

Заключение

Формализация базовых понятий инструментария диагностики и настройки сервоприводов, правильно выбранная структура программного обеспечения и открытость, заложенная в архитектуру системы ЧПУ, позволяют создавать программные решения, непривязанные к конкретным производителям технологического оборудования. С помощью такого инструментария возможна настройка параметров узлов станка по отдельности, а также отладка их совместной работы. Применение инструментария для диагностики и измерений параметров движения следящих приводов в гетерогенных системах управления не исключает использования внешних инструментов для окончательной настройки параметров системы управления для станка.

Список литературы

1. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Управление и диагностика цифровых приводов станков с ЧПУ // Контроль. Диагностика. 2012. №12. С. 54-60.
2. Martinov GM, Martinova LI. Trends in the numerical control of machine-tool systems // Russian Engineering Research. 2010. №30(10). pp. 1041-1045.
3. Martinov GM, Obuhov AI, Martinova LI, Grigoriev AS. An Approach to Building Specialized CNC Systems for Non-traditional Processes // Procedia CIRP. 2014. №14. pp. 511-516.
4. Martinov GM, Lyubimov AB, Bondarenko AI, Sorokoumov AE, Kovalev IA. An Approach to Building a Multiprotocol CNC System // Automation and remote control. 2015. № 72(10). pp. 345-351.
5. Grigoriev S.N, Martinov G.M. Scalable Open Cross-Platform Kernel of PCNC System for Multi-Axis Machine Tool // Procedia CIRP. 2012. №1. pp. 238-243.
6. Grigoriev S.N, Martinov G.M. Research and Development of a Cross-platform CNC Kernel for Multi-axis Machine Tool // Procedia CIRP. 2014. № 14. pp. 517-522.
7. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И. Формирование базовой вычислительной платформы ЧПУ для построения специализированных систем управления // Вестник МГТУ "Станкин". 2014. №1(24). с. 92-97.
8. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А. Специфика построения редактора управляющих программ электроавтоматики стандарта МЭК 61131 // Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 4 (31). С. 127-132.
9. Martinov GM., Kozak NV. Numerical control of large precision machining centers by the AxiOMA control system // Russian Engineering Research. 2015. №35(7). pp. 534-538.
10. Martinov GM, Nezhmetdinov RA. Modular design of specialized numerical control systems for inclined machining centers // Russian Engineering Research. 2015. №35(5). pp. 389-393.
11. 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. 2014. №75(1). pp. 129-138.
12. Григорьев А.С. Инструментарий системы ЧПУ для диагностики и прогнозирования износа режущего инструмента в реальном времени при токарной обработке // Вестник МГТУ "Станкин". 2012. №1. С. 74-79.

Григорьев Сергей Николаевич – д-р техн. наук, ректор, **Мартинов Георгий Мартинович** – д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, **Соколов Сергей Владимирович** – канд. техн. наук, доцент, **Козак Николай Владимирович** – канд. техн. наук, доцент **ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»**.
Контактный телефон (499)972-94-40.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Л.И. Мартинова, А.В. Стась, А.С. Григорьев, М.С. Бабин (ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»)

Определены задачи автоматизированного контроля, выполняемого на станках с ЧПУ. Выявлена структура формирования размерных связей при переходе от системы координат станка к системе координат детали. Представлены математические модели и алгоритмы циклов для автоматического контроля положения заготовок на станке. Продемонстрировано использование результатов цикла в управляющей программе¹.

Ключевые слова: система ЧПУ, операционный контроль, измерительные циклы, контроль положения заготовок, геометрические параметры детали.

Обеспечение точности обработки является первоочередной задачей механообрабатывающих комплексов. Современное производство, ориентированное на использование малолюдных и безлюдных технологий, организуется на базе цифровой инфраструктуры, позволяющей в автоматическом режиме выполнять большой комплекс задач, в том числе и задачи измерений, контроля точности, а также внесения коррекций в работу технологического оборудования [1]. При обработке заготовок на станках с ЧПУ возникает ряд погрешностей, связанных с работой технологического комплекса и спецификой систем ЧПУ. В условиях автоматизиро-

ванного выполнения технологических процессов актуальным становится превентивное выявление причин формирования погрешностей обработки и принятие решений по их исключению или сокращению [2]. Оборудование с ЧПУ позволяет частично или полностью автоматизировать процесс контроля, а также сократить влияние ряда погрешностей за счет использования методов и механизмов компенсации геометрических, кинематических и других отклонений [3, 4].

Основные виды контроля, выполняемого на станках с ЧПУ (рис. 1), связаны с такими задачами, как: 1) калибровка измерительного устройства; 2) контроль

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (№ 2.1237.2017/ПЧ).

положения заготовки на станке, то есть ее системы координат в системе координат станка (или привязка «нуля» детали к «нулю» станка) или же определение отклонения положения заготовки от заданного; 3) операционный контроль точности обработки, который охватывает контроль размеров, форм и взаимного расположения поверхностей и осей.

Погрешности геометрических параметров и положения заготовки возникают в процессе ее установки, обработки и контроля. Контроль деталей на станках в процессе обработки заготовок – неотъемлемая часть технологического процесса [5, 6]. Операционный контроль заготовок и деталей на станке проводится по специальным измерительным циклам с применением измерительных датчиков и позволяет выявлять и исправлять погрешности в ходе операции путем коррекции положения заготовки или коррекции управляющей программы по обработке заготовки [7, 8].

В соответствии с задачами контроля на станке с ЧПУ производители систем ЧПУ, как и производители измерительных датчиков для оборудования с ЧПУ, разрабатывают измерительные циклы, ориентированные на контроль геометрических параметров измерительных щупов, определение и коррекцию положения заготовки, контроль параметров точности размеров и форм детали [9].

Мировые лидеры в области систем ЧПУ и систем измерений создают измерительные циклы, которые представляют собой закрытые продукты, трудно адаптируемые под решение конкретных задач, поэтому пользователи часто вынуждены разрабатывать свои измерительные циклы для каждой частной задачи.

Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» реализует расширяемый набор измерительных циклов для выполнения контрольно-измерительных операций [10]. Рас-

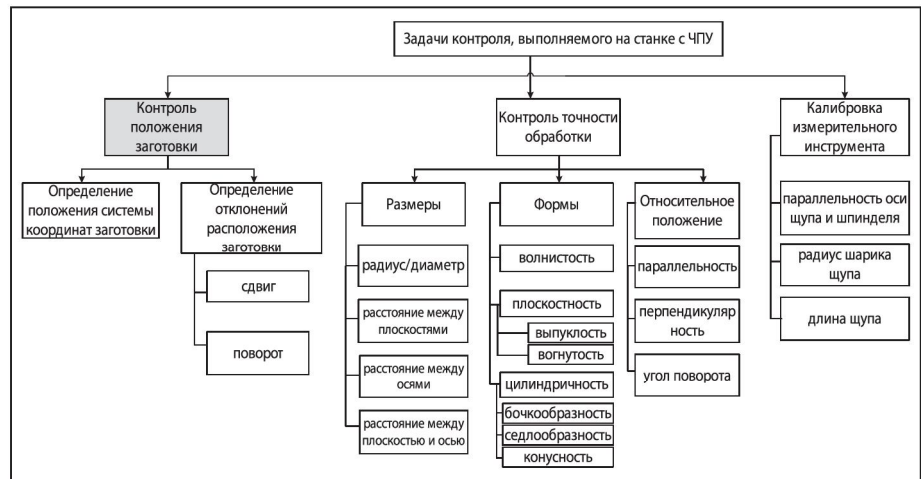


Рис. 1. Классификация задач контроля на станке с ЧПУ

смотрим укрупненные алгоритмы и математические модели, а также реализацию некоторых измерительных циклов для системы ЧПУ «АксиОМА Контрол».

Разработка математических и алгоритмических моделей для цикла контроля положения заготовки на станке

При установке и закреплении заготовки возникают погрешности, которые должны быть соответствующим образом компенсированы. Идея автоматического контроля состоит в определении фактического положения заготовки путем замера координат определенных точек заготовки при помощи измерительного щупа по специальным измерительным циклам.

Измерительный цикл контроля положения заготовки предусматривает, во-первых, определение координат набора точек, определяющих систему координат детали, и, во-вторых, вычисление отклонений положения заготовки от заданного. Для этого выполняются математические вычисления, результаты которых используются для принятия решения о потребности коррекции положения заготовки.

Коррекция положения заготовки, может выполняться виртуально или реально. Для оценки погрешности установки рассчитывается вектор погрешностей (формула 1) [7]:

$$\omega_{yz} = (x_{yz}, y_{yz}, z_{yz}, \varphi_{yz}, \theta_{yz}, \psi_{yz}), \quad (1)$$

где x_{yz}, y_{yz}, z_{yz} – параметры смещения относительно осей станка; $\varphi_{yz}, \theta_{yz}, \psi_{yz}$ – параметры поворота системы OXYZ относительно $oxyz$ (рис. 2).

Для определения вектора погрешностей замеряются координаты точек, определяющих положение системы координат заготовки (рис. 2).

Для получения более точных результатов контролируемые точки в каждой плоскости должны быть расположены с наибольшей отдаленностью друг от друга.

Вычисление составляющих вектора погрешностей установки по установочной базе выполняется по формуле 2 [7]:

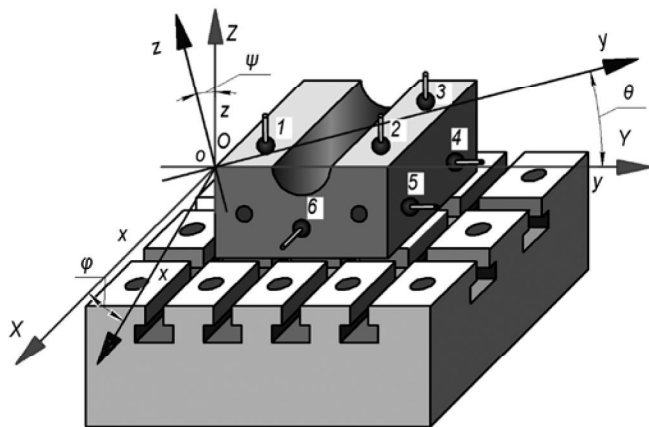


Рис. 2. Определение вектора погрешностей

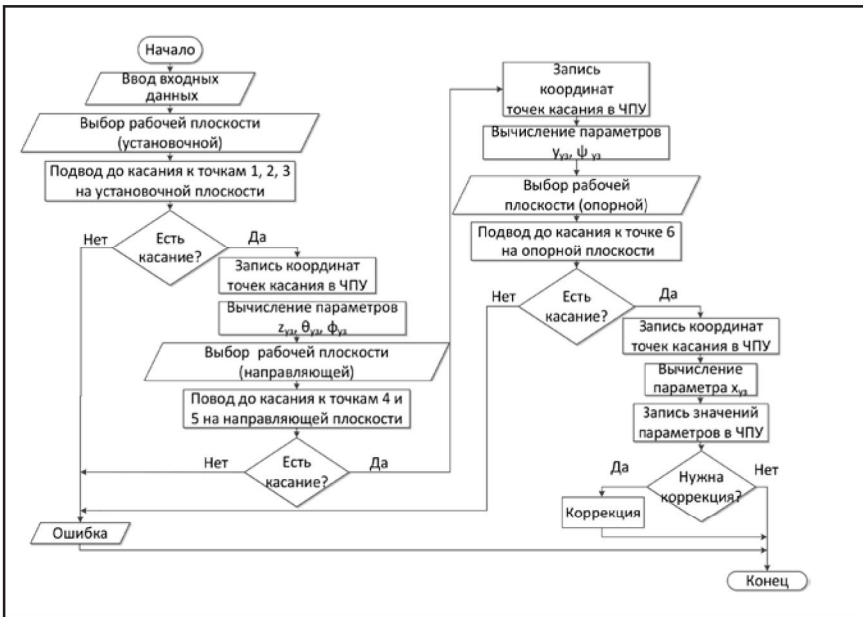


Рис. 3. Блок-схема цикла определения положения заготовки



Рис. 4. Последовательность обработки цикла определения и коррекции положения заготовки

Таблица положений системы координат детали						
P12	X мм	Y мм	Z мм	φ град	θ град	ψ град
G154	0.530	1.253	2.100	12.351	0.462	5.689

Рис. 5. Запись рассчитанных значений вектора погрешностей в память ЧПУ

$$\begin{bmatrix} z_{yz} \\ \theta_{yz} \\ \varphi_{yz} \end{bmatrix} = \frac{1}{C} \begin{bmatrix} (x_2 y_3 - x_2 y_3) & (y_1 x_3 - y_3 x_1) & (y_2 x_1 - y_1 x_2) \\ (y_3 - y_2) & (y_1 - y_3) & (y_2 - y_1) \\ (x_3 - x_2) & (x_1 - x_3) & (x_2 - x_1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta z_1 \\ \Delta z_2 \\ \Delta z_3 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где $z_{yz}, \theta_{yz}, \varphi_{yz}$ — параметры погрешностей, которые вычисляются после обмера точек 1, 2, 3 на установочной базе; $\Delta z_1 - \Delta z_3$ — величины отклонений положения заготовки относительно оси OZ, которые вычисляются после обмера точек 1, 2, 3 перпендикулярно плоскости XY; C — определитель системы, который представлен в виде:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & -x_1 \\ 1 & y_2 & -x_2 \\ 1 & y_3 & -x_3 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Составляющие вектора погрешностей установки по направляющей базе вычисляются по формуле:

$$\begin{bmatrix} y_{yz} \\ \psi_{yz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_5 & -x_4 \\ x_5 - x_4 & x_5 - x_4 \\ 1 & 1 \\ x_5 - x_4 & x_5 - x_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta y_4 \\ \Delta y_5 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где y_{yz}, ψ_{yz} — параметры погрешностей, которые вычисляются после обмера точек 4, 5 на установочной базе; X_4, X_5 — координаты контрольных точек относительно оси OX; $\Delta y_4 - \Delta y_5$ — величины отклонений положения заготовки относительно оси OY, которые вычисляются после обмера точек 4, 5 перпендикулярно плоскости XY (рис. 2).

Для расчета координат точки опорной базы используется формула:

$$x_{yz} = \Delta x_6, \quad (5)$$

где x_{yz} — параметр погрешности, который вычисляется после обмера точки 6 на опорной базе; Δx_6 — величина отклонения положения заготовки относительно оси OX, которая вычисляется после обмера точки 6 перпендикулярно плоскости YZ.

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма замера координат базовых точек.

На рис. 4 представлена последовательность обработки цикла определения и коррекции положения заготовки, а также способ коррекции смещения по осям (X, Y, Z) и поворота вокруг осей (φ, θ, ψ). Для этого используют рассчитанные значения вектора погрешностей, которые записываются в таблицу положения системы координат.

После обмера рассчитанные измерительным циклом параметры вектора погрешностей ($x_{yz}, y_{yz}, z_{yz}, \varphi_{yz}, \theta_{yz}, \psi_{yz}$) записываются в соответствующие ячейки памяти в таблице положения системы координат детали СЧПУ «АксиОМА Контроль» (рис. 5).

Далее осуществляется коррекция положения системы координат детали с помощью вызова функции G154, значения которой находятся на странице P12 таблицы положения системы координат детали (рис. 5), путем вставления кадра (G154 P12) в управляющую программу.

Заключение

Автоматический операционный контроль заготовок и деталей на станке повышает эффективность использования оборудования с ЧПУ. Программное обеспечение мировых лидеров в области ЧПУ для контрольно-измерительных операций далеко не всегда позволяет решить задачи, которые на него возла-

гаются. В рамках создания отечественной системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» разрабатывается набор измерительных циклов для решения основных задач операционного контроля.

Программный код цикла обмера вала реализован на языке высокого уровня, поддерживающем стандарт ANSI C совместно с языком ISO-7bit. Результаты замеров используются в управляющей программе обработки заготовок.

Список литературы

1. Григорьев С.Н., Кутин А.А., Долгов В.А. Принципы построения цифровых производств в машиностроении // Вестник МГТУ «Станкин». 2014. № 4 (31). С. 10-15.
2. Григорьев А.С., Мартинова Л.И., Стась А.В. Автоматизация контрольно-измерительных операций на станках, оснащенных системами ЧПУ "АксиОМА Контрол" // Автоматизация в промышленности. 2016. №5. С. 43-46.
3. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И. Формирование базовой вычислительной платформы ЧПУ для построения специализированных систем управления // Вестник МГТУ «Станкин». 2014. С. 92-97.
4. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С. Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в реальном времени // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2009. № 2. С. 121-124.
5. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Никишечкин П.А. Разработка средств визуализации и отладки управляющих программ для электроавтоматики, интегрированных в систему ЧПУ // Вестник МГТУ "Станкин", 2012. №4 (23). С. 134-138.
6. 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. V.14. 2014. pp. 511-516 (6th CIRP International Conference on High Performance Cutting, HPC-2014).
7. Баранчукова И.М., Гусев А.А., Крамаренко Ю.Б. и др. Проектирование технологии. Учебник под ред. Соломенцева Ю.М. М.: Машиностроение. 1990. С. 354-359.
8. Григорьев С.Н., Мартинова Л.И. Подход к построению системы ЧПУ как инновационного продукта-услуги // Инновации. 2015. № 8 (202). С. 8-13.
9. 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. V.78. Issue 3. pp. 525-536.
10. Martinova L.I., Kozak N.V., Nezhmetdinov R.A., Pushkov R.L., Obukhov A.I. The Russian multi-functional CNC system AxiOMA control: Practical aspects of application // Automation and Remote Control. 2015. V.76. Issue 1. pp. 179-186.

Мартинова Лилия Ивановна — канд. техн. наук, доцент, *Стась Анна Владимировна* — аспирант, *Григорьев Антон Сергеевич* — канд. техн. наук, научный сотрудник, *Бабин Михаил Сергеевич* — инженер кафедры КСУ ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН». Контактный телефон (499) 972-9440. E-mail: e-mail@ncsystems.ru

БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СТАНКОВ

Д.В. Сладков (ООО «ХАЙДЕНХАЙН»)

Тема безопасности в станках и промышленных установках с каждым днем приобретает все большее значение. В первую очередь инновации направлены на персональную защиту оператора, но не остается без внимания необходимость защиты материальных ценностей и окружающей среды. Целью функциональной безопасности является минимизация или устранение рисков, которые могут возникать как при нормальной работе промышленных установок, так и в неисправном их состоянии. Функциональная безопасность реализуется благодаря избыточности программно-аппаратных средств. Например, для получения независимых значений о положении могут быть использованы различные конфигурации системы. Одна из возможностей заключается в использовании двух датчиков на каждую ось. Однако во многих случаях, исходя из экономических соображений, требуется решение только с одним датчиком положения. Компания HEIDENHAIN представляет такое решение в виде датчика положения с функциональной безопасностью и последовательным цифровым интерфейсом.

Ключевые слова: функциональная безопасность, избыточность, датчик положения, последовательный цифровой интерфейс, система ЧПУ.

Основной принцип

Системы ЧПУ и датчики положения HEIDENHAIN с функциональной безопасностью соответствуют уровню безопасной интеграции 2 (SIL 2) по стандарту EN 61 508 и уровню производительности d по EN ISO 13 849-1 (предыдущий стандарт EN 954-1). Согласно этим нормам [1, 2], оценка безопасности системы производится, помимо прочего, по вероятности отказа встроенных деталей или частей общей системы. Этот модульный принцип облегчает производителям безопасного промышленного оборудования реализацию их системы, так как они могут использовать уже сертифицированные компо-

ненты. Эта концепция поддерживается системами ЧПУ TNC 640, TNC 620 и iTNC 530 с архитектурой Heidenhain Speed Controller Interface (HSCI), равно как и датчиками положения с функциональной безопасностью.

Безопасные системы ЧПУ

Безопасность обеспечивается в системах ЧПУ HEIDENHAIN благодаря двухканальной архитектуре. Два вычислительных устройства находятся в главном компьютере и блоке управления, в которых выполняются два независимых программных процесса. Благодаря двум процессам реализуется два канала безопасности,