

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол»: перспективы развития в поле мировых трендов

CNC system «AxiOMA Control»: opportunities and prospects in the field of global trends

Выявлены основные тенденции и актуальные направления развития систем ЧПУ уровня «Hi-End» мировых производителей. Проанализированы: архитектурные решения, использование высокопроизводительных полевых шин, многокагальной и многоосевой обработки, сплайн-интерполяции при обработке сложных контуров и поверхностей свободных формы, 5-координатной обработки с 3D-коррекцией на радиус и длину инструмента и др. Исследованы возможности и определены перспективы развития отечественной системы ЧПУ «АксиОМА Контрол».

The main trends and current directions of the development of «Hi-End» level CNC systems of world manufacturers are identified. Analyzed: architectural solutions, the use of high-performance fieldbuses, multi-channel and multi-axis machining, spline-interpolation in the processing of complex contours and free-form surfaces, 5-axis machining with 3D correction for the cutting tool radius and length, etc. Opportunities are investigated and defined the development prospects of Russian NC system «AxiOMA Control».

Ключевые слова: система ЧПУ, ProfiNet, Sercos, EtherCat, канал управления, сплайн-интерполяция, 5-координатная обработка.

Keywords: CNC system, ProfiNet, Sercos, EtherCat, control channel, spline-interpolation, 5-axis machining.

Введение

Несмотря на большое число производителей систем ЧПУ в мире, в секторе систем ЧПУ уровня Hi-End работают лишь единицы [1]. Стоит заметить, что объем продаж систем ЧПУ еще не характеризует их уровень. Первую тройку производителей формируют фирмы Fanuc, Siemens и Heidenhain. Но здесь следует обратить внимание и на систему ЧПУ MTXadvanced фирмы Bosch Rexroth, которая по ряду ключевых параметров существенно обгоняет флагманские системы производителей первой тройки [2].

На российском рынке систем ЧПУ сложилась непростая ситуация. В 90-х годах производство отечественных систем ЧПУ практически сошло на нет. Сложившийся с начала 2000-х годов рынок систем ЧПУ можно условно разделить на два сегмента: а) системы с устаревшими программно-аппаратными решениями, которые без кардинальных изменений в архитектуре развивать бессмысленно; б) системы с импортным закрытым ядром на базе контроллеров движения, развитие которых у отечественных производителей не возможно [3].

В последние 7—8 лет с государственной поддержкой были выполнены проекты несколько новых отечественных систем ЧПУ, среди которых — «АксиОМА Контрол», разрабатываемая на кафедре компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН» [4].

Основная часть

С точки зрения поставок за рубеж проведем сравнительный анализ системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» в поле мировых трендов.

Управление следящими приводами. Системы ЧПУ Fanuc [5] и Heidenhain [6] управляют следящими приводами напрямую, вплоть до широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Системы ЧПУ Siemens Bosch Rexroth управляют приводами по полевым шинам ProfiNet [7] и Sercos [2] соответственно. Часто потребители задают вопрос: что же лучше? Такая постановка не совсем корректна, поскольку управление полевой шиной в конечном итоге выходит на управление ШИМ. Выбор того или иного подхода определяется направленностью производителей систем автоматизации. Fanuc и Heidenhain сфокусированы на производстве систем ЧПУ и применяют прямое управление, а Siemens и Bosch Rexroth ори-

ентированы на производство широкой номенклатуры изделий промышленной автоматизации и отдают предпочтение полевым шинам.

Полевые шины обеспечивают совместимость между компонентами систем управления и дают возможность использования приводов сторонних производителей. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» ориентирована на использование высокопроизводительных полевых шин Sercosi EtherCat, имеющих открытые протоколы [8].

Реализация многоканальной и многоосевой обработки. Это — один из факторов, определяющих принадлежность систем ЧПУ к уровню «Hi-End». Системы ЧПУ «FANUC» серии 30i/31i/32i-MODEL В осуществляют одновременное управление 15-ю каналами, 96-ю осями (координатами) и 24-я шпинделями.

Флагманская система фирмы SIEMENS — модель SINUMERIK 840D/Disl (Solution Line) управляет 93 осями (в том числе и шпинделями) на 30 каналах. Система ЧПУ iTNC-530 фирмы HEIDENHAIN позволяет одновременно управлять 18 осями и 2 шпинделями.

Лидером на сегодня является система ЧПУ MTX Advanced фирмы BOSCH REXROTH, которая способна управлять на 60 каналах 250 электрическими и гидравлическими осями и 60 шпинделями с тактом 0,25 мс.

Система ЧПУ модели CNC 8070 испанской фирмы FAGOR управляет 28 осями и 4 шпинделями на 4 каналах управления. Система ЧПУ модели M800 японской фирмы MITSUBISHI управляет 32 осями и 4 шпинделями на 4 каналах.

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» реализует 8 каналов управления, до 32 одновременно интерполируемых осей и до 4 шпинделей на канал управления. Эти ограничения программные — значения могут быть увеличены, если это позволят вычислительные возможности платформы.

Архитектура. Все системы ЧПУ уровня «Hi-End» относятся к классу PCNC (Personal Computer Numerical Control), что (по закону Мура) обеспечивает удваивание производительности процессора каждые 1,5–2 года. Большинство из этих систем построены по архитектуре PCNC-2 [5], т.е. двухкомпьютерной архитектуре, где на одном компьютере работает ядро реального времени, а на втором — терминал оператора.

Есть и исключения, например Fagor CNC 8070, где реализуется архитектура PCNC-4, т.е. на одном и том же компьютере работают ядро реального времени и терминал оператора. Некоторые производители используют CISC процессоры типа x86, другие используют RISC процессоры типа PowerPC, но решение не принципиальное и определяется больше ценовой политикой.

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» имеет кроссплатформенное решение, может быть портирована как на архитектуру PCNC-2 (двухкомпьютерная система, штатная поставка), так и на архитектуру PCNC-4 (однокомпьютерная система).

Электронная гитара. Любая система ЧПУ уровня Hi-End обеспечивает управление подчиненными осями по схеме ведущий — ведомый (master-slave), например, для реализации портальной кинематики (gantry). Функциональность «электронная гитара» привязывает ведомые оси к ведущей через некоторое передаточное отношение.

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» реализует обе функциональности — датчики и «электронную гитару».

Слайн-интерполяция. Сложные контуры и поверхности свободной формы, например при обработке пресс-форм, больше не обрабатывают с применением исключительно линейно-кусочной интерполяции. Их накрывают сплайнами, имеющими непрерывную вторую производную, и обрабатывают с применением сплайн-интерполяции, заложенной в систему ЧПУ. Это позволяет избежать динамических ударов на стыке кадров, в 4–5 раз уменьшить размер управляющей программы и увеличить контурную подачу за счет гладкости контура, без потери требуемой точности. Наиболее полный набор алгоритмов сплайновой интерполяции реализует Siemens.

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» по аналогии с Siemens реализует Акима сплайн (ASPLINE), кубический сплайн (CSPLINE) и NURBS (BSPLINE) [9].

Многотерминальное управление. Большие станки с рабочим пространством в несколько метров используют несколько терминалов для управления процессом обработки. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» по умолчанию позволяет подключать к одному ядру до восьми терминалов в виде клиентов [10]. Ограничение программное может быть увеличено, если мощность вычислительной платформы это позволяет.

Программирование ориентации инструмента в обобщенных координатах (не зависящих от набора осей станка) позволяет переносить без изменения управляющую программу с одного станка на другой вне зависимости от их кинематической схемы (глобусный стол, поворотная головка или комбинированная схема).

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» реализует функциональное программирование в обобщенных координатах, используя базовый набор наиболее распространенных форматов (углы Эйлера или компоненты вектора ориентации инструмента).

Многокоординатная обработка. Функции 5-координатной обработки, которые декларируют отечественные производители систем ЧПУ весьма условны. Как правило, используется CAD/CAM система,

которая заранее раскладывает движение по всем осям, тогда система управления осуществляет только интерполяцию движения осей.

С такой задачей обычно справляется простой контроллер движения (motioncontrol) [11]. Но на практике это приводит к ухудшению динамики движения, локальному нарушению заданных режимов резания, чрезмерно большому объему управляющей программы.

Замена инструмента, как и переход на станок с другой кинематикой или учет износа инструмента требуют регенерации управляющей программы. Любая коррекция в процессе обработки требует регенерации управляющей программы, в реальном производстве этим заниматься не будут.

К многокоординатной обработке относятся обработка по схеме 3+2 (оси) и 5-координатная обработка с компенсацией смещения конца инструмента, при изменении его ориентации (TRAORI). Обработку 3+2 рекомендуется по возможности предпочитать 5-координатной обработке, так как она обеспечивает большую жесткость системы СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь) при прочих равных показателях (масса станка и проч.).

Сначала происходит установка положения по поворотным осям и их фиксация, потом идет обработка по 3-м осям в декартовых координатах, затем цикл повторяется. При «настоящей» 5-координатной обработке происходит одновременная интерполяция по пяти координатам с компенсацией смещения конца инструмента при изменении его ориентации относительно детали, однако жесткость системы СПИД при этом существенно ниже.

5-координатная интерполяция учитывает такие параметры, как текущий кинематически независи-

мый вектор ориентации инструмента, 3D-коррекцию на радиус и длину инструмента, текущий способ интерполяции движения при смене ориентации инструмента (ORIXES, ORIVECT).

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» реализует описанные функциональности 3+2 и 5-координатной обработки [12].

Перспективы развития системы ЧПУ. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол», это программно-аппаратная разработка кафедры компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН». Проект начинался с «чистого листа» и не обременен исторически тянущимися решениями, которые было бы жалко «терять». Панели управления созданы на основе отечественной платы на базе процессора фирмы Acorn RISC Machine, так называемого АРМ-процессора, и пленочной клавиатуры, производимых в России. Корпуса, переходные платы и соединительные кабели изготавливаются на технологическом полигоне МГТУ «СТАНКИН». Монитор, компьютер и ПК клавиатура, являются покупными изделиями.

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» в зависимости от решаемой задачи и пожеланий заказчика может комплектоваться приводами и пассивными модулями входа/выхода с шинным соединителем (buscoupler) следующих производителей:

- немецкой фирмы BOSCH REXROTH по протоколу Sercos;
- компании СТАНКИН ТПО (выпускаемые по лицензии венгерской фирмы NCT) по протоколу EtherCAT;
- японской фирмы YASKAWA по протоколу EtherCAT.

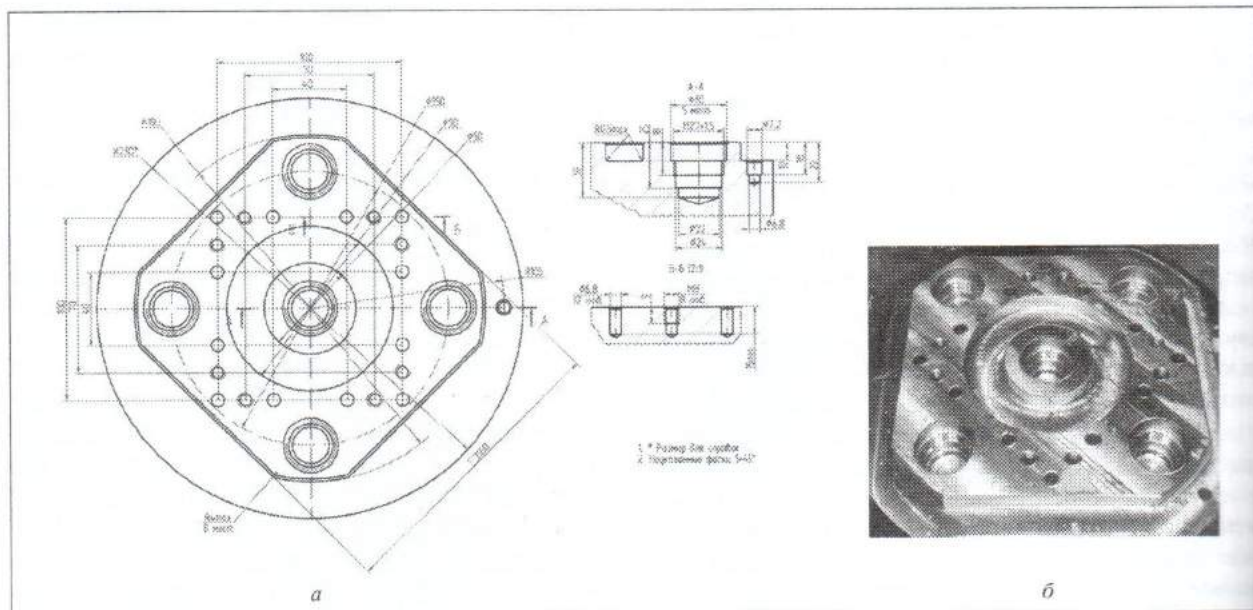


Рис. 1. Чертеж (а) и внешний вид (б) тестовой детали

Таблица 1. Результаты измерения тестовой детали

№	Тип отклонения	Номинальный размер, мм	Допустимое отклонение, мкм	Результат измерения, мм
1	Отклонение от окружности	∅ 150	± 10	150,006
2		∅ 90	± 12	90,011
3		∅ 30	± 10	30,010
4		∅ 27	± 10	27,009
5		∅ 8	± 10	8,006
6	Линейный размер между центрами отверстий	40 (ось X)	± 9	39,995—40,007
7		100 (ось X)	± 12	99,991—100,008
8		40 (ось Y)	± 9	39,993—40,002
9		100 (ось Y)	± 12	99,994—100,003
10	Шаг резьбы	1,5	± 7	1,498—1,505
11		1,25	± 5	1,248—1,252

Возможности системы. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» реализует технологические функции токарной, фрезерной, шлифовальной, лазерной обработки, растачивание, нарезания резьбы резцом и метчиком и др. [13].

Проверка работоспособности опытного образца фрезерного обрабатывающего центра Quaser MV184P [14] с системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» осуществлялась посредством обработки тестовой детали, содержащей все основные технологические переходы (см. рис. 1).

Проверка соответствия изготовленной детали заданным техническим требованиям выполнялась в лаборатории метрологических измерений. Анализ соответствия предстален в табл. 1.

Выводы

1. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» представляет собой отечественную управляющую платформу для синтеза на ее основе специализированных систем управления с минимально необходимым и достаточным набором функциональностей в разных ценовых диапазонах. Разработчиками платформы заложен потенциал для создания систем ЧПУ уровня Hi-End.

2. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» по ряду параметров выделяется от систем ведущих мировых разработчиков как, например «портируемость» кода, что делает ее независимой от прекращения выпуска той или иной аппаратной платформы.

3. Все решения на базе системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» апробированы на опытных образцах. Система хорошо себя зарекомендовала при быстрой реализации пилотных проектов и апробации новых технологических идей.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (№ 2.1237.2017/4.6).

Библиографический список

1. **Мартинов Г.М., Мартинова Л.И.** Современные тенденции в области числового программного управления станочными комплексами // СТИН. 2010. № 7. С. 7—10.
2. **Брюль Й., Нотнагель Й.** Система ЧПУ Indra Motion MTX // Автоматизация в промышленности 2012. № 5. С. 16—18.
3. **Григорьев С.Н., Мартинов Г.М., Чадеев В.М., Аристова Н.И.** Цифровое машиностроение: тенденции и перспективы развития // Автоматизация в промышленности. 2017. № 5. С. 3—4.
4. **Мартинов Г.М., Никишечкин П.А., Григорьев А.С., Червонова Н.Ю.** Организация взаимодействия основных компонентов в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол» для интеграции в нее новых технологий и решений // Автоматизация в промышленности. 2015. № 5. С. 10—15.
5. **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.
6. **Сладков Д.В.** Dynamic Efficiency — эффективный и надежный процесс обработки // Автоматизация в промышленности. 2015. № 5. С. 19—23.
7. **Бретшнайдер Дж.** Решения для автоматизации металлообрабатывающих станков на основе инновационной системы ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2012. № 5. С. 12—15.
8. **Martinov G.M., Lyubimov A.B., Bondarenko A.I., Sorokoumov A.E., Kovalev I.A.** An Approach to Building a Multiprotocol CNC System // Automation and Remote Control. 2015. Vol. 76. No. 1. P. 172—178.

9. **Мартинов Г.М., Мартинова Л.И.** Практические аспекты реализации сплайн-контуров в системах ЧПУ класса PCNC // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2012. № 3. С. 58–62.

10. **Martinov G.M., Kozak N.V.** Numerical control of large precision machining centers by the AxiOMA control system // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35. Is. 7. P. 534–538.

11. **Мартинов Г.М.** Тенденции развития современных систем управления технологическим оборудованием // Ремонт, восстановление, модернизация. 2010. № 1. С. 2–3.

12. **Мартинов Г.М., Обухов А.И., Пушков Р.Л., Евстафиева С.В.** Особенности реализации и специфика применения функций многокоординатной обработки в системе ЧПУ «АксиОМА Контрол» // Автоматизация в промышленности. 2017. № 5. С. 17–22.

13. **Martinov G.M., Obuhov A.I., Martinova L.I., Grigoriev A.S.** An approach to building specialized CNC systems for non-traditional processes // Procedia CIRP 2014. С. 511–516.

14. **Григорьев С.Н., Мартинов Г.М., Соколов С.В., Козак Н.В.** Разработка и применение специализированного инструментария диагностики и настройки следящих приводов в гетерогенных системах управления промышленным оборудованием // Автоматизация в промышленности. 2017. № 5. С. 29–33.

15. **Martinov G.M., Kozak N.V., Nezhmetdinov R.A., Grigoriev A.S., Obukhov A.I., Martinova L.I.** Method of decomposition and synthesis of the custom CNC systems // Automation and Remote Control. 2017. Vol. 78. Is. 3. P. 525–536.

Мартинов Георги Мартинов — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой компьютерных систем управления МГТУ «СТАНКИН».

Тел.: 8(499) 972-94-40. E-mail: g.martinov@stankin.ru

Martinov Georgi Martinov — D. Sc. in Engineering, Professor, Head of the sub-department «Computer control systems» of MSTU «STANKIN».

Тел.: +7(499) 972-94-40. E-mail: g.martinov@stankin.ru
