



## Удаленное управление сервоприводами CAN и мониторинг их работы на основе микрокомпьютеров ARM и с использованием протокола OPC UA

Г.М. Мартинов, Аль Хури Акрам, Исса Ахед (ФГБОУ ВО «МГУ «СТАНКИН»)

Предложен подход к разработке автономного контроллера движения на основе микрокомпьютера ARM для управления сервоприводами по интерфейсу CAN. Создан OPC UA сервер контроллера движения, реализующий информационную модель для удаленного управления сервоприводами CAN и мониторинга их работы. Показаны возможности подключения имеющихся на рынке OPC UA клиентов через контроллер движения<sup>1</sup>.

Ключевые слова: автоматизация, ЧПУ, интерфейс CAN, OPC UA, мониторинг, микрокомпьютер ARM, удаленный мониторинг, сервоприводы CAN.

### Введение

СПШ — это высокопроизводительный сервопривод с векторным управлением по скорости и моменту на базе гибридного шагового электродвигателя отечественного производства. СПШ не уступает иностранным аналогам по техническим характеристикам и функциональным возможностям. При этом он выгодно отличается от них по цене. Производство сервоприводов данного семейства на территории России обеспечивает максимально короткие сроки поставки и удобное гарантийное и сервисное обслуживание. В связи с этим сервоприводы СПШ широко применяются в машиностроении и других отраслях. Как и при эксплуатации другого промышленного оборудования, перед предприятиями стоит задача мониторинга, настройки и управления сервоприводами.

Сервопривод СПШ поддерживает, в том числе и протокол CAN. Основное преимущество технологии CAN — очень высокая степень надежности: сеть выживает в самых суровых условиях, причем статистическая вероятность отказа составляет менее одного случая на десять лет. Несмотря на активное распространение в последние годы более высокоскоростных протоколов управления сервоприводами на базе Ethernet (SERCOS III, EtherCAT, ProfiNet, EthernetIP, Ethernet Powerlink и др.) приводы на базе протокола CAN остаются самыми распространенными [1, 2].

Рассмотрим контроллера движения на основе микрокомпьютера ARM, разработанный для управления сервоприводами по интерфейсу CAN, а также OPC UA сервер на основе библиотек с открытым кодом.

### Архитектура системы управления и мониторинга сервоприводов CAN в рамках системы управления технологическим оборудованием

Условно в архитектуре системы управления технологическим оборудованием (рис. 1) выделены компоненты, работающие в реальном времени: ядро системы управления (в нашем примере это ядро системы ЧПУ), контроллер движения, сервоприводы и компоненты, работающие в машинном времени: терминал системы управления (терминал СЧПУ) и OPC UA сервер контроллера движения.

В качестве вычислительной платформы контроллера движения использован ARM микроконтроллер Raspberry PI3 с операционной системой Linux [3].

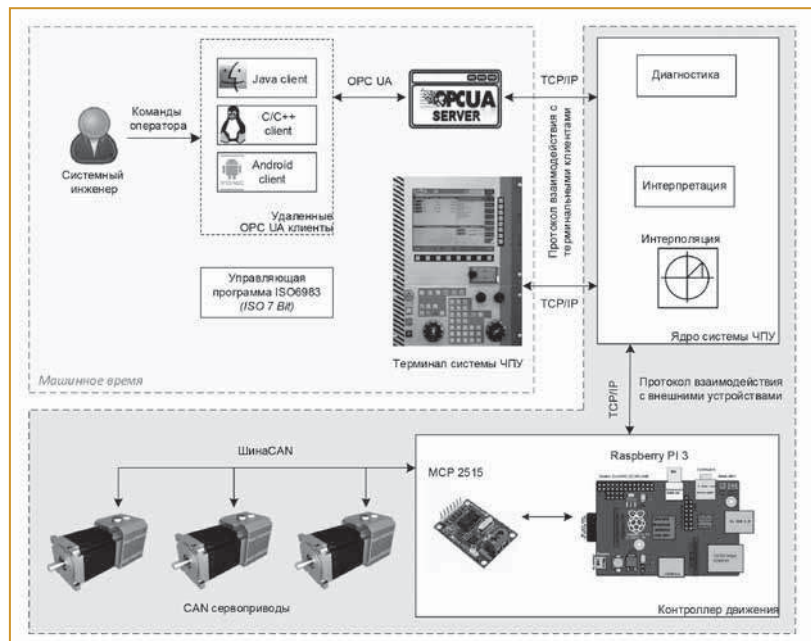


Рис. 1. Общая архитектура системы управления технологическим оборудованием

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения Госзадания (№ 2.1237.2017/4.6) и проводилось с использованием оборудования, предоставленного центром коллективного пользования МГУ "СТАНКИН".

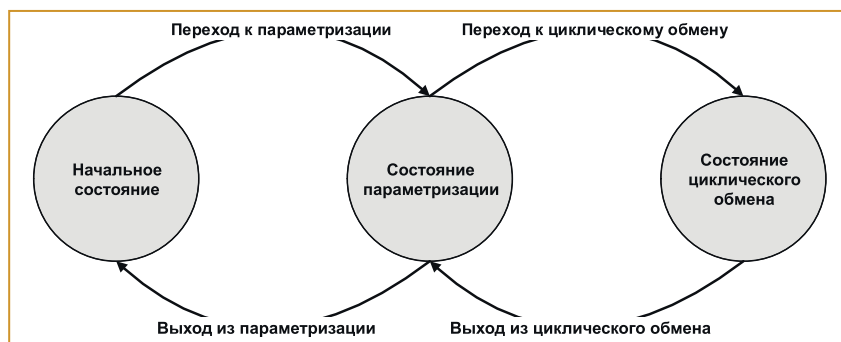


Рис. 2. Машина состояний контроллера движения

Ядро системы ЧПУ управляет сервоприводами через контроллер движения по протоколу взаимодействия с внешними устройствами. Таким образом, ядро не привязано к специфике конкретных шин [4]. Все особенности работы промышленной шины реализует контроллер движения.

Удаленная настройка управления и мониторинга сервоприводов CAN осуществляется имеющимися на рынке OPC UA клиентами сторонних производителей через разработанный OPC UA сервер [5]. OPC UA сервер функционирует на персональном компьютере, формирует специфичные для приводов СПШ параметры и подключается к ядру системы ЧПУ по протоколу взаимодействия с терминальными клиентами.

#### Реализация контроллера движения CAN сервоприводов

Обмен данными между контроллером движения и сервоприводом осуществляется по шине CAN с использованием библиотек SocketCAN с открытым кодом, которые выполняются на уровне ядра Linux. Взаимодействие между контроллером движения и ядром системы ЧПУ осуществляется по протоколу TCP/IP.

Формально работа контроллера движения представлена в виде графа (машина состояний [6]) с тремя основными состояниями (рис. 2.): начальное состояние, состояние параметризации, состояние циклического обмена.

Начальное состояние соответствует включению контроллера движения, аппаратному сбросу, а также восстановлению в случае критических ошибок (например, после разрыва соединения). В этом состоянии ведущее устройство CAN сети (контроллер движения) проверяет наличие подчиненных устройств (CAN сервоприводов и устройств ввода/вывода) в соответствии с конфигурацией заданных параметров CAN сети и ожидает готовности подключенных устройств для начала обмена информацией с ними.

В состоянии параметризации осуществляется:

- настройка параметров сервоприводов или устройств ввода/вывода;
- запуск сервоприводов в режиме easy startup (режим первоначальной проверки работоспособности приводов, эта функциональность поддерживается не всеми

производителями), для выбора оптимальных значений параметров;

- управление входным/выходным состоянием устройств ввода/вывода (если эта функция поддерживается);
- определение состава циклических данных.

Если привод находится в режиме easy startup, то при изменении одного из трех состояний контроллера движения он должен автоматически выйти из этого режима.

В состоянии циклического обмена контроллер движения осуществляет управление приводами. При входе в состояние циклического обмена контроллер отправляет ведомым устройствам (сервоприводам) команду на переключение в состояние циклического обмена. Далее контроллер получает от ядра системы ЧПУ управляющий пакет с рассчитанными для текущего цикла значениями скорости и положения, данными ввода/вывода и т.д. и передает их на исполнительные устройства по шине CAN.

Одновременно в машину состояний контроллера движения приходят текущие значения скорости вращения и положения от привода по интерфейсу CAN, генерируется пакет с данными и по протоколу TCP/IP отправляется обратно в ядро системы ЧПУ [7]. Для реализации такого взаимодействия были созданы два независимых потока (для связи с СЧПУ и для связи с приводом). Синхронизация потоков осуществляется с использованием мьютекса<sup>2</sup> для исключения коллизий при работе с данными.

#### Информационная модель OPC UA

OPC UA сервер реализован на языке C++ и взаимодействует с системой ЧПУ, используя специально разработанный протокол на основе TCP/IP socket. По этому протоколу сервер получает список читаемых и записываемых параметров для каждого сервопривода. Любой подключенный к серверу OPC UA клиент имеет доступ к списку параметров сервоприводов для чтения и изменения их значений. Таким образом, системный инженер, используя OPC UA клиент, может удаленно отслеживать и изменять значения параметров сервоприводов [8].

Блок-схема алгоритма работы с OPC UA сервером представлена на рис. 3.

Сначала сервер определяет IP-адрес контроллера движения сервоприводов CAN, и когда приводы готовы к работе (начальное состояние — рис. 2.), сервер запускает процедуру получения набора параметров сервоприводов, находящихся в состоянии параметризации. Если приводы не параметризованы, осуществляется их параметризация со стороны OPC UA клиента. Затем начинается процедура циклического обмена данными (состояние циклического обмена)

<sup>2</sup> Мьютекс — аналог одноместного семафора, служащий в программировании для синхронизации одновременно выполняющихся потоков.

## Проведение стендовых испытаний

Испытания проведены на стенде с системой ЧПУ «АксиОМА Контрол» (рис. 4. а) [9], контроллером движения и OPC UA сервером. К OPC UA серверу подключены два OPC UA клиента сторонних производителей (рис. 4. б, в): один на платформе Windows как основной для удаленного управления и отслеживания работы сервоприводов, и второй на Android как дополнительный для параметризации и мониторинга приводов.

OPC UA сервер реализует OPC HDA (OPC Historical Data Access) для сбора и обмена архивными данными процесса. OPC-клиент в виде приложения или электронной таблицы извлекает данные из архива, используя функции OPC HDA. Например, эта технология была использована для сбора информации о текущих скоростях вращения и текущих позициях сервоприводов. На рис. 4 представлена мнемосхема изменения позиции сервопривода. Из графика, полученного с помощью OPC UA Windows-клиента, следует, что есть возможность отслеживать изменения скорости и положения сервоприводов в режиме реального времени. Эксперименты показали, что эти изменения совпадают с графиком, полученным с помощью OPC UA Android-клиента.

## Выводы

Разрабатываемое решение по удаленному мониторингу и управлению с применением технологии OPC UA позволяет не привязываться к конкретному технологическому оборудованию, производить гибкие настройки и выборку необходимых параметров оборудования и реализовывать внутренние протоколы связи в зависимости от поставленной задачи. Предлагаемый способ разработки контроллера движения с использованием микрокомпьютера ARM позволяет на начальных этапах сократить временные и финансовые затраты на полноценную интеграцию модуля управления приводами в систему ЧПУ. Текущая реализация проекта представляет собой взаимодействие нескольких основных компонентов: для управления движением приводов CAN используется контроллер движения, обеспечивающий взаимосвязь системы ЧПУ и самих приводов; мониторинг состояний приводов осуществляется с помощью стандартного клиента OPC UA. В качестве развития проекта рассматривается вариант реализации способа подключения системы ЧПУ к OPC UA серверу и разра-

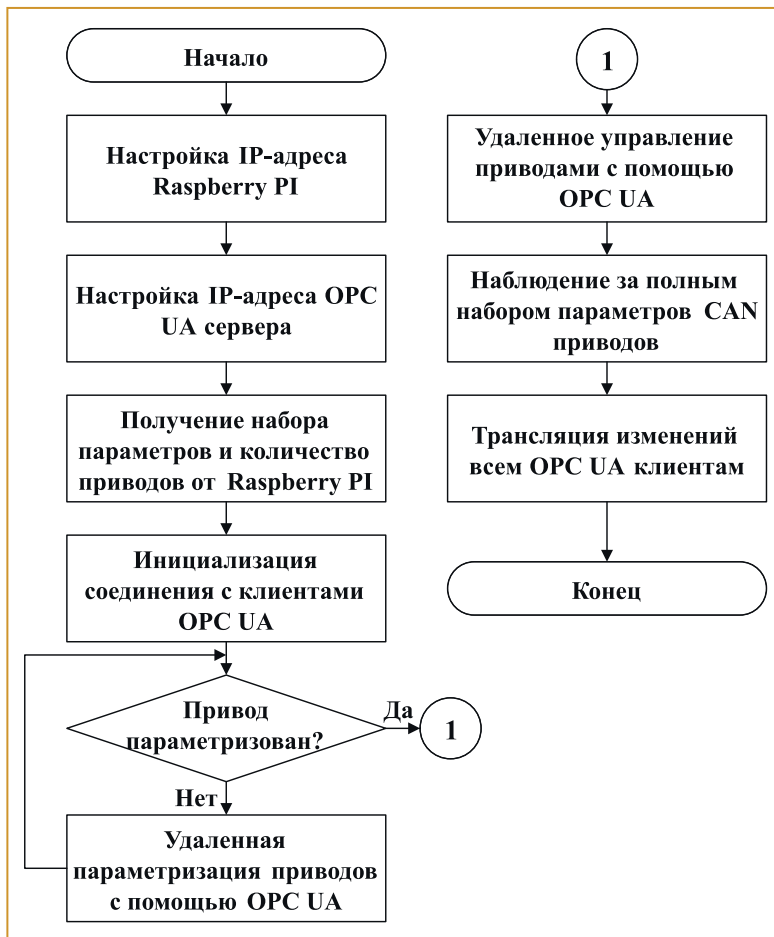


Рис. 3 Блок-схема алгоритма работы OPC UA сервера

для управления сервоприводами и получения их текущих скоростей и позиций.

OPC UA сервер отправляет полученные от контроллера движения данные всем OPC UA клиентам, подключенным к серверу, широковещательным способом. Клиенты обновляют эти данные в своей информационной модели.

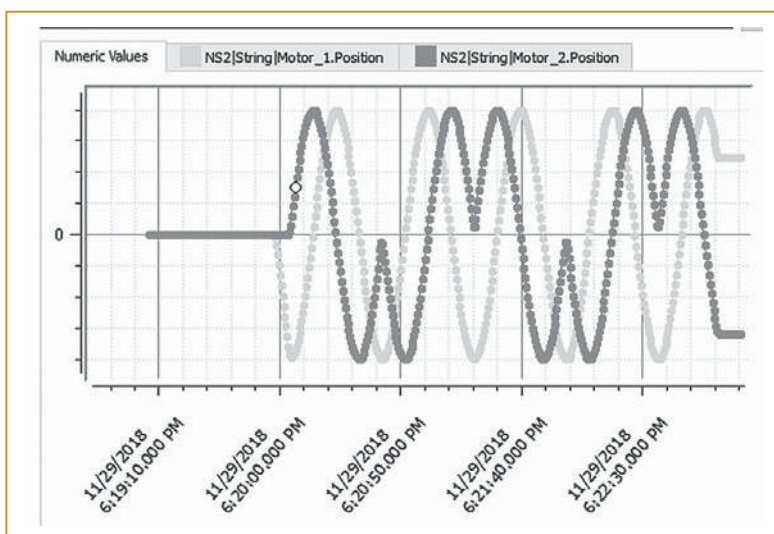


Рис. 4. Результаты стендовых испытаний - график изменения позиции сервопривода

*Не говорите мне, что эта проблема сложна. Будь она проста, не было бы проблемы.*

Фердинанд Фош.

ботка собственного клиента мониторинга параметров как системы ЧПУ, так и различного технологического оборудования.

#### Список литературы

1. *Martinov G.M., Sokolov S.V., Martinova L.I., Grigoryev A.S., Nikishechkin P.A.* Approach to the Diagnosis and Configuration of Servo Drives in Heterogeneous Machine Control Systems // 8th International Conference, ICSI 2017 Fukuoka, Japan. Proceedings, Part II, pp.586-594.
2. *Мартинов Г.М., Мартинова Л.И.* Перспективы развития систем числового программного управления в концепции Industry 4.0 // Инновации. 2016. №8. с.17-20.
3. *Martinov Georgi M., Khoury Akram Al, Issa Ahd.* An approach of developing low cost ARM based CNC systems by controlling CAN drives. In: MATEC Web Conf. Vol. 224, 2018. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018). pp.1-6.
4. *Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Григорьев А.С., Обухов А.И., Мартинова Л.И.* Метод декомпозиции и синтеза специализированных систем ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 08-14.
5. *Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М.* Концепция числового программного управления мехатронными системами: интеграция на основе открытого управления и стандарта OPC // Мехатроника, автоматизация, управление. 2003. №8. С. 12-18.
6. *Мартинова Л.И., Мартинов Г.М.* Практические аспекты реализации модулей открытой системы ЧПУ // Авто-тракторное электрооборудование. 2002. № 3. С. 31-37.
7. *Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Григорьев А.С., Обухов А.И., Мартинова Л.И.* Метод декомпозиции и синтеза специализированных систем ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2013. № 5. С. 08-14.
8. *Григорьев С.Н., Мартинов Г.М.* Настройка и диагностика металлорежущих станков с использованием Web-технологий // Автоматизация в промышленности. 2014. №6. с.3-7.
9. *Martinoва 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. Т. 76. № 1. С. 179-186.

*Мартинов Георгий Мартинович – д-р техн. наук, проф., зав кафедрой компьютерных систем управления, Аль Хури Акрам и Исса Ахед – аспиранты ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН». Контактный телефон (499) 972-94-40. E-mail: e-mail@ncsystems.ru*

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ СКВАЖИННОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ БУРЕНИИ СКВАЖИН НА НЕФТЬ И ГАЗ

К.А. Башмур, Э.А. Петровский,

В.В. Богачев (ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»)

*Рассмотрены основные проблемы контроля вибрационного состояния бурильной колонны и скважинного инструмента. Выделены недостатки применяемых измерительных инструментов и комплексов на их основе. Описан предлагаемый метод измерения вибраций в скважине, позволяющий повысить достоверность измеряемых параметров. Предложено устройство датчика, с помощью которого реализуется новый метод измерения, проведен анализ работы датчика.*

*Ключевые слова: бурильная колонна, вибрации, скважинный инструмент, надежность, измерительный комплекс.*

Совершенствование и развитие технико-экономических показателей бурения нефтегазовых скважин напрямую связано с необходимостью измерения и контроля совокупности эксплуатационных параметров бурения. Наряду с ростом числа контролируемых параметров предъявляются требования к достоверности результатов измерений. Это связано с увеличением скорости бурения, ростом глубин наклонно-направленных скважин, высокой стоимостью оборудования и величиной ответственности за управляющие решения в технологическом процессе [1]. Поэтому разработка надежных и эффективных устройств и способов измерения и контроля скважинных параметров является одной из важнейших задач нефтегазовой отрасли.

#### Актуальность разработки и исследования надежных способов измерений эксплуатационных параметров

Современные буровые скважинные средства измерения и их комплексы, такие как системы MWD (Measurement While Drilling) и LWD (Logging While Drilling), как правило, реализованы с использованием электронных систем [2]. При этом процесс углубления скважины неизбежно связан с возникновением различного рода динамических нагрузок — это, прежде всего, вибрационные нагрузки и увеличивающиеся с глубиной скважины температурные напряжения, негативно влияющие на измерительные комплексы в целом и на их электронные компоненты в частности. Абразивный и физико-химический износ также воздействует на оборудование бурильных