

**Ю. З. Житников
Б. Ю. Житников
А. Г. Схиртладзе
А. Л. Симаков
Д. С. Воркуев**

**Автоматизация
технологических
и производственных
процессов
в машиностроении**



**ТОНКИЕ
НАУКОЕМКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ**

**Ю. З. ЖИТНИКОВ, Б. Ю. ЖИТНИКОВ,
А. Г. СХИРТЛАДЗЕ, А. Л. СИМАКОВ, Д. С. ВОРКУЕВ**

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

**Под общей редакцией
профессора Ю. З. Житникова**

**Допущено учебно-методическим объединением вузов
по образованию в области автоматизированного
машиностроения (УМО АМ) в качестве учебника для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по направлению
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»**

**Старый Оскол
«ТНТ»
2014**

УДК 621
ББК 34.4
Ж 744

Рецензенты:

профессор, доктор технических наук *В. Ф. Коростелев*
профессор, доктор технических наук *И. К. Рыльцев*

**Житников Ю. З., Житников Б. Ю., Схиртладзе А. Г.,
Симаков А. Л., Воркуев Д. С.**

Ж 744 **Автоматизация технологических и производственных процессов в машиностроении: учебник / Ю. З. Житников, Б. Ю. Житников, А. Г. Схиртладзе [и др.]; под общ. ред. проф. Ю. З. Житникова. — Старый Оскол: ТНТ, 2014. — 656 с.**

ISBN 978-5-94178-217-8

Изложено теоретическое описание и практический подход к разработке средств автоматизации технологических процессов изготовления, сборки и контроля изделий. Приведены алгоритмы и структурные схемы управления процессами автоматизации.

Учебник предназначен для студентов машиностроительных вузов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

УДК 621
ББК 34.4

ISBN 978-5-94178-217-8

© Житников Ю. З., Житников Б. Ю.,
Схиртладзе А. Г., Симаков А. Л.,
Воркуев Д. С., 2014
© Оформление. ООО «ТНТ», 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	12
ЧАСТЬ 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ, СБОРКИ И КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ Житников Ю. З.	15
ГЛАВА 1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДАЧИ ЗАГОТОВОК И ДЕТАЛЕЙ	16
1.1. Автоматизация подачи заготовок больших размеров	16
1.1.1. Устройство подачи проволоки и ленты из бунта при помощи валков	16
1.1.2. Устройство подачи проволоки и ленты клещевым механизмом	20
1.1.3. Устройство подачи проволоки, полос и ленты роликово-клиновым механизмом	22
1.1.4. Устройства подачи полос и ленты при штамповке крючково-рычажными механизмами	23
1.1.5. Устройство подачи прутка цанговым захватом и грузом	24
1.2. Устройства автоматизированной подачи заготовок из бункеров. Предельные режимы работы	25
1.2.1. Бункерные загрузочные устройства с возвратно-поступательным движением стержня	26
1.2.2. Бункерное загрузочное устройство с возвратно-поступательным движением ползуна	30
1.2.3. Дисковое карманчиковое бункерное загрузочное устройство	32
1.2.4. Бункерное загрузочное устройство с крючками	36
1.3. Вибрационные загрузочные устройства	40
1.4. Загрузочные устройства магазинного типа	43
1.4.1. Универсальный вертикальный питатель магазинного типа	44
1.4.2. Универсальный горизонтальный питатель магазинного типа	58

ГЛАВА 2. РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ УСТРОЙСТВ ПОДАЧИ УЗЛОВ И КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ <i>Житников Ю. З.</i>	71
2.1. Оптимальное управление вращением подающего устройства при торможении внешними силами	71
2.2. Оптимальное управление вращением подающего устройства при торможении силой трения	75
2.3. Оптимальное управление поступательным движением подающего устройства при торможении внешними силами	78
2.4. Оптимальное управление поступательным движением подающего устройства при торможении силой трения	79
2.5. Предельная скорость поворота стола при торможении его ударом	80
2.6. Предельная скорость движения шагового конвейера при торможении ударом	87
2.7. Предельно допустимое ускорение движения шагового конвейера с незакреплённым узлом	90
 ГЛАВА 3. РОБОТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ <i>Житников Ю. З.</i>	92
3.1. Разработка схем компоновки робототехнических комплексов	92
3.2. Модульный метод формирования конструкций промышленных роботов-манипуляторов	93
3.3. Обоснование предельных режимов работы элементов роботов-манипуляторов	95
 ЧАСТЬ 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ	105
 ГЛАВА 4. КОНСТРУКТОРСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ИЗДЕЛИЙ К АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ <i>Житников Ю. З.</i>	105
4.1. Требования к конструкциям создаваемых машин при автоматизированной сборке	105
4.1.1. Выбор способа базирования собираемых узлов и деталей	106

4.1.2. Унификация и нормализация крепёжных деталей	107
4.1.3. Обоснование требований к форме узлов и деталей при автоматизированной сборке	108
4.1.4. Назначение свободного пространства вокруг собираемых узлов для подстыковки сборочного автомата	109
4.1.5. Обоснование выбора вида резьбового соединения ...	112
4.2. Точность совмещения сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей в сборочном оборудовании	114
4.2.1. Условия собираемости соединяемых деталей	115
4.2.2. Достижимая точность совмещения сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей в сборочном оборудовании	122
4.2.3. Матричный метод определения погрешностей относительного смещения сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей в сборочном оборудовании	123
4.2.4. Погрешности относительного совмещения сопрягаемых поверхностей соединяемых деталей в отлаженном сборочном оборудовании	138

ГЛАВА 5. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ, СОПРЯГАЕМЫХ ПО ЦИЛИНДРИЧЕСКИМ И РЕЗЬБОВЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ *Житников Ю. З.*

5.1. Теория автоматизированного совмещения деталей, сопрягаемых по цилиндрическим и резьбовым поверхностям	144
5.1.1. Обоснование структурной схемы управления и конструктивного решения завинчивающего устройства со средствами адаптации <i>Симаков А. Л., Житников Ю. З.</i>	149
5.1.2. Теоретическое подтверждение работоспособности средства адаптации, обеспечивающего надёжную автоматизированную сборку резьбовых соединений	158
5.1.3. Метод пассивной адаптации деталей, сопрягаемых по цилиндрическим и резьбовым поверхностям. Условия собираемости в динамике при автоматизированной сборке	208

5.1.4. Методика определения параметров податливого крепления завинчивающего устройства	210
5.2. Режимы работы завинчивающих устройств при автоматизированной сборке резьбовых соединений	219
5.2.1. Предельно допустимая частота вращения резьбовой детали при автоматизированном наживлении	220
5.2.2. Оптимальная частота вращения шпинделя при завинчивании резьбовых деталей	228
5.2.3. Режим работы завинчивающего устройства при затяжке неответственных резьбовых соединений	235
5.2.4. Выбор режимов сборки резьбовых соединений	244
5.2.5. Предельная частота вращения шпинделя в момент начала затяжки ответственных резьбовых соединений	245
5.3. Осевая сила или момент затяжки резьбовых соединений ...	248
5.3.1. Величина момента затяжки неответственных резьбовых соединений	249
5.3.2. Обоснование момента затяжки шпилек, ввинчиваемых в корпусную деталь <i>Воркуев Д. С.</i>	260
5.4. Затяжка ответственных резьбовых соединений	267
5.4.1. Физическая модель процесса герметизации стыков деталей, скрепляемых групповыми резьбовыми соединениями	268
5.4.2. Обоснование величины момента предварительной затяжки резьбовых соединений <i>Воркуев Д. С.</i>	269
5.4.3. Обоснование угла синхронной затяжки резьбовых соединений при скреплении узлов и деталей с уплотнениями	276
5.4.4. Контроль качества затяжки ответственных резьбовых соединений комбинированным методом	278
 ГЛАВА 6. АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ ДЕТАЛЕЙ, СОПРЯГАЕМЫХ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ С НАТЯГОМ	
<i>Житников Ю. З.</i>	285
6.1. Автоматизированная доориентация деталей, сопрягаемых по цилиндрическим поверхностям с натягом	287
6.2. Определение осевой силы запрессовки при сборке соединений с гарантированным натягом	289

6.3. Устройство для запрессовки штифтов (цилиндрических деталей) в корпусную деталь	292
ГЛАВА 7. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Житников Ю. З.</i>	
7.1. Обеспечение максимальной скорости перемещения элементов сборочного оборудования с использованием демпферов	297
7.2. Обоснование предельной скорости подвода к узлу исполнительного органа сборочного оборудования	300
7.3. Обоснование предельной скорости отвода от узла исполнительного органа сборочного оборудования	311
7.4. Отвод исполнительного органа сборочного оборудования после завинчивания и затяжки резьбовых соединений	313
7.4.1. Отвод исполнительного органа после завинчивания и затяжки шпилек	313
7.4.2. Отвод исполнительного органа после затяжки гаек или болтов	317
ГЛАВА 8. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА УПЛОТНЕНИЙ И СКРЕПЛЯЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ <i>Житников Ю. З.</i>	
8.1. Классификация уплотнений и устройств при их автоматизированной установке	319
8.1.1. Классификация уплотнений, устанавливаемых в стык соединений	320
8.1.2. Классификация устройств автоматизированной установки уплотнений	321
8.2. Обоснование структурных схем управления автоматизированной установкой плоских уплотнений и кинематических схем устройств <i>Симаков А. Л.</i>	323
8.2.1. Необходимые и достаточные условия автоматизированного совмещения соединяемых деталей	324
8.2.2. Применение метода стабилизации движения детали относительно программной траектории для совмещения плоских уплотнений	331

8.2.2.1. Разработка структурной схемы управления процессом установки жёстких уплотнений в комплекте со скрепляемой деталью и кинематической схемы устройства <i>Симаков А. Л.</i>	334
8.2.3. Применение комбинированного метода управления движением детали относительно программной траектории для совмещения плоских уплотнений	347
8.2.3.1. Разработка структурной схемы управления процессом установки жёстких уплотнений в стык соединений и кинематической схемы устройства <i>Симаков А. Л.</i>	348
8.3. Устройства установки уплотнений	357
8.3.1. Устройство установки жёстких уплотнительных резиновых прокладок	357
8.3.2. Многопозиционный сборочный автомат формирования и установки уплотнений	359
8.4. Сборочный автомат установки кольцевых упругих уплотнений на наружные и внутренние цилиндрические поверхности	362
8.5. Способ установки цилиндрических кольцевых уплотнений с ограниченной упругостью на наружные цилиндрические поверхности	365

ГЛАВА 9. РАЗРАБОТКА ВЫСОКОТОЧНЫХ, МНОГОШПИНДЕЛЬНЫХ ЗАВИНЧИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

<i>Житников Б. Ю., Воркуев Д. С.</i>	367
9.1. Классификация устройств для завинчивания гаек и винтов (болтов)	367
9.2. Обоснование кинематических схем высокоточных многошпиндельных завинчивающих устройств нового класса на основе многоканальных адаптивных систем управления	369
9.2.1. Разработка многошпиндельного гайковёрта на основе муфты предельного момента, дифференциальных механизмов и механизмов свободного хода	370

9.2.1.1. Обоснование структурной схемы многоканальной адаптивной электромеханической системы управления завинчиванием кратного числа резьбовых деталей	370
9.2.1.2. Кинематическая схема многошпиндельного гайковёрта для завинчивания кратного числа резьбовых деталей	378
9.2.2. Разработка многошпиндельного гайковёрта на основе муфт предельного момента и механизма переключения скоростей вращения шпинделей	387
9.2.2.1. Обоснование структурной схемы многоканальной адаптивной электромеханической системы управления завинчиванием произвольного числа резьбовых деталей	387
9.2.2.2. Кинематическая схема многошпиндельного гайковёрта для завинчивания произвольного числа резьбовых деталей	391
9.2.3. Устройство для завинчивания и затяжки неотчетственных групповых резьбовых соединений	393
9.3. Классификация устройств автоматизированного наживления и завинчивания шпилек	396
9.3.1. Сборочный автомат с устройством выдачи шпилек подвижными направляющими втулками	397
9.3.2. Сборочный автомат с устройством выдачи шпилек неуравновешенными втулками	400
9.3.3. Сборочный автомат с устройством выдачи шпилек поворотным механизмом	400
9.3.4. Автомат с устройством выдачи шпилек поворотом кондукторной плиты	404
9.3.5. Автомат с устройством выдачи шпилек поворотом планшайбы	407
9.3.6. Завинчивающий автомат с устройством выдачи шпилек на предварительной позиции сборки	410

ЧАСТЬ 3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКОЙ, СБОРКОЙ И КОНТРОЛЕМ Житников Ю. В.	414
--	-----

ГЛАВА 10. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ	414
10.1. Построение циклограммы работы технологического оборудования	414

10.2. Классификация систем автоматизированного управления технологическими процессами	418
10.3. Разомкнутая система автоматического контроля параметров деталей	420
10.4. Системы управления технологическим процессом обработки деталей и подналадкой оборудования	421
10.4.1. Кулачковые системы управления	421
10.4.2. Системы управления с командоаппаратами	422
10.4.3. Рефлекторные системы последовательного управления	424
10.4.4. Копировальные системы управления	425
10.4.5. Системы управления с быстросменными программоносителями	428
10.4.6. Системы управления глубиной врезания режущего инструмента	431
10.5. Самонастраивающиеся системы управления технологическими процессами изготовления деталей	434
10.5.1. Структурные схемы систем автоматической подналадки и регулирования процесса обработки без применения вычислительной техники	434
10.5.2. Структурные схемы самонастраивающихся систем автоматического управления технологическими процессами изготовления деталей с применением вычислительной техники	437
10.5.2.1. Самонастраивающиеся системы автоматического управления технологическим оборудованием	437
10.5.2.2. Самонастраивающиеся системы автоматического управления процессом металлообработки	438
10.5.2.3. Обобщённые структурные схемы управления процессами металлообработки	441
10.5.2.4. Варианты структурных схем управления системами стабилизации режимов металлообработки	443

ЧАСТЬ 4. РЕМОНТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ Схиртладзе А. Г.	448
--	-----

ГЛАВА 11. РЕМОНТ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	448
---	-----

11.1. Ремонт шестеренчатых насосов	448
11.2. Ремонт пластинчатых насосов	457
11.3. Ремонт гидравлических приводов	468
11.4. Ремонт подшипников скольжения	486
11.5. Ремонт цепных передач	533
11.6. Ремонт фрикционных передач	544
11.7. Ремонт зубчатых передач	556
11.8. Ремонт корпусных деталей	570
11.9. Ремонт гладких и шлицевых валов	579
11.10. Ремонт кулачков	588
11.11. Ремонт деталей резьбовых соединений	591
11.12. Ремонт деталей шпоночных соединений	615
11.13. Ремонт деталей ременных передач промышленного оборудования	623

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	647
--------------------------------	-----