

## ПОСТРОЕНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЧПУ для многокоординатных ТОКАРНО-ФРЕЗЕРНЫХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

Р.А. Нежметдинов, Р.Л. Пушков, С.В. Евстафиева,  
Л.И. Мартинова (ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН»)

Приведен анализ токарно-фрезерных обрабатывающих центров различной компоновки, выявлены преимущества и недостатки каждой. Рассмотрена кинематическая схема обрабатывающего центра наклонной компоновки, позволившая определить ключевые требования к системе ЧПУ. Предложен вариант построения специализированной системы ЧПУ для многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центров на основе базовой управляющей платформы «АксиОМА Контрол». Приведен пример использования разработанного измерительного цикла<sup>1</sup>.

Ключевые слова: : обрабатывающий центр наклонной компоновки, система ЧПУ, сетевая архитектура, протокол EtherCAT.

### Введение

Ведущие мировые станкостроительные компании активно продвигают на рынок токарно-фрезерные обрабатывающие центры (ОЦ) для обработки сложных деталей, позволяющие выполнять на одном оборудовании комплексные технологические операции с множеством технологических переходов за один установ, обеспечивающие более высокую точность деталей и сокращение времени выпуска изделий [1].

Преимущество токарно-фрезерных ОЦ по сравнению с обычными токарными станками обеспечивается оснащением их высокоскоростными фрезерными шпинделями. В результате потребитель получает возможность осуществлять обработку деталей, имеющих сложную геометрию. Обеспечивается высокая точность готовых деталей, сокращается число необходимого оборудования и временные затраты на настройку технологической системы и выполнение вспомогательных переходов, что позволяет увеличить коэффициент загрузки оборудования и освободить производственные площади.

С учетом компоновки и расположения направляющих подачи выделяют следующие типы ОЦ: наклонной компоновки (используется для подавляющего большинства современных решений), вертикальной компоновки (используется для станков, на которых в процессе обработки возникают невысокие нагрузки) и горизонтальной компоновки (используется для классических станков и для станков, предназначенных для обработки массивных заготовок).

При проектировании специализированных систем ЧПУ для станков наклонной компоновки необходимо учитывать не только преимущества, но и недостатки компоновки. Преимущества заключаются в увеличении диаметра обрабатываемой детали при том же габарите станка, более жесткой системе СПИД (станок-приспособление-инструмент-деталь) за счет особых конструктивных решений для направляющих [2], простоте удаления стружки и повышении защищенности направляющих станка от попадания стружки

и мусора, увеличении времени наработки до текущего и капитального ремонта. Наклонная компоновка обеспечивает плотное прилегание к направляющим движущихся частей рабочих органов, большее удобство при нарезании конусной резьбы (на резец всегда давит масса инструментальной головки и суппорта). Кроме того, она облегчает монтаж, юстировку и демонтаж оснастки и инструмента. К недостаткам относятся необходимость гидроразгрузки направляющих станка и обязательное наличие муфты-тормоза на двигателе.

Рассмотрим ключевые параметры ведущих зарубежных аналогов станков наклонной компоновки. Токарно-фрезерный обрабатывающий центр NT3100 DCG (фирма Mori Seiki) имеет вертикальную станину, что позволяет обеспечить недоступные ранее величины ходов фрезерной головки по осям X, Y и существенно расширяет возможности фрезерной обработки. В приводах реализована технология Drive at the Center of Gravity и компоновка подвижных элементов Box-in-Box, что обеспечивает высокую жесткость и точность станка и, следовательно, также высокую скорость и чистоту обработки. Специально разработанная фирмой Mori Seiki восьмиугольная конструкция направляющих для фрезерной головки исключает влияние термических деформаций на точность ее позиционирования (таблица).

Многофункциональный токарно-фрезерный ЦО Super NTJX (фирма Nakamura-Tome, Япония) комплектуется двумя шпинделями, револьверной головкой и фрезерным шпинделем с автоматической сменой инструмента. Возможность одновременной обработки двух деталей (в шпинделе и в противощпинделе) с использованием револьверной головки и фрезерного шпинделя обеспечивает сокращение циклов обработки (таблица).

Использование базовой управляющей платформы «АксиОМА Контрол», разработанной в Государственном инжиниринговом центре МГТУ «СТАНКИН», позволило обеспечить требования, предъявляемые к специализированным системам ЧПУ для много-

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы государственной поддержки ведущих научных школ: НШ-3890.2014.9, гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых кандидатов наук МК-43.2013.8 и при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности..



Таблица. Сравнение характеристик обрабатывающих центров различной компоновки

	<b>NT3100 DCG</b> (фирма Mori Seiki)	<b>Super NTJX</b> (фирма Nakamura-Tome)	<b>НАКЛОН 535</b> (ОАО «Саста» / МПТУ «СТАНКИН»)
Тип компоновки	вертикальная	наклонная	наклонная
Число revolverных головок, ед.	1	1	2
Число шпинделей, ед.	1-2	2	2
Макс. диаметр обработки, мм	210...600	245	380
Макс. длина обработки, мм	517	1090	1000
Чи ло инструментов, ед.	12	24	12 x 2
Мощность главного привода, кВт	7,5	15	30
Мощность протившпинделя, кВт	7,5	15	30
Переделы частот вращения главного привода, об./мин	0...6000	0...6000	0...4000
Масса станка, кг	12000-16300	14 000	10 000
Габаритные размеры, мм	4200 x 3000 x 2740	4718 x 2922 x 2445	6065 x 2160 x 2320
Модель системы ЧПУ	Mori Seiki MAPP5 IV	Fanuc 31i-A	АксиОМА Контрол
Фрезерный шпindelь, об./мин	6 000 (опция – 12 тыс.)	8 000 (опция – 12 тыс.)	7 000

координатных токарно-фрезерных ОЦ [3]. В ходе выполнения проекта по построению многофункционального ОЦ наклонной компоновки была создана специализированная система управления, испытание ее функциональных характеристик подтвердило ее соответствие мировым аналогам. На этапе проектирования в систему ЧПУ были заложены новаторские решения, которые станкостроитель может превратить в конкурентные преимущества своего продукта.

#### Анализ кинематической схемы обрабатывающего центра

Анализа кинематической схемы станка позволяет определить число каналов управления и одновременно интерполируемых осей, закрепить оси за каналом управления, оптимальные схемы и особенности технологических возможностей по обработке деталей на проектируемом оборудовании [4].

Токарно-фрезерные ОЦ наклонной компоновки оснащены продольными (X1, X2) и поперечными (Z1, Z2) осями верхнего и нижнего суппортов, основным шпинделем и протившпинделем (с возможностью продольного перемещения — ось Z) для обеспечения параллельной обработки. При этом две детали, закрепленные в шпинделе и протившпинделе соответственно, одновременно обрабатываются инструментами, установленными в нижнем суппорте и фрезерном шпинделе.

Оба шпинделя, установленные на токарно-фрезерном центре, являются интерполируемыми, что позволяет устанавливать в них не только фрезерные, но и токарные инструменты. Схема одновременной обработки двумя инструментами деталей типа тел вращения как с одной

стороны, так и с обеих сторон увеличивает производительность оборудования и срок эксплуатации режущих инструментов за счет компенсации радиальных составляющих сил резания.

Кинематическая схема обрабатывающих центров наклонной компоновки требует от системы ЧПУ реализации двухканального управления (рис. 1). Первый канал управляет верхним суппортом (оси X1 и Y1), продольной осью Z1 и шпиндельным узлом W. За вторым каналом управления закреплены: нижний суппорт (оси X2 и Z2), продольная ось Z и протившпиндель W1.

В системе ЧПУ «АксиОМА Контрол» настройка режима работы с несколькими каналами осуществляется в машинных параметрах, где определяется число доступных каналов управления и оси закрепляются за конкретным каналом.

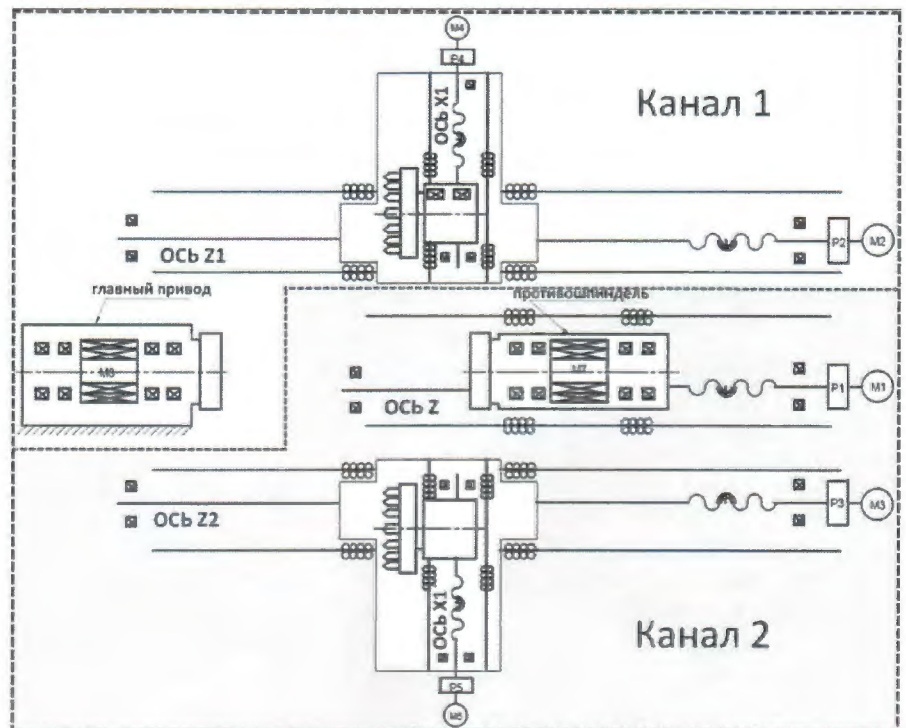


Рис. 1. Кинематическая схема обрабатывающего центра наклонной компоновки





Рис. 2. Экран терминала оператора системы ЧПУ «АксиОМА Контроль» в двухканальном режиме работы

### Формирование специализированной системы управления

Компоновка специализированной системы ЧПУ на базе управляющей платформы предполагает решение задач управления многоканальностью, параллельной многоинструментальной обработкой, добавления специальных технологий и управления вспомогательного технологического оборудования [5, 6].

Реализация многоканальности обеспечивает параллельное выполнение нескольких управляющих программ в одной системе ЧПУ [7]. Первый канал управляет верхним суппортом (оси X1, Y1), продольной осью Z1 и шпиндельным узлом W. За вторым каналом управления закреплены: нижний суппорт (оси X2 и Z2), продольная ось Z и противощиндель W1. Настройки режима работы с несколькими каналами в системе ЧПУ предусматривает дополнительные поля в машинных параметрах, отображающих общие характеристики для всех осей канала.

В системе ЧПУ «АксиОМА Контроль» предусмотрен экран работы с двумя каналами управления, который отображает информацию о текущих координатах осей, скоростях шпинделей, G-и M-векторы и выбранную программу на каждом из каналов (рис. 2). Активный канал привязывает к себе станочную панель, функциональные и машинные клавиши для запуска, останова и редактирования управляющей программы. Каналы могут находиться в разных режимах работы.

Реализован набор специализированных функций для управляющих программ на языке высокого уров-

ня, обеспечивающих работы в многоканальном режиме через главную управляющую программу [8]: *channel\_load()* — загрузка управляющей программы на канале; *channel\_run()* — загрузка и запуск управляющей программы на канале; *channel\_start()* — запуск/возобновление работы управляющей программы на канале; *channel\_stop()* — останов управляющей программы на канале; *channel\_reset()* — сброс канала; *channel\_wait()* — ожидание конца выполнения управляющих программ на разных каналах.

Добавление многошпиндельной обработки обеспечено наличием привода главного движения, противощинделя

и фрезерного шпинделя на инструментальной головке, что позволяет обрабатывать изделия одновременно несколькими инструментами. Реализация многошпиндельной обработки в системе ЧПУ предполагает создание механизма выявления коллизий в управляющих программах при одновременной обработке двумя шпинделями и дополнительной M-функции для передачи детали между шпинделем и противощинделем.

Реализация набора токарных, фрезерных, сверлильных и измерительных циклов. Станочные циклы реализованы в виде параметризованных G-функций (токарные — G281–289, сверления — G81–89, фрезерные — G181–189, измерительные — G581–585), допускающих расширение со стороны станкостроителей. Использование циклов упрощает написание управляющей программы за счет применения встроенных в систему ЧПУ циклов точения, обработки и формирования отверстий, резьбонарезания, а также измерения параметров инструмента или обрабатываемой заготовки.

Добавление вспомогательных M-функций. Обрабатываемые центры содержат большой объем средств технологического оснащения: револьверные головки верхнего и нижнего суппортов, зажимные патроны, система охлаждения инструмента и станка, станция охлаждения и гидростанция, транспортер стружки, защитное ограждение, система подачи воздуха, инструментальный магазин и система автоматической смены инструмента и др. Управление перечисленным набором технологического оборудования требует реализации ряда вспомогательных M-функций, в част-



ности, для: включения/выключения транспортера стружки (M50, M51), зажима/разжима патрона (M21, M22), открытия/закрытия защитного ограждения (M54, M55), управление перехватом детали противощинделем (M75) и др.

#### Практические аспекты применения разработанного измерительного цикла

В качестве примера рассмотрим применение измерительного цикла G124 — измерение параметров инструмента [9]. Обмеряемый инструмент устанавливается в шпиндель. Т-образный щуп для обмера режущего инструмента обычно закрепляется на рабочем столе.

Последовательность проведения измерений, реализуется следующим алгоритмом:

- производится движение инструмента (по линейной интерполяции) в направлении к измерительному датчику до касания на небольшой подаче, определенной в машинных параметрах;
- при касании инструментом датчика производится останов и запись текущих координат исполнительного органа в специальные переменные системы ЧПУ.

Разработанный в системе ЧПУ «АксиОМА Контроль» измерительный цикл в качестве входных параметров использует координаты X и Z щупа (из машинных параметров), коррекцию на размер инструмента по осям X и Z, значение ширины по оси Z для кубического измерительного наконечника. Выходные параметры цикла определяют положение граней кубического наконечника по осям X+, X-, Z+, Z- и коды результатов выполнения цикла (0 — циклы выполнены успешно, 1 — недопустимый номер инструмента, 2 — смещение диаметра режущего инструмента, 3 — непредвиденное касание оси X, 4 — непредвиденное касание оси Z).

Пример использования цикла G124 приведен на рис. 3.

```
N10 G90
N20 G00 X0 Y0 Z0
long startIndexOfInput = 10;
long startIndexOfOutput = 20;
$DPerm[10] = 30;
$DPerm[11] = 30;
$DPerm[12] = 0; // значение
коррекции на инструмент по X
$DPerm[13] = 0; // значение
коррекции на инструмент по Z
$DPerm[14] = 9.97;
long errorCode = CycleG124(50, 0,
5, 1, 1, 0, 25, 0, 0, 0, 0,
startIndexOfInput, startIndexOfOutput);
// необходимо проанализировать
значение ошибки errorCode и принять
решение
if (errorCode != 0)
{
MSG ("Ошибка при выполнении
измерений")
}
N40 M30
```

Рис. 3

платформы "АксиОМА Контроль" специализированной системы ЧПУ для токарно-фрезерных обрабатывающих центров подразумевает расширение набора станочных циклов и M-команд, разработку управляющих программ электроавтоматики и экранов интерфейса оператора с учетом специфических особенностей разрабатываемого оборудования.

#### Список литературы

1. *Мартинов Г. М., Мартинова Л. И.* Анализ систем ЧПУ, представленных на Международной выставке «Металлообработка-Технофорум-2009», их новизна и особенности // Автоматизация в промышленности. 2009. №12. С. 59-65.
2. *Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.* Программирование систем числового программного управления: Учеб. пособие. М. Логос, 2008. 344 с. + компакт-диск. ISBN 978-5-98704-296-8.
3. *Мартинов Г. М., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Григорьев А. С., Обухов А. И., Мартинова Л. И.* Метод декомпозиции и синтеза современных систем с ЧПУ//Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 9-15.
4. *Мартинов Г. М., Мартинова Л. И., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Пушков Р. Л.* Принципы построения распределенной системы ЧПУ технологическими машинами с использованием открытой модульной архитектуры//Справочник. Инженерный журнал. 2011. № 12.
5. *Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Соколов С. В.* Способ построения инструментария систем мониторинга и настройки параметров мехатронного технологического оборудования на основе специализированных программных средств. Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 7. С. 45-50.
6. *Grigoriev S., Martinov G.* Scalable open cross-platform kernel of PCNC system for multi-axis machine tool // 5th CIRP Conference on High Performance Cutting 2012, Procedia CIRP 1 (2012). pp. 255-260.
7. *Martinov G.M., Martinova L.I.* Trends in the numerical control of machine-tool systems // Russian Engineering Research. 2010. Т.30. №10. pp. 1041-1045.
8. *Martinova L.I., Pushkov R.L., Kozak N.V., Trofimov E.S.* Solution to the problems of axle synchronization and exact positioning in a numerical control system // Automation and Remote Control. January 2014, Volume 75, Issue 1, pp. 129-138.
9. *Martinov G. M., Grigor'ev A. S.* Diagnostics of cutting tools and prediction of their life in numerically controlled systems//Russian Engineering Research. 2013. Т. 33. № 7. С. 433-437.
10. *Григорьев С.Н., Мартинова Л.И.* Подход к построению информационно-вычислительных сред виртуальных производственных корпораций // Межотраслевая информационная служба. 2012. № 4. С. 31-37.

*Нежметдинов Рамиль Амирович — канд. техн. наук, доцент,  
Пушков Роман Львович — ст. преподаватель,*

*Евстафиева Светлана Владимировна — ст. преподаватель,*

*Мартинова Лилия Ивановна — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН».*

*Контактный телефон: 8 (499) 972-94-40.*

*E-mail: e-mail@ncsystems.ru*