

УДК 621.365.9:621.923.42

**В.В. Кальченко**, доктор техн. наук,

**В.П. Войтенко**, канд. техн. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

## **КВАЗИОПТИМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ШЛИФОВАНИЯ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ИНСТРУМЕНТА И ДЕТАЛИ**

*Сформулированы требования к электроприводам в составе комплексов для шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали. Предложена концепция использования импульсных преобразователей с адаптивным квазиоптимальным регулированием для решения задач указанных комплексов, призванная способствовать существенному повышению эффективности и качества обработки поверхности. Разработаны функциональные схемы, а также алгоритмы работы цифровых регуляторов.*

### **Введение**

Глобальная тенденция повышения качества выпускаемой продукции сопровождается ростом требований и усложнением технологии обработки деталей. В итоге трудоемкость операций, реализуемых, например, на станках, оснащенных абразивным инструментом, составляет от 30 до 60% общей трудоемкости обработки [1]. Значительным шагом на пути повышения как эффективности, так и качества обработки поверхности является реализация возможностей шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали [2]. Потенциал этой технологии не может быть раскрыт в полной мере без разработки электроприводов, удовлетворяющих ряду специфических требований по точности, быстродействию и стабильности работы как в условиях изменения характера нагрузки, так и присутствия внешних возмущений.

Известно большое количество работ по проблематике станочного электропривода [3, 4], что, само по себе, свидетельствует, как о нерешенности многих существующих проблем, так и об имеющемся потенциале дальнейшего совершенствования. Например, в последние годы отчетливо просматривается тенденция развития принципов прямого цифрового управления со все более широким использованием так называемых «интеллектуальных» алгоритмов [5]. Элементная база и достижения в области как силовой, так и информационной электроники [6] открывают новые возможности и позволяют существенно улучшить качество переходного процесса как в режиме изменяющегося задания на регулирование, так и в условиях различных дестабилизирующих факторов.

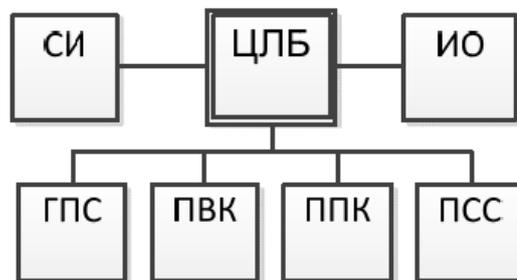
Целью данной статьи является разработка концепции использования импульсных преобразователей с квазиоптимальным регулированием в процессе шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали, что способно существенно повысить эффективность и качество обработки поверхности.

### **Формулирование требований к электроприводу процесса шлифования со скрещивающимися осями**

В [4] приведен один из многочисленных вариантов классификации, а также технические характеристики регулируемых электроприводов для станков и промышленных роботов. Технологический процесс шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали [2] выдвигает жесткие требования не только к главному приводу, но также и к приводам вращения и осевой подачи шлифовального круга. Кроме того, появляется необходимость в точном программном изменении и стабилизации угла скрещивания. Неточности позиционирования и стабилизации инструмента, помимо прямой ошибки формообразования, приводят к другим негативным проявлениям и, в итоге, – к ухуд-

шению интегральных показателей качества процесса обработки детали. Так, в [2] отмечается, что превышение глубины шлифования на 0,01 мм может привести к росту температуры детали на 25%.

Отсюда следует, что приводы станка, способного реализовать потенциал процесса шлифования со скрещивающимися осями, образуют электромеханический комплекс, представляющий собой иерархическую информационно-управляющую структуру (рисунк 1). На верхнем уровне находится центральный вычислительный блок, использующий 3D-модели формообразования [2] с целью формирования заданий интеллектуальным модулям нижнего уровня иерархии. Последние выполняют две функции: обмениваются информацией с центральным блоком и управляют приводом, отвечающим за одно из требуемых движений комплекса.



*ЦЛБ – центральный логический блок; СИ – стандартный интерфейс; ИО – интерфейс оператора; ГПС – главный привод станка; ПВК – привод вращения круга; ППК – привод подачи круга; ПСС – привод скрещивания круга.*

*Рис. 1. Иерархия информационных устройств комплекса шлифования со скрещивающимися осями*

Блок стандартного интерфейса позволяет организовать информационное взаимодействие с компьютером, удаленным постом контроля и управления и др., что существенно расширяет возможности комплекса.

Высокие требования по точности и стабильности выполнения программных движений обуславливают необходимость широкого использования цифровых технологий для построения приводов комплекса. Дополнительные преимущества такого подхода заключаются в возможности унификации ряда аппаратных блоков, а также в высокой повторяемости характеристик в серийных устройствах, упрощении пусконаладки, проверки работоспособности и обслуживания.

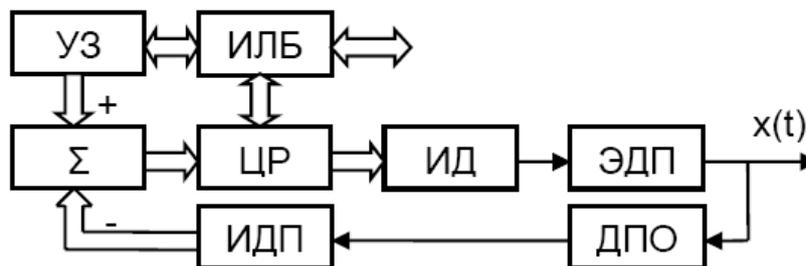
Дополнительные возможности дает применение современных микроконтроллеров в блоках нижнего уровня на рисунке 1. Во-первых, программируемая логика повышает гибкость всей системы, т.е. возможность адаптации унифицированной аппаратной части под конкретную задачу. Во-вторых, облегчается организация взаимодействия с центральным блоком. В-третьих, сама аппаратная часть устройств информационной электроники становится компактнее, и открываются возможности использования продвинутой алгоритмов прямого цифрового управления.

### **Выбор структуры и алгоритма работы привода**

На рисунке 2 показана упрощенная функциональная схема интеллектуального привода, соответствующего нижнему уровню иерархии на рисунке 1. Отличительная особенность – реализация большинства информационных функций программно-аппаратными средствами микроконтроллера.

Интерфейс с ЦЛБ обеспечивает прием команд от устройства управления верхнего уровня иерархии, а также передачу в обратном направлении диагностической информации и, при необходимости, – измеренного значения регулируемого параметра по ко-

ординате движения. В зависимости от конкретного использования такими параметрами могут быть скорость подачи, угол скрещивания и др.



*УЗ – устройство задания; ИЛБ – интерфейс с ЦЛБ; ЦР – цифровой регулятор; ИД – интерфейс с двигателем; ЭДП – электродвигатель привода;  $x(t)$  – регулируемый параметр по координате движения; ДПО – датчик параметра координаты движения; ИДП – интерфейс с датчиком параметра.*

*Рис. 2. Функциональная схема интеллектуального привода комплекса шлифования*

В устройстве задания формируется цифровой код, эквивалентный требуемому текущему значению параметра  $x(t)$ . Интерфейс с датчиком параметра оценивает цифровой эквивалент этого значения, а сумматор дает ошибку (отклонение) выходного параметра от заданного уровня.

Руководствуясь кодом ошибки, цифровой регулятор вырабатывает последовательность управляющих воздействий, формат которых определяется используемым методом управления движением. Наиболее перспективным вариантом интерфейса с двигателем можно считать применение реверсивного широтно-импульсного преобразователя. Импульсный режим работы силового вентиля обеспечивает максимальную энергоэффективность, высокую точность, быстродействие и стабильность работы устройства. При этом, если использовать резидентные широтно-импульсные модуляторы микроконтроллера, дополнительные аппаратные затраты не требуются.

Особого внимания заслуживает вопрос выбора цифрового регулятора. Несмотря на длительное использование, в промышленности наиболее популярным остается пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор. Однако к его недостаткам можно отнести чересчур искусственную методику настройки, практически не поддающуюся автоматизации. Так, коэффициенты регулирования приходится подбирать индивидуально и непосредственно на конкретном приводе. Существуют адаптивные разновидности данного алгоритма, успешно отрабатывающие возмущения по нагрузке. Тем не менее, унификация алгоритма для приводов, отвечающих за стабилизацию различных параметров движения, невозможна.

В технологическом процессе шлифования со скрещивающимися осями инструмента и детали предлагается использовать квазиоптимальное управление широтно-импульсного преобразователем [5, 6]. Важнейшим его достоинством является получение вида переходного процесса, близкого к апериодическому – т.е. без перерегулирования – за время, близкое к минимальному, что особенно актуально для удовлетворения требований по точности обработки [7]. Настройка такого регулятора может производиться в полуавтоматическом режиме по алгоритму, включающему в себя процедуру идентификации объекта управления [8].

Таким образом, становится актуальной задача проверки работоспособности совокупности работающих согласованно нескольких реверсивных широтно-импульсных преобразователей с квазиоптимальным управлением. Каждый такой преобразователь содержит свою собственную автономную замкнутую систему автоматического управления, поэтому сравнительно легко выполнить декомпозицию поставленной задачи.

Поскольку структура и алгоритм работы каждой из систем идентичны, остается произвести анализ только лишь одной из систем, выяснив для каждой, прежде всего, отличия динамических параметров.

### Выводы

1. Сформулированы основные требования к электроприводу процесса шлифования со скрещающимися осями, причем информационные устройства комплекса шлифования представлены в виде иерархической структуры, элементы которой обмениваются информацией по стандартному интерфейсу.
2. Для нижнего уровня иерархии разработана функциональная схема интеллектуального привода комплекса шлифования со скрещающимися осями, для которой предложено использовать реверсивный широтно-импульсный преобразователь с цифровым квазиоптимальным регулятором.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Миндлин Я.Б., Кашук В.А. Централизованная подготовка абразивного инструмента к работе// Станки и инструмент, 1988. – №4. – С. 23 – 27.
2. Грабченко А.И., Кальченко В.И., Кальченко В.В. Шлифование со скрещающимися осями инструмента и детали (Монография). – Чернигов: ЧДТУ, 2009. – 356 с.
3. А.М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. Учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 576 с.
4. Гибкие производственные системы, промышленные роботы, робототехнические комплексы. Практ. пособие. В 14-ти кн. Кн. 14/ О.П. Михайлов, Р.Т. Орлов, А.В. Пальцев. Современный электропривод станков с ЧПУ и промышленных роботов; Под ред. Б.И. Черпакова. – М.: Высш. шк., 1989. – 111 с.
5. Войтенко В.П. Квазиоптимальные промышленные регуляторы с автоматической параметрической идентификацией// Технічна електродинаміка, 2004. – С. 85 – 90. – (Тем. вип. “Силова електроніка та енергоефективність”, ч. 3).
6. Войтенко В.П., Хоменко М.А., Рудіч П.В. Застосування штучних нейронних мереж для ідентифікації промислових об'єктів керування// Вісник ЧДТУ: зб. – Чернігів: ЧДТУ, 2011. – № 1 (47). – С. 196 – 201.
7. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Рудик А.В., Венжега В.І. Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування// Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту, 2007. – №28. С. 35 – 44.
8. Войтенко В.П., Хоменко М.А. Нейроидентификация в промышленных регуляторах// Технічна електродинаміка, 2008. – С. 60 – 61. – (Тем. випуск “Силовая електроніка та енергоефективність”, ч. 2).