



## ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЮЩЕЙСЯ КИНЕМАТИКОЙ

Г.М. Мартинов, Л.И. Мартинова, Р.Л. Пушков, А.Б. Любимов (МГТУ «СТАНКИН»)

Представлены перспективные направления создания реконфигурируемых производственных систем на базе станков с ЧПУ. Выявлены их преимущества и недостатки и обосновано применение способа использования одного и того же канала для динамического преобразования кинематической схемы станка «на лету». Описана реализация механизма переключения кинематической схемы «на лету».

Ключевые слова: станки с изменяющейся кинематикой, система ЧПУ, кинематические преобразования, канал управления, G-вектор, M-вектор.

### Введение

Современная промышленность требует оперативного реагирования на такие запросы рынка, как быстрая переналадка оборудования на производство новых типов деталей, сокращение серийности выпускаемых изделий, вплоть до кастомизации, при снижении стоимости их изготовления. [1]. Немаловажным фактором, обеспечивающим эффективность производства, становится сокращение числа оборудования, обслуживающего его персонала и занимаемых производственных площадей [2]. В настоящее время наиболее эффективным ответом на эти вызовы становятся реконфигурируемые производственные системы, реконфигурируемые станки и реконфигурируемые системы управления [3]. На текущий момент задача разработки решения, позволяющего осуществлять динамическое изменение кинематических параметров станка «на лету» является новой и весьма перспективной, чему и посвящено настоящее исследование.

### Цифровая управляющая платформа для динамического изменения кинематических параметров станка

В качестве основы взята цифровая управляющая платформа «АксиОМА Контрол», содержащая несколько каналов управления, каждый из которых способен выполнять отдельную управляющую программу, а также средства управления электроавтоматикой [4]. Расширение представляемой платформы позволяет реализовывать динамическое изменение кинематических параметров станка «на лету» одним из трех способов:

1) использование одного и того же канала для реализации различных кинематических схем;

2) использование различных каналов, каждый из которых реализует отдельную кинематическую схему;

3) использование клона (копии) канала при смене кинематической схемы.

Далее исследованы возможные пути решения и обоснован выбор.

### Использование одного и того же канала для реализации различных кинематических схем

Способ предполагает, что канал управления реализует смену кинематической схемы «на лету», с сохранением текущего контекста (G-, M- и T-векторов, переменных канала, режима работы и т.д.) и восстановлением контекста при возврате к предыдущей кинематической схеме. Функциональность сохранения и загрузка контекста канала управления нужна для восстановления работоспособности системы ЧПУ после смены кинематической схемы. При этом сохраняется:

- текущий набор модальных подготовительных (G) функций, активный на текущий момент G-вектор;
- текущий набор вспомогательных (M) функций, активный на текущий момент M-вектор;
- текущий набор номеров режущих инструментов (T), установленных в шпинделе канала (T-вектор);
- набор системных (глобальных) и канальных (локальные для канала) переменных;
- текущий режим работы канала (автоматический, строка ручного ввода, толчковый, реферирования) и другие данные, необходимые для восстановления работы канала.

Схематично процесс преобразования (смены и возврата) кинематической схемы одного и того же канала проиллюстрирован на рис. 1.

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-07-00305/20

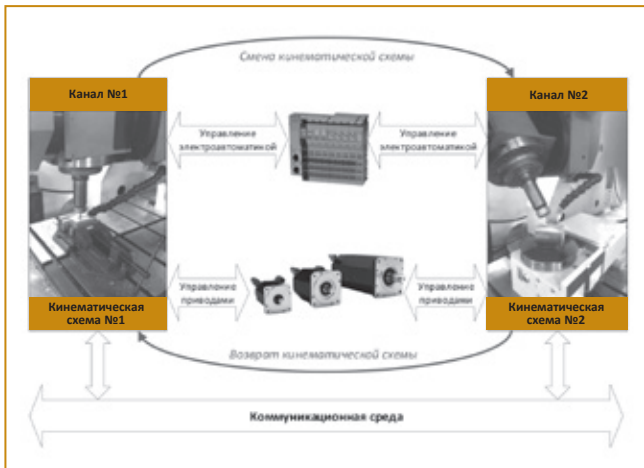


Рис. 1. Процесс преобразования кинематической схемы станка при использовании одного и того же канала управления

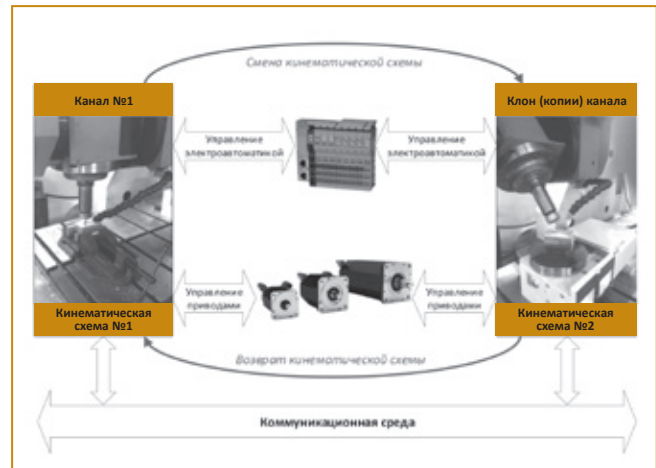


Рис. 3. Процесс преобразования кинематической схемы станка при использовании клона канала управления

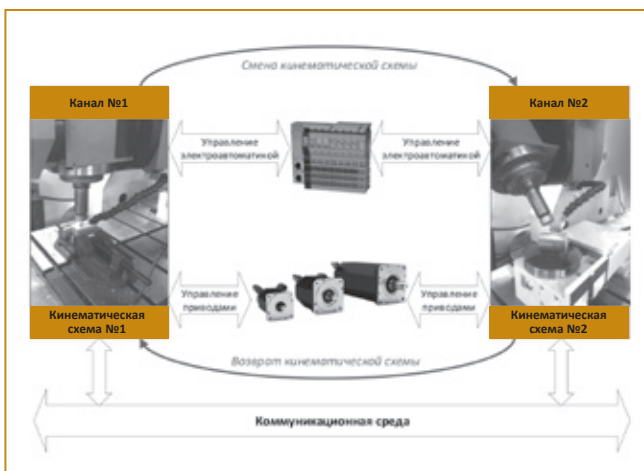


Рис. 2. Процесс преобразования кинематической схемы станка при использовании разных каналов, каждый из которых реализует отдельную кинематическую схему

Использование одного и того же канала для реализации различных кинематических схем хотя и связано со сложностью реализации, но имеет ряд преимуществ:

- сохранение числа используемых одновременно каналов;
- возможность использования управляющих программ, в которых изменение кинематической схемы происходит «на лету»;
- относительно малое время смены кинематической схемы;
- не требуется переключение канала для ПЛК.

**Использование различных каналов, каждый из которых реализует отдельную кинематическую схему**

Согласно этому способу каждый канал содержит свой контекст. При смене кинематической схемы в системе ЧПУ происходит программное отключение одного канала и включение другого, в котором предварительно установлена нужная кинематическая схема (рис. 2).

Использование разных каналов для преобразования кинематической схемы станка имеет более простую схему реализации и выполняется за относительно короткое время, но связано с такими недостатками, как:

- уменьшение числа одновременно используемых каналов - в системе ЧПУ число реализуемых каналов управления ограничено, и дублирование каналов управления для реализации необходимых кинематических схем уменьшает в разы число доступных каналов управления;
- необходимость переподчинения физических осей станка другому каналу при смене кинематической схемы;
- необходимость переключения канала для ПЛК;
- затруднено использование управляющих программ, в которых смена кинематической схемы происходит «на лету».

**Использование клона (копии) канала при смене кинематической схемы**

Способ предполагает, что при преобразовании кинематической схемы происходит создание клона (временной копии объекта) канала управления, программное отключение основного канала и включение клона (рис. 3). При возврате кинематической схемы клон освобождается и подключается оригинальный канал.

Использование клонов канала для преобразования кинематической схемы станка позволяет сохранять возможное число используемых одновременно каналов и не требует переключения канала для ПЛК, но связано с такими недостатками, как:

- относительно большое время смены кинематической схемы;
- довольно сложная реализация канала;
- требуется переподчинение физических осей станка другому каналу при смене кинематической схемы;
- затруднено использование управляющих программ, в которых смена кинематической схемы происходит «на лету».

*Исследовать - значит видеть то, что видели все, и думать так, как не думал никто.*

Альберт Сент-Дьерди

Таким образом, несмотря на сравнительно сложную реализацию канала управления, перспективным направлением является способ использования одного и того же канала для преобразования кинематической схемы станка.

#### Реализация механизма преобразования кинематической схемы «на лету»

Реализация преобразования кинематической схемы «на лету» требует языковой поддержки со стороны языка управляющих программ, которая позволит выбрать в определенный момент необходимую схему кинематических преобразований. Кинематическая схема меняется при помощи специальных команд конфигурируемого языкового препроцессора, что требует расширения семантического словаря языка высокого уровня [5].

Кроме того, совместно с изменением логики поведения программной составляющей системы управления, необходимо произвести действия и с оборудованием станка. Так, при переключении кинематики на «физическом уровне», возможно, придется заменять инструментальные или исполнительные модули станка при помощи механизмов смены или роботов-манипуляторов. Это требует внедрения системы поддержки таких программных механизмов со стороны программы электроавтоматики станка.

Программы электроавтоматики для смены кинематики станка на «физическом уровне» реализованы заранее и привязаны к кинематическим параметрам в конфигурации машинных параметров.

Соответствующих изменений требует и терминал оператора. В зависимости от той или иной кинематической схемы оператор должен видеть текущую конфигурацию осей и оборудования [6]. Способом решения подобной задачи является применение конфигурируемых экранов оператора и передача сигнала-события от ядра системы ЧПУ в модуль терминала рис. 3.

Терминальный клиент принимает команды от ядра системы ЧПУ и выдает необходимые события и данные менеджеру экранов. Менеджер экранов управляет экранами оператора, их активностью. Каждый экран сам организует свои управляющие элементы и их расположение, а каждый управляющий элемент сам управляет своим внешним видом и состоянием. Иерархия управления и большая независимость достигается благодаря тому, что экраны и управляющих элементов создаются не зависимо. Поведение при смене кинематической схемы определяют экраны, однако им необходимо получить уведомление о смене схемы.

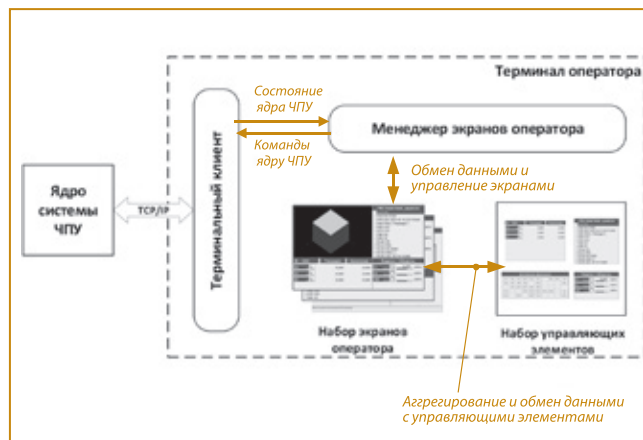


Рис. 4. Организация работы пользовательского интерфейса с сервером

#### Расширение матрицы решений для систем ЧПУ с применением методики, основывающейся на декомпозиции системы по задачам управления

Цифровая управляющая платформа для динамического изменения кинематических параметров станка создается на базе расширяемой матрицы решений для систем ЧПУ с применением методики, основывающейся на декомпозиции системы по задачам управления [7, 8]. Такой метод удобен при создании реконфигурируемых станков, поскольку в систему можно заложить только минимальные требования по управлению и как следствие снизить стоимость конечного решения. Применение матрицы позволяет определять минимально-необходимый набор программно-аппаратных компонентов для последующего синтеза специализированной системы ЧПУ.

В матрице решений (табл. 1) выделяются группы: технологии обработки и технологии организации управления обработкой. Первая группа объединяет технологии, обеспечивающие способы обработки заготовок и получения из них деталей с применением различных технических средств и технологий, в том числе технологии измерения точностных характеристик в этих процессах [9]. Во второй группе объединены технологии, обеспечивающие организацию процесса управления для реализации технологий из первой группы.

Для решения задачи динамического изменения кинематических параметров станка в матрице решений добавлены технологии реконфигурирования станков и технологии динамического подключения модулей (выделены красной рамкой). Применение модульного подхода при построении узлов станочного оборудования унифицирует часть компонентов системы, что обеспечивает их использование как на уровне технологии реконфигурирования станков, так и на уровне технологии динамического подключения модулей в матрице решений.

Назначение модулей для технологий «Реконфигурирование станков» и «Динамическое подклю-

Таблица 1. Расширение ряда технологий в матрице решений

Технологии	Задачи системы ЧПУ							
	Геометрическая	Логическая	Терминальная	Коммуникационная	Технологическая	Диагностическая		
Непрерывная лазерная обработка	Модуль управления системой дефлексии	Модуль обработки сигналов лазера	Настройка и отображение параметров лазера	Препроцессор 3D модели	Модуль связи с дефлектором	Адаптивное управление мощностью излучения	Диагностика и мониторинг параметров излучения	
Импульсная лазерная обработка	Модуль синхронизации движения с импульсами лазера	Модуль обработки сигналов лазера	Настройка и отображение текущих параметров лазера	Драйвер дискретных сигналами лазера	Адаптивное управление частотой излучения	Диагностика и мониторинг параметров излучения	Диагностика и мониторинг параметров излучения	
Многокоординатная обработка	Модуль мин. транс-формации Формирование Электронная гитара Компенсация деформации по осям Синхронизация каналов управления	Реализация управления Master-Slave на базе ПЛК	Интерфейс много-канального управления	Мультиротольный интерфейс связи СЧПУ с приводами	Реализация управления Master-Slave на базе приводов	Модуль адаптивной обработки Модуль настройки инструмента после	Модуль адаптивной обработки инструмента после	Модуль адаптивной обработки инструмента после
Измерение инструмента и заготовки	Модуль обработки измерений		Отображение режимов измерений и графики измерительных циклов		Диагностические циклы реж. инструмента и его остаточной стойкости	Измерительные циклы заготовки и инструмента	Измерительные циклы заготовки и инструмента	
Гибридная и многофункциональная обработка	Модуль внешней интерполяции	Синхронизация при управлении энергией обработки						
Гидроабразивная обработка	Модуль коррекции контура по форме струи	Управление параметрами гидроабразивной обработки	Отображение и настройка параметров гидроабразивной обработки	Реализация связи с автономной станцией высокого давления	Стандартные циклы гидроабразивной обработки	Диагностика и мониторинг станции высокого давления	Диагностика и мониторинг станции высокого давления	
Многопользовательский доступ к системе ЧПУ			Web-клиент управления системы ЧПУ	Web-сервер управления системы ЧПУ			Модуль удаленной диагностики параметров системы	
Интеграция с системами верхнего уровня		OPC-сервер данных электроавтоматики (ПЛК)		OPC-сервер данных системы ЧПУ				
Реконфигурирование станков	Модуль настройки конформативных схем станка в каналах управления Компонент измерительных циклов калибровки станка Функции перемещения Кинематич. схем на языке высокого уровня	Компонент интерфейса ЧПУ-ПЛК Синхронизация с внешними системами ЧПУ	Экраны быстрой настройки конфигурации станка	Расширенные экраны представления каналов управления ЧПУ	Компонент получения данных с сенсорной модулей станка по промышленным протоколам	Измерительные циклы для калибровки и оперативной настройки модулей станка Компонент расширенных функций управления станком (сравнение, импорт, слывание)	Компонент расширенных функций управления станком (сравнение, импорт, слывание)	Компонент расширенных функций управления станком (сравнение, импорт, слывание)
Динамическое подключение модулей	Компонент контроля подключения модулей станка Экраны настройки магазина инструментов Компонент представления текстовой инструкции	Компонент контроля подключения модулей станка Экраны настройки магазина инструментов Компонент представления текстовой инструкции	Компонент представления текстовой инструкции	Компонент представления текстовой инструкции	Компонент идентификации подключаемых модулей	Компонент идентификации подключаемых модулей	Компонент идентификации подключаемых модулей	Компонент идентификации подключаемых модулей

чение модулей» соответствует основным задачам, решаемым системой ЧПУ. В геометрической задаче обеспечиваются расчеты траекторий режущего инструмента (кромки лезвия, струи, лазера и т.п.) с учетом особенностей кинематики станка, коррекций, ограничений и требований точности. В логической задаче обеспечивается управление электроавтоматикой станка. Логическая задача реализуется как в модулях ядра системы ЧПУ, так и средствами программируемых логических контроллеров (ПЛК). В терминальной задаче оператору станка предоставляются все необходимые функции управления технологическим оборудованием. В том числе управленческие настройками системы управления и различные

экраны управления, которые показывают необходимую информацию для выполняемых оператором технологических операций.

Коммуникационная задача системы ЧПУ обеспечивает связь между модулями системы (ведущими, ведомыми или равно подчиненными). Например, информационный обмен в режиме реального времени реализуется по промышленным протоколам с устройствами электроавтоматики, приводами движения. Технологическая задача привязана к реализуемым в системе ЧПУ технологиям обработки и организации процессов управления. Диагностическая задача выполняет сбор и анализ данных об оборудовании и выполняемом технологическом процессе.

### Заключение

Предложенная концепция цифровой управляющей платформы для технологического оборудования позволяет реализовывать динамическое изменение кинематических параметров станка «на лету». Изменение касается, в частности, каналов управления, осей, типов осей, параметров настройки таблицы коррекций, смещений положения нуля и т.д. Построение цифровой управляющей платформы основывается на ее независимости от программно-аппаратной платформы, на масштабируемости, модульности, открытости и наличии развитого языка высокого уровня, что обеспечивает гибкость конфигураций, использование стандартных протоколов связи, возможность использования устройств с различными интерфейсами, возможность использования как программно так и аппаратно реализованных ПЛК. Преимущества выбранного способа решения состоит в том, что он обеспечивает минимальное время смены кинематической схемы станка с ЧПУ.

### Список литературы

1. *Мартинова Л.И., Мартинов Г.М.* Мировые тренды, возможности и перспективы развития систем ЧПУ станочного оборудования // СТИН. 2019. №7. с.28-31.
2. *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.

3. *Martinov, G., Martinova, L. and Ljubimov, A.* From classic CNC systems to cloud-based technology and back // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2020. Vol. 63, June.
4. *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.
5. *Мартинов Г.М., Пушков Р.Л., Соколов С.В., Обухов А.И., Евстафьева С.В.* Числовое программное управление станками с динамически изменяющейся кинематикой // Автоматизация в промышленности. 2020. №5. с.12-17.
6. *Martinov G., Pushkov R., Martinova L., Kozak N. and Evstafieva S., 2020.* Approach to development of HMI screens for CNC with dynamic kinematics. ICMTMTE 2020, MATEC Web of Conferences 329, 03026. p.1-6. doi: 10.1051/mateconf/202032903026.
7. *Georgi M. Martinov, Aleksandr I. Obuhov, Lilija I. Martinova, Anton S. Grigoriev* An Approach to Building Specialized CNC Systems for Non-traditional Processes // Procedia CIRP. 2014. Vol.14. p. 511-516.
8. *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.
9. *Мартинов Г.М., Козак Н.В., Абдуллаев Р.А., Ковалев И.А.* Построение специализированной распределенной системы управления прецизионным обрабатывающим центром VMG 50 // Автоматизация в промышленности. 2014. №6. с.16-20.

*Мартинов Георги Мартинов — д-р техн. наук, зав. кафедрой компьютерных систем управления,*

*Мартинова Лилия Ивановна — канд. техн. наук, доцент,*

*Пушков Роман Львович — канд. техн. наук, доцент,*

*Лубимов Александр Борисович - вед. инженер кафедры компьютерных систем управления*

*ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».*

*Контактный телефон (499) 972-94-40,*

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

### Dügg строит масштабируемый покрасочный цех для Enovate

*Enovate — высокотехнологичный производитель электромобилей верхнего ценового сегмента. К концу 2021 г. Enovate введет в строй новый завод, в состав которого входит масштабируемый покрасочный цех от Dügg.*

Первая модель компании Enovate — электромобиль ME7 — представлена на рынке осенью 2020 г. Стартовый объем нового завода Enovate, который строится в крупном китайском городе Чанша, рассчитан на 60 тыс. автомобилей в год. Для быстрого увеличения объемов производства в случае роста спроса компания приняла решение использовать AGV транспорт для связи между рабочими станциями, управляемыми вручную. Адаптивная система конвейерной транспортировки AGV не привязана к производственным циклам покрасочного цеха, и её можно нарастить, если нужно увеличить объём производства.

Стойкая к краскам и растворителям, оснащенная встроенным лазерным сканером с ограничителем скорости для максимальной безопасности, система EсоProFleet компании Dügg является первой AGV технологией на рынке, специально разработанной для покрасочных цехов. Четыре автономно работающие тележки AGV будут работать на заводе Enovate, обеспечивая транспортировку кузовов между рабочими станциями и зоной промежуточного хранения на территории площадью 60x36 м. AGV не требуют перерывов на подзарядку и их можно использовать неограниченно в течение всего рабочего дня, так как зарядные станции размещены в точках приема/передачи кузовов. Для зарядки AGV средства и прохождения следующего участка пути требуется всего 90 с. Для бесшовной транспортировки и беспрепятственной передачи кузовов между станциями AGV и внутрицеховыми конвейерами (например, роликовыми) специалисты Dügg разработали специальные AGV адаптеры.

С оптимально подобранным адаптером можно транспортировать кузова на платформах (как это предусмотрено на заводе Enovate), так и без них.

Впервые на предприятиях Китая в новом покрасочном цехе Enovate на этапе подготовки поверхности с тонкопленочной технологией и катафорезной грунтовкой будет использована технология ротационного погружения RoDip® E. В отличие от технологии RoDip® M, успешно используемой на многих китайских производствах, RoDip® E оснащена электроприводом. Это позволяет индивидуально запрограммировать каждую тележку для работы с определенным типом кузова, точно запрограммировать кривую погружения под любой тип кузова, а также подбирать оптимальную скорость их вращения и перемещения. В результате достигается наилучший режим стекания химикатов и их полное удаление с поверхности кузовов. В отличие от традиционных производств весь спектр вариантов технологии All RoDip® снабжен меньшей по длине и объему ванной погружения, что позволяет до минимума снизить потребление воды, химикатов и энергии.

В покрасочных боксах верхнего слоя краски на новом заводе Enovate установлена система Dügg EcoDry X. Для сепарации перепыла она использует картонные фильтры, что экологически чище по сравнению с процессами, использующими смеси воды и химикатов. Отработанный воздух возвращается в систему рециркуляции, что повышает энергоэффективность производства. По сравнению с обычной системой мокрой очистки без рециркуляции воздуха система Dügg EcoDry X снижает общее потребление энергии покрасочного цеха примерно на 30%. Другим преимуществом EcoDry X является удобство в использовании, так как одноразовые картонные фильтры можно легко заменять без остановки производства.

[Http://www.dugg.com](http://www.dugg.com)