

# Проектирование автоматизированных станков и комплексов

**В двух томах**

*Под редакцией П.М. Чернянского*

**Том 2**

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению «Технологические машины  
и оборудование» и специальности «Проектирование  
технических и технологических комплексов»*



Москва 2012

УДК 621.9.06.001.63(075.8)  
ББК 34.63-5-02.я2  
П79

Авторы:

*В.М. Утенков, Г.Н. Васильев, Б.М. Дмитриев, В.В. Додонов, В.Б. Мещерякова,  
В.Т. Рябов, В.С. Стародубов, П.Г. Тимофеев*

Рецензенты:

кафедра «Автоматизированные станочные системы и инструменты»  
МГТУ «МАМИ» (д-р техн. наук, проф. *Ю.В. Максимов*,  
канд. техн. наук, проф. *В.А. Михайлов*);  
д-р техн. наук, проф. *П.М. Кузнецов*

**Проектирование автоматизированных станков и комплексов :**  
П79 учебник : в 2 т. / под ред. П. М. Чернянского. — М. : Изд-во МГТУ  
им. Н. Э. Баумана, 2012.

ISBN 978-5-7038-3573-9

Т. 2. — 303, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-3575-3 (Т. 2)

Во втором томе учебника рассмотрены вопросы проектирования и управления, микроэлектронные устройства, а также методы испытаний автоматизированных станков и комплексов. Большое внимание уделено выбору, проектированию и эксплуатации систем ЧПУ, подготовке управляющих программ, оптимизации и средствам автоматизированного проектирования.

Содержание учебника соответствует курсам лекций, читаемых авторами в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов вузов, обучающихся по направлению «Технологические машины и оборудование» и специальности «Проектирование технологических комплексов». Может быть полезен преподавателям и инженерам, работающим в области станкостроения.

УДК 621.9.06.001.63(075.8)  
ББК 34.63-5-02.я2

ISBN 978-5-7038-3575-3 (Т. 2)  
ISBN 978-5-7038-3573-9

© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

## 9. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТОВ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

### 9.1. СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Одной из важных задач в области создания современного металлорежущего оборудования является выбор оптимальной структуры многопозиционных автоматов и автоматических линий. Под структурой рабочей машины обычно подразумевают совокупность элементов и систем, включенных в ее состав, с определенным характером их взаимодействия. От структуры многопозиционных автоматов и автоматических линий существенно зависят их производительность и другие технико-экономические показатели.

Многопозиционные станки и автоматические линии выполняют в виде агрегатированных машин последовательного, параллельного или смешанного действия. Теоретические основы создания такого вида оборудования разработаны проф. Г.А. Шаумяном. Им же сформулированы закономерности эффективного конструирования многопозиционных машин, названные *методами агрегатирования*. Термин «агрегатированная машина» в данном случае близок по смыслу к термину «скомпонованная машина».

Метод *последовательного агрегатирования* предусматривает деление объема цикла обработки на элементы, которые выполняются одновременно на нескольких позициях, что приводит к уменьшению времени цикла обработки и росту производительности оборудования. При *параллельном агрегатировании* число позиций увеличивают в целях одновременной обработки нескольких одинаковых изделий или их элементов. В этом случае рост производительности обеспечивается благодаря увеличению количества обработанных изделий за цикл, который остается постоянным. *Смешанное агрегатирование* предусматривает возможность одновременного применения последовательного и параллельного агрегатирования.

Эти методы построения автоматов и автоматических линий широко распространены в производстве машиностроительной и приборостроительной продукции. Они дополняют друг друга и дают возможность варьировать структуру конструкции, т. е. количество объединяемых на каждом станке элементарных операций и последовательность их выполнения. Разнообразие размеров и форм изготавливаемых деталей, а также технологические требования позволяют иметь большое количество структурных схем оборудования. При выборе оптимального варианта необходимо учитывать производитель-

## **10. СИСТЕМЫ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ**

### **10.1. ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИМИ СТАНКАМИ, ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА**

Важной задачей при проектировании металлорежущих станков с автоматическим управлением является выбор и разработка соответствующей системы программного управления (ПУ) данными станками.

Эту задачу решают исходя из вида изготавливаемых деталей, их количества (массовое, крупносерийное, среднесерийное, мелкосерийное производство), типа применяемых станков (токарные, фрезерные, сверлильные, многоцелевые, шлифовальные и др.), технических и технологических возможностей используемых станков (размеров обрабатываемых заготовок, их материала, типа и количества необходимых режущих инструментов, требований по точности обработки и др.).

При изготовлении деталей в массовом и крупносерийном производстве должен обеспечиваться выпуск большого количества одинаковых деталей (сотни тысяч и даже миллионы штук). Для этого применяют высокопроизводительные полуавтоматы, автоматы, автоматические линии, цеха-автоматы и даже заводы-автоматы, которые должны в течение длительного срока выпускать одинаковые детали с высокой производительностью. Однако таких деталей в машиностроении относительно немного (20...25 %). Большую же часть деталей изготавливают в среднесерийном и мелкосерийном производстве в небольших количествах (несколько сотен или даже несколько десятков штук). При этом разнообразие этих деталей (размеры, форма, материал, точность обработки) очень большое. Поэтому металлорежущие станки, на которых производят данные детали, должны быть широкоуниверсальными и иметь высокую мобильность (быструю переналаживаемость на выпуск других деталей).

В среднесерийном и особенно мелкосерийном производстве детали изготавливали в основном на универсальных станках с ручным управлением, и только в ряде случаев применяют агрегатные станки с системами циклового программного управления (ЦПУ) и станки со следящими копировальными системами управления. Считалось практически невозможным создать станок с системой ПУ, который обладал бы при этом высокой производительностью и высокой мобильностью.

## **11. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

### **11.1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ И ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ**

При ЧПУ станком процесс подготовки УП представляет собой последовательное программирование отдельных этапов обработки заготовки. В общем случае это означает подготовку и нанесение на программноноситель необходимых команд, которые могут быть автоматически прочитаны и выполнены системой ЧПУ и собственно станком.

Процесс подготовки УП можно представить, рассматривая его как процесс передачи и преобразования информации в системе чертеж — готовая деталь.

Система чертеж — деталь — это совокупность технических средств и процессов по преобразованию информации чертежа в материальную деталь, соответствующую техническим требованиям (точности размеров, формы и шероховатости, качеству поверхностного слоя) и другим технико-экономическим показателям (минимальным приведенным затратам, минимальной себестоимости и т. п.).

Структура системы чертеж — деталь зависит от сложности изготавливаемых деталей, объема их производства, уровня автоматизации технических средств и является многоуровневой. Верхний уровень представлен чертежом, нижний — элементами технологической системы: станком с ЧПУ, приспособлением, режущим инструментом, заготовкой (деталью). С позиции преобразования информации при подготовке УП для станков с ЧПУ система чертеж — деталь содержит подсистемы технологической подготовки, математических расчетов, изготовления и контроля УП, внедрения процесса обработки по УП. Задачи, решаемые на всех этапах подготовки УП в представленных подсистемах, даны на рис. 11.1.

Подсистема *технологической подготовки* включает в себя три этапа работ.

На этапе I проводят технико-экономический анализ целесообразности изготовления детали на станке с ЧПУ и выбирают конкретный станок. При этом исходят из условий соответствия системы ЧПУ числу управляемых координат станка, размеров рабочей зоны станка габаритным размерам заготовки, мощности и технических характеристик станка режимам обработки, точности станка требуемой точности и шероховатости обрабатываемых

## **12. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ**

### **12.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Основной тенденцией современного производства является интеграция станочного оборудования с микропроцессорной техникой и использование ее возможностей для управления процессом обработки, хранения, переработки и выдачи информации.

Устройства ЧПУ классов HNC и SNC, или аппаратные, имели жесткую структуру построения, при которой алгоритмы управления реализовывались схемным путем (табл. 12.1). Они были построены по принципу цифровой модели, где все операции, составляющие алгоритм работы, выполнялись параллельно с помощью отдельных блоков, реализующих ту или иную функцию управления (агрегатно-блочное построение). Агрегатно-блочное построение позволяло модернизировать устройство ЧПУ путем замены отдельных блоков, однако его структура определялась постоянными схемами отдельных электронных панелей и межузловых соединений и не могла быть изменена после изготовления устройства.

Встраивание микропроцессоров обеспечивает замену электронных и электромеханических управляющих блоков универсальным программируемым вычислительным устройством и приводит к введению вычислительного процесса по обработке информации непосредственно в оборудование. Возрастают объем памяти и быстродействие устройства ЧПУ, что позволяет увеличить число управляющих координат станка, а также реализовать функции адаптивного управления и автоматического измерения на станке, графического отображения информации на дисплее устройства, диалогового задания УП.

*Микропроцессорным*, или программируемым, называется устройство ЧПУ, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления этого устройства.

Микропроцессорные устройства ЧПУ классов CNC и DNC (см. табл. 12.1) имеют гибкую структуру построения. Принципиальным отличием этих устройств от аппаратных является их структура, соответствующая структуре управляющей ЭВМ и включающая вычислительное устройство, блоки памяти

## 13. МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА В СТАНКАХ И СТАНОЧНЫХ КОМПЛЕКСАХ

### 13.1. ФУНКЦИИ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

#### 13.1.1. Станочный комплекс как система преобразования материальных, энергетических и информационных потоков

Станочный комплекс, как и любая технологическая машина, обрабатывает материальные, энергетические и информационные потоки. Материальные потоки на входе и выходе — это прежде всего обрабатываемые заготовки и изделия, СОЖ, стружка и т. п., энергетические — поступающая электроэнергия, сжатый воздух и другие энергоносители. Входная информация поступает из заводской или цеховой информационно-управляющей сети и представляет собой директивные задания на обработку, квитирование и отчеты по исполнению заданий. В зависимости от того, какой из потоков обрабатывают элементы станочного комплекса, их можно отнести к системе станков или исполнительным механизмам, централизованной системе энергообеспечения или к системе управления (рис. 13.1).

Станки или отдельные исполнительные механизмы непосредственно взаимодействуют с полуфабрикатами и заготовками. На вход таких механизмов поступает материальный поток М (заготовки, технологические среды обработки). Для своей работы исполнительные механизмы нуждаются в потоках

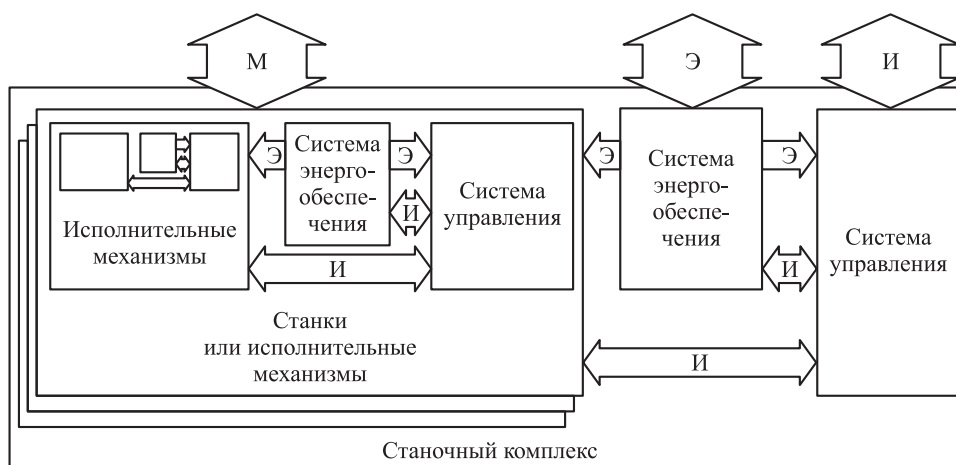


Рис. 13.1. Состав станочного комплекса

## **14. ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СТАНОЧНЫХ СИСТЕМ**

### **14.1. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СТАНОЧНЫЕ СИСТЕМЫ В МЕХАНОСБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

#### **14.1.1. Автоматизация механосборочного производства**

Современное машино- и приборостроительное производство все в большей мере становится объектом интенсивного и многостороннего использования новейших достижений в области науки, технологии, экономики, менеджмента, вычислительной техники и других прикладных дисциплин. Помимо технологических процессов, все в большей степени реализуются информационные технологии, которые придают новое качество процессу производства, традиционным и специальным технологическим процессам.

Автоматизированное оборудование, используемое в машиностроении и приборостроении, немисливо без применения вычислительной техники, компьютеров, контроллеров как на стадии проектирования нового автоматического и автоматизированного оборудования, так и на стадии его эксплуатации, диагностики, ремонта. Автоматическое и автоматизированное оборудование механосборочного производства представляет собой неразрывное единство высокоавтоматизированных технологических машин и многоуровневых компьютерных систем управления, используемых для оборудования с ЧПУ, контроля параметров обработки, измерения деталей, счета и кодирования, диспетчирования, расчета экономической эффективности, финансового мониторинга и многих других функций.

Одной из проблем развития машиностроения в промышленно развитых странах является дефицит трудовых ресурсов, обусловленный демографическими факторами, перераспределением трудовых ресурсов между производственной и непроизводственной сферами, непопулярностью ручного труда, сравнительно низкой престижностью работы оператора станочного оборудования, неблагоприятными условиями труда, относительно низкой заработной платой и т. д.

Для современного машиностроения характерно: быстрая и оперативная перестройка на выпуск новой продукции в соответствии с меняющимися запросами рынка; наличие жесткой конкуренции между производителями продукции; стремление максимально снизить издержки на заработную плату, оборудование, его эксплуатацию, подготовку производства и другие расходы.



## **15. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

### **15.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТАНКОВ**

#### **15.1.1. Предпосылки автоматизации проектирования станков**

Компьютерные технологии получают все большее распространение во всех областях современного производства. В настоящее время программно-аппаратные комплексы достигли высокого уровня развития и потенциально способны решать самые разнообразные задачи. В станкостроении накоплен значительный опыт использования средств вычислительной техники при проведении проектно-конструкторских работ.

Автоматизация проектирования способствует существенному снижению трудоемкости проектно-конструкторских работ, сокращению общего времени выполнения проекта, а также уменьшению стоимости его реализации в первую очередь в результате замены дорогостоящего и длительного натурного моделирования математическим. Вместе с тем следует отметить, что применительно к проектированию и конструированию автоматизация охватывает прежде всего этапы выполнения чертежно-графических работ, а также разработку спецификаций и рабочей документации. При этом для реализации проекта часто используют традиционные методики ручного проектирования. Такой подход вполне соответствует исторически сложившимся представлениям об автоматизированном рабочем месте конструктора как об электронном кульмане, обладающем рядом расширенных возможностей.

В основе традиционного представления о разделении труда лежит идея о том, что конструктор должен решать преимущественно задачи творческого характера, а сферой деятельности программно-аппаратных комплексов остаются информационная и техническая поддержка процессов проектирования.

Практика использования автоматизированных систем показывает, что автоматизация отдельных этапов работ над проектом не оказывает существенного влияния на качественные и количественные показатели проектно-конструкторского процесса в целом. Использование программно-аппаратных комплексов должно базироваться на подходе к проектированию на основе САПР, осуществляющих информационную поддержку всего комплекса проектных задач — от анализа заявки заказчика до разработки рабочей документации.

## **16. ИСПЫТАНИЯ СТАНКОВ**

### **16.1. БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИСТЕМЫ ИСПЫТАНИЙ**

#### **16.1.1. Объективная необходимость процедуры испытаний**

При всем многообразии расчетов элементов конструкции и совершенстве технологии производства после завершения процесса сборки возникает неопределенность в состоянии станочной системы. Для объективной оценки состояния станка приходится вводить некоторый процесс измерения достигнутого уровня качества станочной системы — процедуру испытаний. Объективная оценка достигнутого уровня качества необходима заинтересованным субъектам — производителю и потребителю станка. Первому нужно знать уровень достигнутого качества для назначения цены и совершенствования процесса производства, второму — быть уверенным, что приобретаемый товар имеет ту цену, которой он достоин, а станок успешно решает производственные задачи.

Такие отношения могут быть установлены с помощью определенных действий, которые должны быть произведены над станком. В конце XIX в. Г. Шлезингер, представитель станкостроения Германии, разработал систему оценки геометрической точности станков. Им было предложено свыше 40 схем оценки геометрической точности самых разнообразных типов станков в статическом состоянии.

Существенные изменения в процедуре испытаний станков произошли в начале XX в. Связаны они с переходом производства машин, в частности автомобилей, на взаимозаменяемую сборку, т. е. сборку деталей без процесса пригонки на рабочем месте. Тейлор (технолог на фирме Форда) ввел понятие «годная деталь», т. е. деталь, например вал, у которой высшая точка обработанной поверхности не выше, а низшая — не ниже заданного уровня на предписанной длине. Если это условие в процессе изготовления выполняется, то при сборке вал сопрягается с отверстием без дополнительной доработки.

Эксплуатация изделий машиностроения показала, что с увеличением точности размеров качество изделий повышается. В работе над повышением точности размера процесс образования погрешности был декомпозирован на элементарные составляющие: погрешности установки заготовки и инструмента, износ инструмента, погрешность наладки, геометрическую точность станка и т. д. В силу наличия в причинах, ухудшающих точность обработки, влияния станочной системы (податливость, тепловыделение) станки допол-

## ЛИТЕРАТУРА

*Автоматизация* производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе и др.; под ред. Н.М. Капустина. М.: Высш. шк., 2004. 414 с.

*Базаров Б.М.* Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 367 с.

*Боборыкин А.В., Липовецкий Г.П., Литвинский Г.В.* Однокристалльные микроЭВМ. М.: МИКАП, 1994. 440 с.

*Брюханов В.Н., Схиртладзе А.Г., Вороненко В.П.* Автоматизация машиностроительного производства: учеб. пособие для вузов. М.: МГТУ «Станкин», 2003. 287 с.

*Васильев Г.Н.* Автоматизация проектирования металлорежущих станков: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 1987. 280 с.

*Волчкевич Л.И.* Автоматизация производственных процессов: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., стер. М.: Машиностроение, 2007. 379 с.

*Денисенко В.В.* Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия — Телеком, 2009. 608 с.

*Коровин Б.Г.* Системы программного управления промышленными установками и робототехническими комплексами. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 352 с.

*Кузнецов М.М., Усов Б.А., Стародубов В.С.* Проектирование автоматизированного производственного оборудования: учеб. пособ. для вузов. М.: Машиностроение, 1987. 288 с.

*Микроэлектронные устройства в системах управления станками* / С.Г. Синичкин, С.Н. Лобанов, Н.И. Стародуб и др.; под ред. С.Г. Синичкина. М.: Машиностроение, 1983. 120 с.

*Многоцелевые системы ЧПУ с гибкой механообработкой* / В.Н. Алексеев, В.Г. Ворожев, Г.П. Гырдымов и др.; под ред. В.Г. Колосова. Л.: Машиностроение, 1984. 224 с.

*Никитенко В.Д.* Подготовка программ для станков с программным управлением. М.: Машиностроение, 1973. 240 с.

*Основы автоматизации машиностроительного производства:* учеб. для вузов / Е.Р. Ковальчук, М.Г. Косов, В.Г. Митрофанов и др.; под ред. Ю.М. Соломенцева. 3-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2001. 311 с.

*Программное управление станками и промышленными роботами* / В.Л. Косовский, Ю.Г. Козырев, А.Н. Новиков и др. М.: Высш. шк., 1986. 272 с.

*Проектирование* металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник: В 3 т. Т. 2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / А.С. Проников, Е.И. Борисов, В.В. Бушуев и др.; под общ. ред. А.С. Проникова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995. 371 с.

*Прохоров А.Ф.* Конструктор и ЭВМ. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.

*Ратмиров В.А.* Управление станками гибких производственных систем. М.: Машиностроение, 1987. 272 с.

*Точность* и надежность станков с числовым программным управлением / А.С. Проников, В.С. Стародубов, М.С. Уколов и др.; под ред. А.С. Проникова. М.: Машиностроение, 1982. 256 с.

*Хоровиц П., Хилл У.* Искусство схемотехники: В 3 т. / Пер. с англ. 4-е изд. М.: Мир, 1993. Т. 1. 413 с.

*Шарин Ю.С.* Подготовка программ для станков с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1980. 144 с.

*Шаумян Г.А.* Комплексная автоматизация производственных процессов. М.: Машиностроение, 1973. 638 с.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

### А

Автоколебания 152 (I)  
Адаптер связи 124 (II)  
Аналоговое управление 139 (I)  
Аналого-цифровой преобразователь 161 (II)  
Аппаратно-программный эмулятор 175 (II)

### Б

Безотказность 199 (I), 208 (II)

### В

Вероятность безотказной работы 200 (I)  
Вычислитель 102 (II)  
Вычислительное ядро 136 (II)

### Г

Гамма-процентный ресурс 201 (I)  
Гибкие производственные модули 179, 184 (II)  
— — системы 180 (II)  
Гитара 22 (I)  
Граница устойчивости 174 (I)

### Д

Движение подачи 12 (I)  
— резания главное 10 (I)  
Демпфирование 134 (I)  
Долговечность 209 (II)  
Дроссельное регулирование 136 (I)

### Ж

Жесткость 56 (I)  
— параллельная схема связи 300 (I)  
— последовательная схема связи 299 (I)

### З

Запас устойчивости 175 (I)

### И

Измерительный преобразователь 185 (I)  
Имитационное моделирование 203 (II)  
Интерфейс 133 (II)  
Исходная точка инструмента 64, 75 (II)  
— — программы 64 (II)  
— — станка 63, 66 (II)

### К

Кинематическая цепь 14 (I)  
Классы точности станков 8 (I)  
Колебания вынужденные 154 (I)  
— собственные 152 (I)  
Комбинационная логическая схема 149 (II)  
Конкуренетоспособность 87 (I)  
Контраст 241 (I)  
Контроллер 135 (II)  
Копир 139 (I)  
Коэффициент резерва точности обработки 202 (I)

### Л

Логарифмический декремент 153 (I)

### М

Межналадочный период 202 (I)  
Микроконтроллер 164 (II)  
Микропроцессор 101, 164 (II)  
Модуль упругофрикционной системы 297 (I)

### Н

Настроечная точка инструмента 74 (II)  
Нулевая точка детали 64, 76 (II)  
— — станка 63 (II)  
Нюанс 241 (I)  
Нюансная гармония цвета 246 (I)

**О**

Обработка лазерная 270 (I)  
— магнитоимпульсная 281 (I)  
— плазменная 279 (I)  
— ультразвуковая 275 (I)  
— электронно-лучевая 266 (I)  
— электрохимическая 261 (I)  
— электроэрозионная 254 (I)  
Обратная связь 139 (I)  
Опорная точка траектории 80 (II)  
Остаточное смещение системы 305 (I)  
Относительный способ отсчета координат 39 (II)

**П**

Параметр потока отказов 201 (I)  
Передаточное отношение 16 (I)  
Передача безлюфтовая 20 (I)  
— зубчатая 17 (I)  
— реечная 18 (I)  
— ременная 17 (I)  
— цепная 18 (I)  
— червячная 18 (I)  
— шариковая винтовая 20 (I)  
Переход вспомогательный 79 (II)  
— инструментальный 78 (II)  
— позиционный 79 (II)  
Порты ввода-вывода 168 (II)  
Порядок метрический 240 (I)  
— ритмический 240 (I)  
Последствие 309 (I)  
Преобразователь аналого-цифровой 162 (II)  
— цифроаналоговый 160 (II)  
Привод 59 (I)  
— гидравлический 128 (I)  
— линейный 44 (I)  
— роторный 139 (I)  
— следящий электрогидравлический 130 (I)  
Приемопередатчик 169 (II)  
Программное обеспечение 41 (II)  
Программоноситель 138 (I)

**Р**

Рабочие жидкости 131 (I)  
Рабочие зоны оператора 224 (I)  
Расчетно-технологическая карта 85 (II)

Расширитель арифметических функций 102 (II)  
Регистр 156 (II)  
Резонанс колебаний 158 (I)  
Роботизированный технологический комплекс 185 (II)

**С**

Сертификация продукции 292 (II)  
Силовые смещения 296 (I)  
Симистор 145 (II)  
Симметрия 242 (I)  
Симулятор 175 (II)  
Система испытаний 273 (II)  
— микропроцессорная 102 (II)  
— прерываний 171 (II)  
— управления 133 (II)  
— цикловой автоматики станка 112 (II)  
Системная магистраль 102 (II)  
Системы программного управления адаптивные 43 (II)  
— — с распределительным валом (кулачковые) 24 (II)  
— следящие копировальные 23 (II)  
— циклового управления 28 (II)  
— числового управления 30 (II)  
Скорость подачи 12 (I)  
— резания 11 (I)  
Станок металлорежущий 5 (I)  
— металлообрабатывающий 272 (II)  
надежность 199 (I)  
настройка 22 (I)  
паспортизация 280 (II)  
прогнозирование потери точности 203 (I)  
производительность 199 (II)  
пропорции 239 (I)  
работоспособность 54, 199 (I)  
ресурс 202 (I)  
смещение нуля отсчета 77 (II)  
— специализированный 8 (I)  
— с циклоидальной схемой обработки 283 (I)  
— универсальный 8 (I)  
эргономические требования 218 (I)  
эстетические требования 239 (I)  
Статические антропометрические характеристики 219 (I)

**Т**

Таймер-счетчик 169 (II)  
Тангенциальное точение 289 (I)  
Тектоника 244 (I)  
Теория динамического цвета 247 (I)  
— массового обслуживания 212 (II)  
— оптимальных цветов 246 (I)  
— согласованных цветов 248 (I)  
Техническое диагностирование 45 (II)  
— задание 53 (I)  
— обслуживание станков с ЧПУ 55 (II)  
Технологическая система 49 (I)  
Типовые элементы конструкций 310 (I)  
Тиристор 145 (II)  
Точность геометрическая 55 (I)  
— кинематическая 55 (I)  
— позиционирования 129, 149 (I)  
Транзистор биполярный 140 (II)  
— Дарлингтона 141 (II)  
— МОП 142 (II)  
— IGBT 143 (II)  
Триггер 155 (II)

**У**

Управляющая программа 31 (II)  
Уравнение кинематического балан-  
са 21 (I)  
Устойчивость динамической систе-  
мы 176 (I)  
Устройство аппаратное 36 (II)  
— выдачи дискретных сигналов 129 (II)

— приема дискретных сигналов 130 (II)  
— сопряжения с приводом 127 (II)  
— ЧПУ 30, 36 (II)

**Ф**

Фиксированная точка станка 63 (II)  
— — установки инструмента 74 (II)  
Фрезоточение 293 (I)

**Х**

Характеристика динамическая упругой  
системы 170 (I)  
— разомкнутой динамической системы  
станка 177 (I)  
— силовых смещений 297 (I)

**Ц**

Циклоидальная кривая 287 (I)

**Ш**

Шаговый электродвигатель 144 (I)  
Шпиндельный узел 65 (I)

**Э**

Эквидистанта 80 (II)  
Электромеханический transforma-  
тор 142 (I)  
Элемент трения 297 (I)  
— упругости 297 (I)  
Элементарная обрабатываемая поверх-  
ность 78 (II)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>9. Основы проектирования автоматов и автоматических линий</b> .....	3
9.1. Структура автоматизированного оборудования .....	3
9.2. Автоматы и автоматические линии последовательного действия .....	4
9.3. Автоматы и автоматические линии параллельного действия .....	11
9.4. Автоматы и линии последовательно-параллельного действия .....	15
9.5. Выбор режимов резания при многоинструментальной обработке .....	17
Контрольные вопросы .....	20
<b>10. Системы программного управления металлорежущими станками</b> .....	21
10.1. Процесс управления металлорежущими станками, функции управления, их характеристика .....	21
10.2. Металлорежущие станки с кулачковыми системами программного управления .....	23
10.3. Системы циклового программного управления .....	28
10.4. Системы числового программного управления станками .....	30
10.4.1. Общие положения .....	30
10.4.2. Системы координат станков с ЧПУ, кодирование и запись информации УП .....	37
10.4.3. Задачи, решаемые системой ЧПУ, ее структура и программное обеспечение .....	40
10.5. Адаптивные системы управления .....	43
10.6. Измерительные системы, применяемые в станках с числовым программным управлением .....	45
10.6.1. Системы обратной связи, основные типы ИП .....	45
10.6.2. Системы технического диагностирования станков и систем ЧПУ .....	45
10.6.3. Системы контроля износа и поломки режущих инструментов .....	47
10.6.4. Системы коррекции погрешностей станков с ЧПУ .....	49
10.6.5. Устройства для автоматического контроля точности изготовления деталей и настройки режущих инструментов ...	53
10.7. Порядок выбора и проектирования систем числового программного управления .....	53
10.8. Особенности эксплуатации и технического обслуживания станков с числовым программным управлением .....	55
Контрольные вопросы .....	56



<b>11. Подготовка управляющих программ для станков с числовым программным управлением.....</b>	<b>58</b>
11.1. Основные этапы и задачи, решаемые при подготовке управляющей программы.....	58
11.2. Подготовка исходных данных для проектирования технологического процесса изготовления деталей на станках с числовым программным управлением.....	61
11.3. Разработка маршрутной технологии при создании управляющей программы.....	68
11.3.1. Выбор последовательности изготовления детали по зонам.....	68
11.3.2. Выбор режущих инструментов и приспособлений.....	69
11.3.3. Задание систем координат инструмента и детали. Определение исходной точки программы в системе координат станка.....	74
11.4. Разработка операционной технологии при создании управляющей программы.....	78
11.4.1. Структура операционного технологического процесса обработки на станке с ЧПУ.....	78
11.4.2. Правила формирования траекторий.....	80
11.4.3. Разработка расчетно-технологической карты изготовления детали на станке с ЧПУ.....	85
11.5. Автоматизированный расчет, кодирование и изготовление управляющей программы.....	89
11.6. Контроль управляющей программы.....	96
Контрольные вопросы.....	98
<b>12. Микропроцессорные устройства числового программного управления станками.....</b>	<b>99</b>
12.1. Основные понятия и классификация микропроцессорных устройств числового программного управления.....	99
12.2. Номенклатура обменных сигналов при программном управлении исполнительными механизмами станка с помощью микропроцессорного устройства.....	104
12.2.1. Управление формообразованием поверхности детали (геометрическая задача).....	104
12.2.2. Управление цикловой автоматикой станка (логическая задача).....	112
12.2.3. Контроль и управление рабочим процессом (технологическая задача).....	120
12.2.4. Диалог оператора с устройством ЧПУ (терминальная задача).....	121
12.2.5. Контроль аппаратных средств устройства ЧПУ (диагностическая задача).....	122

---

12.3. Структурные схемы построения микропроцессорных устройств числового программного управления.....	123
12.4. Сопряжение станка с микропроцессорным устройством число- вого программного управления.....	127
Контрольные вопросы .....	130
<b>13. Микроэлектронные устройства в станках и станочных комп- лексах .....</b>	<b>132</b>
13.1. Функции микроэлектронных устройств .....	132
13.1.1. Станочный комплекс как система преобразования мате- риальных, энергетических и информационных потоков....	132
13.1.2. Структура и аппаратное построение систем управления и энергообеспечения .....	135
13.2. Электронные компоненты систем автоматического управления	140
13.2.1. Дискретные электронные компоненты систем автомати- ческого управления .....	140
13.2.2. Операционные усилители .....	146
13.2.3. Типовые элементы для обработки дискретной информа- ции. Комбинационные логические схемы .....	149
13.2.4. Последовательностные схемы.....	155
13.2.5. Средства цифроаналоговой обработки информации .....	160
13.3. Однокристалльные микроконтроллеры в станках и станочных комплексах .....	164
13.3.1. Микропроцессоры и микроконтроллеры .....	164
13.3.2. Устройство и работа основных узлов микроконтроллера	168
13.3.3. Система команд и программирование микроконтроллера	171
Контрольные вопросы .....	175
<b>14. Проектирование автоматизированных станочных систем .....</b>	<b>177</b>
14.1. Автоматизированные станочные системы в механосборочном производстве .....	177
14.1.1. Автоматизация механосборочного производства .....	177
14.1.2. Гибкие производственные системы .....	181
14.1.3. Гибкие производственные модули.....	184
14.2. Основы проектирования автоматизированных станочных систем	188
14.2.1. АСС как объект проектирования .....	188
14.2.2. Разработка технологического процесса и выбор структуры станочной системы.....	195
14.3. Расчет основных параметров и характеристик автоматизирован- ных станочных систем .....	198
14.3.1. Расчет производительности станков с ЧПУ и станочных систем .....	198
14.3.2. Внецикловые потери и фактическая производительность	199

---

14.3.3. Оценка факторов ожидаемой производительности в стеновых условиях.....	202
14.3.4. Имитационное моделирование АСС .....	203
14.3.5. Расчет надежности АСС .....	208
14.3.6. Расчет АСС с использованием теории массового обслуживания .....	211
14.4. Системы управления в автоматизированных станочных системах	216
14.4.1. Задачи и принципы построения систем управления .....	216
14.4.2. Системы управления локальными устройствами в ГПС .....	220
14.4.3. Инженерная оценка экономической эффективности автоматизации .....	222
Контрольные вопросы .....	225
<b>15. Автоматизированное проектирование металлорежущих станков</b>	<b>227</b>
15.1. Автоматизация проектно-конструкторских процессов при проектировании станков .....	227
15.1.1. Предпосылки автоматизации проектирования станков .....	227
15.1.2. Металлорежущий станок как объект проектирования.....	228
15.1.3. Обобщенная схема организации проектно-конструкторского процесса при разработке станков .....	231
15.1.4. Системный подход к проектированию станков.....	235
15.1.5. Функциональный анализ и структурный синтез компонентов станков.....	237
15.1.6. Обобщенная схема автоматизированного проектно-конструкторского процесса .....	240
15.2. Автоматизированные расчеты деталей и узлов металлорежущих станков.....	242
15.2.1. Математическое моделирование при проектировании станков.....	242
15.2.2. Методики инженерных расчетов станочных узлов .....	246
15.2.3. Автоматизация расчетов деталей и узлов станков .....	249
15.3. Пакеты программ автоматизированного проектирования.....	250
15.3.1. Средства и методы автоматизации процессов создания изделий .....	250
15.3.2. Инструментальные средства автоматизации процессов проектирования .....	253
15.3.3. Классификация средств автоматизации процессов создания изделий .....	261
15.3.4. Интеграция PLM с информационными системами предприятий.....	263
15.3.5. Тенденции развития средств автоматизации процессов создания изделий.....	266
Контрольные вопросы .....	267

---

<b>16. Испытания станков</b> .....	269
16.1. Базовые положения системы испытаний .....	269
16.1.1. Объективная необходимость процедуры испытаний .....	269
16.1.2. Основные понятия и определения .....	272
16.1.3. Испытания как элемент обратной связи по качеству станка .....	275
16.1.4. Функционирование системы испытаний .....	278
16.2. Основные положения приемосдаточных испытаний .....	280
16.2.1. Паспортизация станка и его испытания в статическом состоянии .....	280
16.2.3. Методы испытания станков в режиме холостого хода .....	285
16.2.4. Проверка станка в рабочем состоянии .....	288
16.2.5. Испытания сложных комплексов .....	289
16.3. Современные тенденции в методах испытаний станков .....	290
Контрольные вопросы .....	292
Литература .....	294
Предметный указатель .....	296

*Учебное издание*

**Утенков** Владимир Михайлович, **Васильев** Герман Николаевич,  
**Дмитриев** Борис Михайлович, **Додонов** Владимир Владимирович,  
**Мещерякова** Вера Борисовна, **Рябов** Владимир Тимофеевич,  
**Стародубов** Виктор Семенович, **Тимофеев** Павел Геннадиевич

**Проектирование автоматизированных  
станков и комплексов**

В двух томах

**Том 2**

Редактор *Е.Н. Ставицкая*  
Технический редактор *Э.А. Кулакова*  
Художник *С.С. Водчиц*  
Корректор *Р.В. Царева*  
Компьютерная графика *О.В. Левашовой*  
Компьютерная верстка *Н.Ф. Бердавцевой*

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Сертификат соответствия № РОСС RU. АЕ51. Н 16228

Подписано в печать 12.11.12. Формат 70×100 1/16.  
Усл. печ. л. 24,7. Тираж 1000 экз. (1-й з-д 1–300).  
Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, стр. 1.  
press@bmstu.ru www.baumanpress.ru

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, стр. 1.  
baumanprint@gmail.com