

# БЮЛЛЕТЕНЬ

**Барановичского  
государственного  
университета**

---

---

**5 (6) • 2011**

**• Качество образования: ракурсы и грани**

Мониторинг результатов итоговой аттестации студентов  
дневной формы получения образования (2006–2010)

Централизованное тестирование: организация и  
проведение (мониторинг работы пунктов тестирования  
№ 603 и № 604 г. Барановичи)

Тенденции развития современных промышленных станков  
с числовым программным управлением

**• Научный дебют**

---

---

*Н. Н. Сергель,*  
старший преподаватель кафедры  
оборудования и автоматизации  
производства инженерного факультета

### ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) появились в 50-е годы XX века. На Чикагской машиностроительной выставке в 1960 году из общего количества представленных (примерно 1 000) станков 85 имели программное управление.

На станках с программным управлением уменьшается штучное время на обработку детали по сравнению со штучным временем, затрачиваемым при обработке таких же деталей на универсальных станках.

В целом программное управление целесообразно, если:

- а) выполняемые операции требуют многочисленных и сложных настроек станка;
- б) необходима сложная и разнообразная обработка детали;
- в) времени на обработку детали нужно меньше, чем на настройку станка;
- г) особенно сложные детали выпускаются малыми партиями;
- д) обрабатывается сложная деталь, изготовление которой в массовом производстве может привести к субъективным ошибкам;
- е) обрабатываются детали с жесткими допусками, индивидуальными отклонениями в партии, детали подвержены частым конструктивным изменениям и требуют точной оснастки;
- ж) стоимость оснастки высока по сравнению со стоимостью детали;
- и) подготовка производства ограничена по срокам;
- к) сложно хранить инструмент;
- л) изготовленные детали требуют для контроля качества дорогостоящих средств измерений.

Устройства программного управления с позиций функциональности можно укрупненно разбить на следующие группы:

- программное управление (ПУ) — управление станком по детерминированной программе;
- цикловое программное управление (ЦПУ) — управление циклами перемещений или режимами обработки по программе, в которой величины параметров заданы на путевых переключателях или других измерительных преобразователях;

– числовое программное управление (ЧПУ) (международное обозначение — numerical control — NC) — управление обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде;

– разновидность устройств ЧПУ (hand NC — HNC) с ручным вводом программы с пульта устройства ЧПУ (на клавишах, переключателях и т. п.);

– разновидность устройств ЧПУ (speicher NC — SNC, memory NC — MNC), имеющих память для хранения всей управляющей программы;

– автономная система ЧПУ (Computer numerical control — CNC), содержащая в своем составе электронно-вычислительную машину (ЭВМ) или процессор для выполнения основных функций управления;

– система управления группой станков от общей ЭВМ (direkt numerical control — DNC), осуществляющая хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления станков (у станков могут быть установлены устройства типов NC, HNC, CNC).

Внедрение станков с ЧПУ прошло несколько этапов:

- создание станков с ЧПУ на основе неавтоматизированного расчета программ и их апробирование в промышленности;
- широкое внедрение в промышленность станков с автономными устройствами ЧПУ постоянной структуры, освоение систем автоматического программирования;
- создание устройств централизованного управления от ЭВМ и автономных устройств с переменной структурой;
- включение станков с ЧПУ в общую систему автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП).

В последние годы наблюдается тенденция использования ЧПУ наряду с микропроцессорными устройствами мини-ЭВМ. Это позволяет сделать более гибким процесс подготовки программ и внесение в них изменений непосредственно на станке.

В результате появились гибкие производственные системы (ГПС) на основе гибких производственных модулей (ГПМ). Этому предшествовала разработка многоцелевых станков с магазинами инструментов, загрузочных роботов-манипуляторов и микропроцессорных систем управления, обеспечивающих развитую диагностику состояния оборудования. Новым качеством ГПС стала интеграция технологического оборудования с микропроцессорной техникой и ЭВМ для обработки, хранения и выдачи информации на взаимосвязанное управление оборудованием, входящим в состав ГПС.

Перспективным направлением развития ЧПУ является использование ЭВМ для управления станками

непосредственно через промежуточное управляющее устройство без кодирования команд на программно-носителях (перфолентах, магнитных лентах) — CNC. Электронно-вычислительная машина в данном случае выполняет следующие функции: передает информацию исполнительным органам станка, отрабатывающим соответствующие перемещения или скорость, хранит информацию в памяти и т. д. Ряд фирм, в частности, автомобиле- и самолетостроительных (США, Англия и др.), перешли на применение непосредственного программного управления станками от ЭВМ (DNC).

Компоновка первых токарных станков с ЧПУ мало отличалась от компоновки станков, на базе которых они были сделаны. Так, токарный станок модели 16K20Ф3, в отличие от универсального токарно-винторезного станка модели 16K20, имел изменения в некоторых узлах. В конструкцию базового станка были добавлены следующие устройства и механизмы:

- электронное устройство ЧПУ для управления работой станка;

- отдельные приводы по каждой координате: один — для движения суппорта в продольном направлении, другой — в поперечном;

- автоматическая коробка скоростей (АКС), передачи в которой включаются электромагнитными муфтами при поступлении команды на изменение скорости, отключение или торможение вращения шпинделя станка;

- поворотная резцедержка, в шести позициях которой можно устанавливать разные инструменты для обработки заготовки;

- беззазорные шариковые винтовые передачи, обеспечивающие более точное перемещение суппорта в продольном и поперечном направлениях.

В современных станках с ЧПУ полностью автоматизирован цикл обработки детали с установлением необходимых режимов резания. Без участия оператора выполняются все вспомогательные движения и функции: ускоренное перемещение рабочих органов, смена инструмента, устанавливаемого в револьверных головках или магазинах, зажим заготовки, перемещение задней бабки и люнета, включение и выключение механизмов стружкодробления и стружкоудаления, включение системы охлаждения, введение коррекции на положение заранее настроенных на размер инструментов и т. д. Это кардинальным образом изменило конструкцию станка.

При подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ наиболее трудоемкой частью работы

является расчет траектории инструмента, очень сильно зависящий от правильного выбора и взаимной увязки систем координат детали, станка и инструмента.

Кроме трех основных декартовых координат относительное положение инструмента и заготовки характеризуют возможные дополнительные вращения и перемещения. Так, четвертая координата может быть связана с поворотом стола, пятая — с поворотом шпинделя, шестая — с дополнительным движением шпиндельной бабки и т. д.

Кроме основных осей  $X$  и  $Z$ , которых может быть несколько, и осей  $C_1$  и  $C_2$  станки имеют управление перемещением по осям  $B$  и  $Y$ . Средняя точность позиционирования обеспечивается в пределах  $0,005...0,008$  мм. Скорости перемещения по осям  $X$ ,  $Z$  ( $Y$ ) обычно составляют от 15 до 40 м / мин, хотя могут быть до 100 м / мин; по оси  $C$  позиционирование выполняется со скоростью до  $100 \text{ мин}^{-1}$ . Индексация основного и контршпинделя обеспечена через  $0,001^\circ$ . Ускорение при перемещении достигает  $10 \text{ м / с}^2$  и больше.

При обработке детали на токарном станке с ЧПУ выделяют три координатные системы положения (рис. 1):

- система координат станка ХМЗ;

- система координат детали С;

- система координат инструмента В.

Если у станка имеется несколько рабочих органов, несущих инструмент, для задания их перемещений используются разные системы координат.

Наличие связи систем координат станка, детали и инструмента позволяет выдерживать заданную точность обработки детали при ее переустановке, а при подготовке управляющей программы — задавать траекторию перемещения инструмента в системе координат детали. Например, станки японской фирмы MAZAK, показанные на выставке «Машиностроение-2010», не требуют точной установки заготовки и режущего инструмента. Их измерительная система автоматически производит привязку координат детали и инструмента к координатам станка.

В приводах главного движения токарных станков передняя бабка обычно является шпиндельной. Большие мощности и частоты вращения, нагруженность шпиндельных подшипников привели к необходимости интенсивного охлаждения, которое обеспечивается, в основном, путем обрызгивания бабки, создания систем вентилирования воздушного пространства вокруг шпиндельной бабки или пропускания охлаждающей жидкости через полости внутри нее (рис. 2).

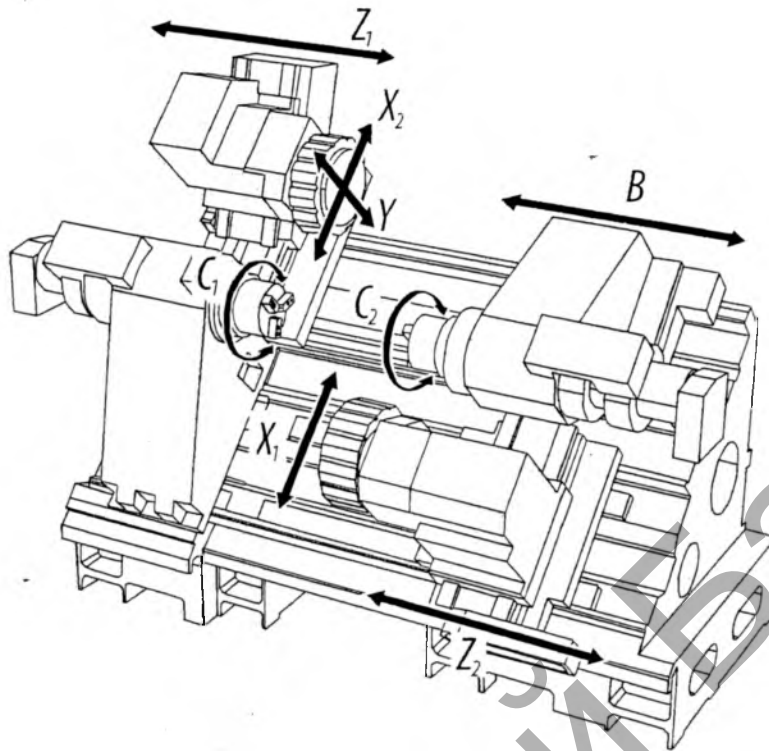


Рисунок 1 — Положение осей у токарного станка с ЧПУ с контршпинделем и двумя револьверными головками

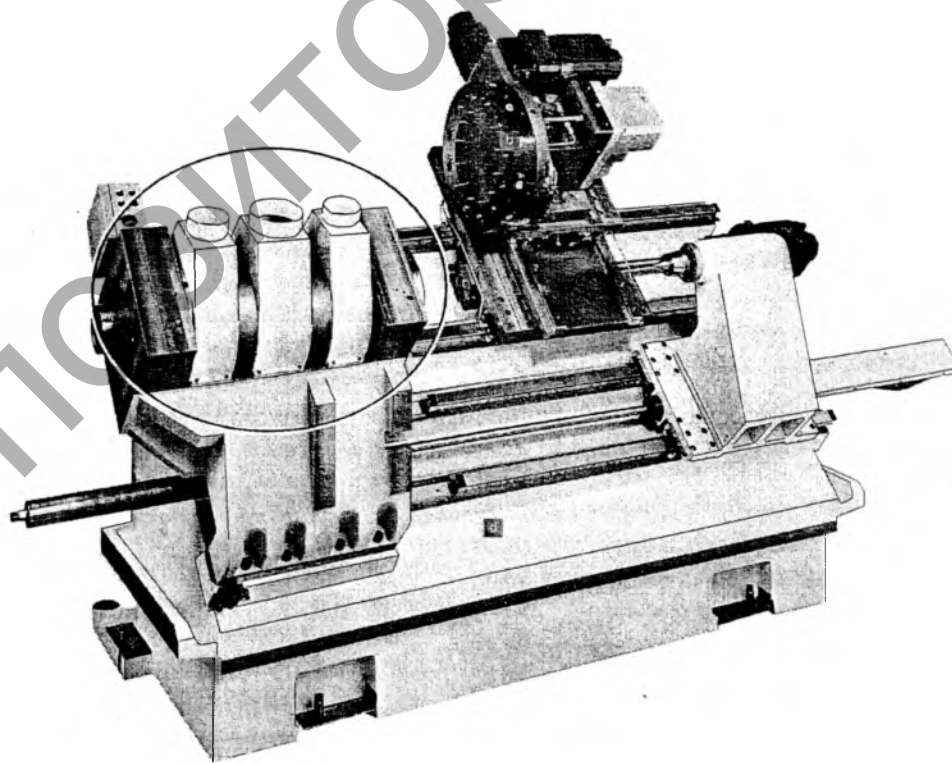


Рисунок 2 — Система вентиляции шпиндельного узла станка фирмы DMG

В качестве приводных двигателей в станках с ЧПУ обычно применяются регулируемые двигатели постоянного и переменного тока. Последние проще по конструкции и обладают большей надежностью ввиду отсутствия щеточных узлов (особенно в области высоких частот вращения, которые требуются для главного движения). Диапазон регулирования двигателя с постоянной мощностью (Кд)р ограничен величиной 3...5 (в последних моделях двигателей — 6...8), что требует, как правило, применения в приводе главного движения механических устройств (коробок скоростей) с числом ступеней скорости от двух до четырех.

Предпочтение отдается варианту «мотор-шпиндель», обеспечивающему большую мощность. Однако еще у значительной доли станков движение от электродвигателя на шпиндель передается с помощью поликлинового или зубчатого ремня. Сам шпиндельный узел стал сменным. Частота вращения шпинделя за счет появления лучших инструментальных материалов сейчас составляет для станков с патроном диаметром 250 мм около 10 000 мин<sup>-1</sup> и выше при мощности, достигающей до 43 кВт.

В конструкции токарных станков вместо зубчатых кинематических цепей в приводах подач применены безззорные шариковые винтовые пары с высокомоментными регулируемыми электродвигателями, что обеспечивает точное перемещение суппортов. При этом не только значительно уменьшаются силы трения, но и снижается износ сопряжений.

Существенную долю выпускаемых станков (около трети) составляют токарные станки с ЧПУ с вертикальным расположением шпинделя или двух шпинделей. Общей практикой стала замена задней бабки на контршпиндель с характеристиками, равными или близкими основному шпинделю. Время, нужное для передачи заготовки из одного шпинделя в другой, занимает около 10 с и выполняется или за счет «наезда» контршпинделя, или с помощью манипулятора (станок INTEGREX 200-IIIST фирмы MAZAK, Япония).

У токарных станков инструмент устанавливается в револьверной головке на 12, реже 10 (8) позиций. Возможен вариант исполнения револьверной головки на 24 инструмента.

Размер сечения резца, установленного в револьверной головке, колеблется от 20 до 32 мм, а диаметр осевого инструмента — от 32 до 50. Приводными являются, как правило, все позиции револьверной головки 12; 24 или 18 позиций при их общем числе 24.

Время смены соседних инструментов — от 0,15 до 1 с, хотя еще не редкость смена инструмента за 4 с. Больше четверти всех станков с ЧПУ имеют 2; 3 и даже 4 револьверные головки, которые могут работать одновременно.

Как правило, станки оборудуются системами измерения как заготовки и детали, так и инструмента, что освобождает от необходимости точных измерений до начала обработки.

Положение направляющих станины в пространстве традиционно наклонное. Большинство современных станков средних размеров с ЧПУ имеют оригинальную компоновку, позволяющую: повысить их жесткость; улучшить защиту направляющих и винтовых передач; обеспечить свободный отвод стружки и удаление ее из рабочей зоны; применять загрузочные устройства любых типов; обеспечить свободный доступ к инструменту и приспособлениям; повысить безопасность работы. Компании информируют своих клиентов о расчете прочности станин методом конечных элементов.

Таким образом, можно утверждать, что выбор оптимальных конструкций токарных станков с ЧПУ еще не завершился, но за прошедшие полвека уже определились основные направления ее совершенствования, что подтверждается материалами использованных источников [1—4].

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вертикальные токарные станки [Электронный ресурс]. — 2009. — Режим доступа: <http://www.emag.com>. — Дата доступа: 15.11.2009. — Загл. с экрана.
2. Комплексные технологии и оборудование для построения умного производства на машиностроительных предприятиях [Электронный ресурс]. — 2009. — Режим доступа: <http://www.solver.ru/products/cadprod/proe/pro-concept.asp>. — Дата доступа: 17.11.2009. — Загл. с экрана.
3. Токарные станки с ЧПУ [Электронный ресурс]. — 2010. — Режим доступа: <http://www.knuth.de/produkt,22721.html>. — Дата доступа: 07.01.2010. — Загл. с экрана.
4. SPINNER. Lieferprogramm. Model-Range 09/2010 [Электронный ресурс]. — 2010. — Режим доступа: [http://www.spinner-wzm.de/cms/pdf-kataloge/en\\_gesamt.pdf](http://www.spinner-wzm.de/cms/pdf-kataloge/en_gesamt.pdf). — Дата доступа: 16.12.2010. — Загл. с экрана.

Люди перестают мыслить, когда перестают читать.

Д. Дидро