фрезерования на основе прецизионных двухдвигательных следящих приводов.....	260
-------	--	-----

12.2. Анализ динамических свойств технологических роботов на основе прецизионных двухдвигательных приводов и импедансного управления.....	269
---	-----

<b>Глава 13. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ДВИЖЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА ПРИ РОБОТИЗИРОВАННОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>273</b>
---	------------

13.1. Постановка задачи компьютерного исследования процессов роботизированного фрезерования.....	273
13.2. Описание кинематической модели манипуляционного механизма.....	274
13.3. Описание приводов робота.....	277
13.4. Компьютерная модель процесса фрезерования.....	279
13.5. Результаты компьютерного моделирования.....	282

<b>Глава 14. АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА .....</b>	<b>287</b>
--	------------

14.1. Структура ГПС.....	287
14.2. Система обеспечения функционирования ГПС. Компоновка гибких производственных систем.....	291
<i>Классификация компоновочных схем ГПС.....</i>	<i>298</i>
14.3. Автоматизированные системы управления технологическими процессами .....	301
<i>Основные компоненты SCADA.....</i>	<i>303</i>
14.4. Автоматизированные складские системы. Цели и задачи автоматизированных складских систем.....	304
14.5. iCIM Production Manager. Управление содержимым склада .....	305
<i>Изменение конфигурации склада .....</i>	<i>308</i>
14.6. Создание списка производственных заказов.....	310
<i>Создание списка производственных заказов без определенного времени старта.....</i>	<i>311</i>
14.7. Типовые стандартные детали, изготавливаемые на ГПС FESTO.....	314
14.8. Автоматизированный склад, интегрированный со SCADA-системой CIROS Production.....	315
<i>Создание гибких производственных модулей.....</i>	<i>317</i>
<i>Диспетчеризация и редактирование содержимого автоматизированного склада и списка производственных заказов....</i>	<i>318</i>
14.9. Производственные и транспортно-складские операции в SCADA-системе CIROS .....	318
<i>Описание основных пунктов окна Products в SCADA-системе CIROS .....</i>	<i>320</i>
14.10. Основные параметры интерактивного окна Production Data в SCADA-системе CIROS .....	323

14.11. Основные параметры интерактивного окна CIROS CONSTRUCTON в SCADA-системе CIROS .....	326
14.12. Переналадка номенклатуры деталей, изготавливаемых на ГПС .....	327
14.13. Основные параметры процесса производственных и транспортно-складских операций, характерных для новой сборочной конструкции .....	332
14.14. Особенности выполнения процесса производственных и транспортно-складских операций, характерных для нового объекта .....	335
14.15. Роботизированный технологический комплекс (РТК) .....	336
14.16. Особенности работы робота-манипулятора. Конструкция и эксплуатация робота MITSUBISHI RV-2AJ .....	342
<i>Обозначение функциональных клавиш</i> .....	348
<i>Включение робота и выбор режима управления роботом</i> .....	352
<i>Конструктивные особенности манипулятора</i> .....	354
<i>Основные особенности шарнирного робота Mitsubishi RV-2AJ</i> .....	356
14.17. Программирование на языке MELFA-BASIC IV промышленных роботов фирмы «Mitsubishi Electric» .....	359
<i>Основные символы и переменные</i> .....	359
<i>Простейшие операторы</i> .....	361
<i>Логические операторы</i> .....	364
<i>Команды объявления типа данных</i> .....	364
<i>Задание пользовательской функции</i> .....	366
<i>Команды преобразования системы координат</i> .....	366
<i>Команды тригонометрических функций</i> .....	367
<i>Позиционная интерполяция</i> .....	368
<i>Линейная интерполяция</i> .....	369
<i>Круговая интерполяция</i> .....	370
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	372
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	377